פרוט המקצועות

הסברים

מקצועות קדם :הם מקצועות שיש ללמוד לפני המקצוע המוצע.

מקצועות צמודים :הם מקצועות שיש ללמוד לפני או יחד עם המקצוע המוצע.

מקצועות דומים:

הם מקצועות בעלי סילבוס דומה למרות שיתכן כי שמות או מספרי המקצועות הם שונים .רק מקצוע אחד מתוך קבוצה של מקצועות דומים יכול להקנות נקודות זכות.

על יד כל מקצוע מוצע רשומים המקצועות הדומים לו .על הסטודנט לשים לב לכך שלא יוכל לזכות בנקודות עבור המקצוע המוצע במידה ולמד מקצוע זה או אחר הדומים לו בהסמכה או במוסמכים.

046001	**הנדסת מערכות תוכנה מבוזרות**	2 ה', 1ת', 4מ' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

מבוא למערכות מבוזרות, תכנות מעל tcp/ip: rpc, תקשורת בקבוצה. מערכות קבצים מבוזרות, תשתיות לתכנות מבוזר: enterprise java, beans, dcom corba, java rmi, reflection, web: מקביליות: סינכרוניזציה,מניעה הדדית deadlock (מרכזי, מבוזר). תהליכונים. טרנזקציות אטומיות (מרכזי,מבוזר). 2pl2 , pc . סוכנים ניידים ברשת, תשתיות לקוד נייד.

Will not be given the year

Introduction to Distributed Systems, Programming Over Tcp/Ip, Remote Procedure Call, Group Communication. Distributed File Systems, Distributed Infrastructures: Web, Java Rmi and Reflection, Corba, Dcom, Enterprise Java, Beans. Concurrency: Synchronization, Mutual Exclusion, Deadlock (Centralized and Distributed), Multi-Threaded Programming, Atomic Transactions (Centralized and Distributed), 2Pl and 2Pc Protocols. Mobile Agents and Frameworks.

046002	**תכן וניתוח אלגוריתמים**	**י. מוזס/ ד. דרקסלר כהן**	2 ה', 1ת', 4מ' (3 נקודות)

<u>מטרת הקורס</u>

הקניית בסיס בתכן ובניתוח אלוגריתמים , הכרת נושאים מתקדמים באלגוריתמים, הקניית מושגים בסיסיים בסיבוכיות חישוביות, רדוקציות ובעיות NP.

<u>מקצועות קדם:</u>
044268 – מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים ו-
104034 – מבוא להסתברות ח' או,
104222 – תורת ההסתברות או,
094412/094411 – הסתברות מ'

<u>מקצועות דומים :</u>
234246 - אלגוריתמים בתורת הגרפים.
236343 - תורת החישוביות.

<u>סילבוס:</u>

אלגוריתמים מתקדמים בתורת הגרפים: גרפים מכוונים, בעיות זרימה ,בעיות כיסוי וצביעה. המחלקות P ו- NP רדוקציות פולינומיות NP-שלמות. תכנות לינארי ודינמי. שיטות אלגוריתמיות מתקדמות נוספות.

<u>סילבוס באנגלית:</u>

Review Advanced graph algorithms: directed graphs, flow networks, cover and coloring problems. Decidability and the Halting problem. The classes p and NP classes polynomial reductions NP-completeness. Dynamic and linear programming Additional advanced aldorithmic techniques.

<u>תוצאות למידה:</u>
הכרת אלגוריתמים מתקדמים בגרפים, תכנות ליניארי, מושג הרדוקציה בין בעיות ושימושיו, וכן עקרונות בסיסיים בחישוביות וסיבוכיות.

<u>Expected teaching benefits:</u>

Acquaintance with advanced graph algorithms, linear programming, reductions among computational problems, and basic principles of computability and complexity theory.

<u>מקורות:</u>

1. Cormen, T.H., Leiserson, C.E., Rivest, R.L. Introduction to Algorithms.3rd ed., MIT Press, 2010.
s.n. 2309426 – 3rd ed., 2010.

s.n. 2232918 – 2nd ed., 2001.
s.n. 2099273 – 1st ed., 1990.

2. קורמן, ת. מבוא לאלגוריתמים. האונ' הפתוחה, 2008.
מ.מ.2299723 – מהד' ב', 2008.
מ.מ. 2196197 – מהד' א', 1998.
3. Sipser, M. Introduction to the Theory of Computation. 2nd ed. Thomson/Course Technology, 2006. s.n. 2270984.
4. Kleinberg, J. Algorithm design. Pearson/Addison-Wesley, 2006.s.n. 2271029

046003 **נושא מיוחד** 1 ה'
(1 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס היא חשיפת סטודנטים לתחום מחקרי מתקדם שאינו מכוסה ע"י חברי הסגל בפקולטה. הוא יוצע בדר"כ בחודשי הקיץ ויינתן ע"י מומחה אורח. יתכן שהקורס יהיה מרוכז והוא יכלול 14 שעות הרצאה.
נושא הקורס ומועדו יפורסם מעת לעת, בהתאם לצורך ולזמינות המרצה המתאים.

Will not be given the year

The Objective of This Course Is to Train Students in a Variety of Topics Which Are Not Regularly Taught at the Faculty. the Course Will Typically Be Offered During the Summer, Taught by a Guest Expert. the Course May Be Given in An Intensive Format, Consisting of 14 Lecture Hours Within a Week. Specific Course Topics and Dates Will Be Published According to Availability of the Appropriate Teachers.

046004 **נושא מיוחד 2** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס היא חשיפת סטודנטים לתחום מחקרי מתקדם שאינו מכוסה ע"י חברי הסגל בפקולטה. הוא יוצע בדרך כלל בחודשי הקיץ ויינתן ע"י מומחה אורח. יתכן שהקורס יהיה מרוכז ויכלול 28 שעות הרצאה ברצף של שבועיים. על נושא הקורס ומועדו יפרסמו בהתאם לצורך ולזמינות המרצה המתאים.

Will not be given the year

The Objective of This Course Is to Train Students in Variety of Topics Which Are Not Regularly Taught at the Faculty. the Course Will Typically Be Offered During the Summer, Taught by a Guest Expert. the Course May Be Given in An Intensive Format, Consisting of 28 Lecture Hours Within Two Weeks. Specific Course Topics and Dates Will Be Published According to Availability of the Appropriate Teachers.

046005 **רשתות מחשבים ואינטרנט 2** **י. קסוטו/ א. אורדע** 2 ה', 1 ת'
(3 נקודות)

דרישות קדם: 044334 או 236334- מבוא לרשתות מחשבים
מקצוע זהה: 236341- תקשורת באינטרנט

סילבוס בעברית:
קורס המשך ברשתות. גישה מעלה-מטה. שכבת היישום: עקרונות, Web and HTTP, DNS, יישומי P2P ושרת-לקוח. שכבת ההובלה: UDP, TCP, בקרת זרימה, בקרת צפיפות ב- TCP. שכבת הרשת: קווים וירטואליים, IP, כתובות IPv4, ניתוב: עקרונות ואלגוריתמים, PI, Link State,PIF, – Bellman- Ford Distance Vector, ניתוב אופטימלי, ניתוב באינטרנט, OSPF, BGP.

English syllabus:

Advanced course in computer networks and internet. App;ication layer:principles,DNS,HTTP and WEB, P2P and client-server applications. Transport layer:TCP,UDP,flow control, congestion control. Network layer: Virtual LANs, IP,IPv4 addressing. Routing: principles and

תוצאות למידה :

הנושאים הנלמדים בקורס מכוונים לשתי מטרות עיקריות:

1) הקניית עקרונות של השכבות העליונות ברשת האינטרנט (שכבות אפליקציה, ההובלה והרשת). העקרונות כוללים פרוטוקולים ואלגוריתמים, וכלי ניתוח ביצועים מתורת התורים, תורת האופטימיזציה ותורת הגפים.
2) הכרת עקרונות של ניתוב ובקרת זרימה מנקודת מבט תאורטית ומההיבט המעשי (פרוטוקולים ברשת האיטרנט).

בסיום מוצלח של הקורס הסטודנט יכיר היטב עקונות כנ״ל וכן פרוטוקולים כנ״ל ברשת האינטרנט ויהיה מצויד בכלים בסיסיים הדרושים לפיתוח פרוטוקולים ואפליקציות ברשתות תקשורת בכלל ובאינטרנט בפרט.

Learning products:

This course includes two goals:
1) Acquire the principles of the upper network layers (application, transport and network). The principles include protocols, algorithms, performance analysis tools which are based on queuing, optimization and graph theories.
2) Knowledge of routing principles and flow-control from both theoretical and practical point-of-view.

At the end of the course, the student will have sufficient knowledge on the aforementioned principles and protocols in the Internet. The student will acquire the basic required tools for developing protocols and applications for computer networks in general, and for Internet in particular.

הערות:

1) בשל קיצור הסמסטר ל-13 שבועות יצומצם הנושא של תיאור אלגוריתמי ניתוב ברשת האינטרנט, ויתרכז באלגוריתמים הנפוצים יותר כיום (OSPF,BGP).
2) אין שינוי בדרישות הקדם.

מקורות:

J.F Kurose & Keith.W. Ross, Computer Networking, A Top-Down Approach, Pearson 2010

046006 **שם הקורס : קורס מתקדם בנושא מיוחד 3** 2 ה׳, 1 ת׳ (3 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס היא חשיפת סטודנטים לתחום מחקרי מתקדם שאינו מכוסה על ידי חברי הסגל בפקולטה. הוא יוצע בדרך כלל בחודשי הקיץ ויינתן על ידי מומחה אורח. יתכן שהקורס יהיה מרוכז ויכלול 28 שעות הרצאה ו-14 שעות תרגול ברצף של שבועיים.נושא הקורס ומועדו יפורסמו בהתאם לצורך ולזמינות המרצה המתאים.

Will not be given the year

The Objective of This Course Is to Expose Students to An Advanced Topic Which Is Not Regulary Taught in the Department. the Course Will Typically Be Offered During the Summer and Taught by a Guest Expert. the Course May Be Given in An Intensive Format, Consisting of 28 Lecture Hours and 14 Tutorial Hours Within Two Weeks. Specific Course Topics and Dates Will Be Published According to Availability of the Approprate Teachers.

046012 **מבוא לרכיבים וחומרים אורגניים** **נ.טסלר** 2 ה׳, 1 ת׳ (3 נקודות)

מקצועות קדם:

046241 – מכניקה קוונטית + (124114 יסודות הכימיה או 125001 כימיה כללית) + (044127 יסודות התקני מל״מ או 315030 תכונות חומרים אלקטרוניים).
או 124408 – תורת הקוונטים ויישומיה בכימיה + (044127 יסודות התקני מל״מ או 315030 תכונות חומרים אלקטרוניים).
או 044125- יסודות התקני מל״מ +(125001 כימיה כללית או 124408 תורת הקוונטים ויישומיה בכימיה)

מקצוע דומה:

049012- רכיבים אופטואלקטרוניים אורגניים

תפעול ומבנה של התקנים המבוססים על חומרים אורגנים (כגון: דיודות פולטות אור, טרנזיסטורים, גלאים ולייזרים). מבנה ותכונות של חומרים אורגנים. עירורים אופטים (אקסיטונים) וחשמליים. מנגנוני העברת אנרגיה ומנגנוני הולכה.

מקורות:

1. Turro, N.J. Modern Molecular Photochemistry. Univ. Science Books, 1991. s.n. 2212512.
2. Pope, M., Swenberg, C.E. Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers. 2nd ed. Oxford Univ. Press, 1999. s.n. 2214720.
3. Lampert, M.A., Mark, P. Current Injection in Solids. Academic Press, 1970. s.n. 2074375.

046021 רשתות תורים — 2 ה׳, 1 ת׳ (3 נקודות)

לא יינתן השנה

ניתוח תור m/m/1 הילוך שיכור, פקטוריזציית וינר- הופף, g/m, m/g/1 ונוסחת פולצ׳ק- חינצ׳ין. רשתות תורים רברסיביליות ורברסיביליות למחצה. רשתות ג׳קסון. חוק המספרים הגדולים הפונקציונלי ומשפט הגבול המרכזי הפונקציונלי.העתקת סקורוחוד חד מימדית.העתקות סקורוחוד רב מימדיות ושימושיהן במידול. קרובי נוזלים וקירובי דיפוזיה ל g/g/1. מקסימום מחזור פעילות. התנהגות הזנב. התנהגות תחת התניה להגיע לרמה נתונה. קירובי דיפוזיה לרשתות ג׳קסון מוכללות. אסימפטוטיקת סטיות גדולות. קצב התכנסות לשווי משקל.

Will not be given the year

Analysis of the M/M/1 Queue. Random Walk, Wiener-Hopf Factorization, G/M/1,M/G/1 and the Pollaczek-Khintchine Formula.Reversible and Quasi- Reversible Queueing Networks. Jackson Networks. Kelly Networks. Functional Law of Large Numbers and Functional Central Limit Theorem. the One- Dimensional Skorohod Map. the Multidimentional Skorohod Map and Its Uses in Modeling. Fluid and Diffusion Approximation for the G/G/1 Queue. Maximum of a Busy Period. Tail Behavior. Behavior Under Conditioning to Reach a Given Level. Diffusion Approximations for Generalized Jackson Networks. Large Deviation Asymptotics. Rate of Convergence to Equilibrium.

046041 רשתות עצביות ביולוגיות – חישוביות, עיבוד מידע ולמידה — 2 ה׳+1תר׳ (3 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים: מערכת העצבים. תא עצב בודד ותקשורת סינפטית. מודלים מפושטים של תאי-עצב. מודלים מתמטיים לאוכלוסיות של תאים. קידוד עצבי. פענוח מידע עצבי. זיכרון, למידה ופלסטיות

Will not be given the year

Topics: the Nervous System. Neurons and Synaptic Transmission. Simplified Models for Single Neurons. Mathematical Models for Populations of Neurons. Neural Encoding. Neural Decoding. Memory.

046042 מבוא למערכות הספק ורשת חכמה — **י.לברון** — 2 ה׳+1תר׳ (3 נקודות)

דרישות קדם:

מקצועות ללא זיכוי נוסף:
044195- מבוא למערכות הספק ורשת חכמה

סילבוס:
סקירת מבנה רשת ההספק, מקורות אנרגיה ומקורות מתחדשים.
מושגי יסוד במערכות הספק, שנאים, גנרטור סינכרוני, חיבור מקבילי ולרשת קשיחה.
קווי תמסורת זרימת ההספק במצב המתמיד בקרת הספק, תדר , מתח הספק עיוור, היבטים כלכליים, מבוא לרשת חכמה.

שם באנגלית:
INTRODUCTION TO ELECTRIC POWER SYSTEMS and SMART GRIDS

Syllabus

THE COURSE PROCIDES AN INTRODUCTION TO ELECTRIC POWERR SYSTENS, SMART GRIDS AND RENEWABLE ENERGY SOURCES.
THE TOPICS ARE THREE-PHASE CIRCUIT TRANSFORMERS, SYNCHORONOUS GENERATORS, TRANSMISSION LINES, PHOTOVOLTAIC SOURCES, INTRODUCTION TO POWER ELECTRONICS, POWER FLOW ALGORITHMS, ECONOMIC OPERATION, AND AN INTRODICTION TO POWER SYSTEM DYNAMICS

046052	**אופטו-אלקטרוניקה קוואנטית**	**א. בוקס**	2 ה'+1תר' (3 נקודות)

דרישות קדם:
115203- פיסיקה קוונטית 1
או 046241 – מכניקה קוונטית
מקצועות ללא זיכוי נוסף:
124400- כימיה קוונטית 1
124408- תורת הקוונטים ויישומיה בכימיה
127412- כימיה קוונטית 3
115204- פיסיקה קוונטית 2
מקצועות זהים:
048848- נושאים מתקדמים באלקטרו-אופטיקה 1
049052- אופטו-אלקטרוניקה קוואנטית

תורת ההפרעות התלויה בזמן, תורת הפיזורים, קירוב wkb, אינטגרלי מסלול, קירוב אדיאבטי, שדה אלקטרומגנטי קוואנטי, חלקיקים זהים, אינטראקציה בין אור לחומר, מערכות פתוחות ומידע קוואנטי.

מקורות:

1. N. W. Ashcroft and D. Mermin, Solid State Physics, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976
2. C. Kittel, Introduction to Solid state physics, Wiley, 2005

046055	**ננו-פוטוניקה ומטא-חומרים אופטיים**	**ג. ברטל**	2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

שם עברי מקוצר: ננו-פוטוניקה

דרישות קדם: 044148
מקצועות ללא זיכוי נוסף: 049055, 036070

סילבוס בעברית
משוואות מקסוול בחומר; דיספרסיה, רזוננסים בחומר ויחסי קרמרס-קרוניג; גלים דועכים; הרזוננס הפלזמוני, פלזמונים משטחיים ומהודים\מוליכי גלים פלזמוניים; מבוא לפוטוניקה משולבת; ננו-מבנים אופטיים מחזוריים ומבוא להנדסה של מטא-חומרים: קירוב התווך האפקטיבי, מקדם השבירה השלילי ו"העדשה המושלמת"; סופר-רזולוציה וננוסקופיה; אופטיקה טרנספורמטיבית עם מטא-חומרים (אי-נראות).

מקורות:
Wenshan Cai & Vladimir Shalaev, Optical Metamaterials: Fundamentals and Applications (Chapters 6,8-9), Springer, 2009
Stefan A. Maier, Plasmonics: Fundamentals and Applications (Chapters 1-3), Springer, 2007
Grahm T. Reed, Silicon Photonics: State of the Art (Chapters 4,7), Wiley, 2008
Lukas Novotny & Bert Hecht, Principles of Nano-Optics, Cambridge University Press, 2006

תוצאות למידה:
הסטודנטים ילמדו את עקרונות התכנון של התקנים ננו-פוטוניים לחישה, דימות, תקשורת ועוד. בכלל זה:
1) הסטודנטים יכירו את התכונות האלקטרומגנטיות הנדרשות מחומרים לטובת יצירת התקנים ננו-פוטוניים, וילמדו כיצד להנדס תכונות אלו.
2) הסטודנטים יכירו תופעות אלקטרומגנטיות ייחודיות לננופוטוניקה (כגון פלזמונים משטחיים). הסטודנטים יכירו שימושים נוכחיים ועתידיים להתקנים ננו-פוטוניים.

הרכב הציון: הציון ייקבע לפי ציוני מעקב ובחינה סופית
שם הקורס באנגלית: Nano-photonics and optical metamaterials

English syllabus:
Maxwell's equations in matter; dispersion, material resonance and Kramers-Kronig relations; evanescent waves; the plasmonic resonance, surface plasmons and plasmonic resonators\waveguides; introduction to integrated photonics; periodic optical nanostructures and introduction to metamaterial engineering: effective medium approximation, negative refractive index and "The Perfect Lens"; super-resolution and nanoscopy; transformation optics with metamaterials (cloaking).

Learning Outcomes:
The students will learn the design principles of nano-photonic devices for sensing, imaging, communications etc. In this respect, the students will be acquainted with:
1) The electromagnetic traits of materials, required for nano-photonic devices, and how to engineer them.
2) Unique electromagnetic phenomena in nano-photonics (such as surface plasmons).
3) Current and future uses for nano-photonic devices.

046129 **פיסיקה של מצב מוצק ח'** 2 ה'+1תר' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

תאוריית דרודה למתכות. תאוריית סומרפלד למתכות. סריגי גביש. הסריג ההופכי. דיפרקציית קרני x. רמות אלקטרוניות בפוטנציאל מחזורי. המודל הסמי קלאסי לדינמיקת אלקטרונים. מוליכים למחצה הומוגניים. תאוריה קלאסית של הסריג ההרמוני. תאוריה קוונטית של הסריג ההרמוני. ניידות ותהליכי פיזור של אלקטרונים.

Will not be given the year

The Drude Theory of Metal. the Sommerfeld Theory of Metals. Crystal Lattices. the Reciprocal Lattice. X-Ray Diffraction. Electron Levels in Periodic Potential. the Semiclassical Model of Electron Dynamics. Homogeneous Semiconductors. Classical Theory of the Harmonic Crystal. Quantum Theory of the Harmonic Crystal. Mobility and Electron Scattering Processes.

046187	**תכן מעגלים אנלוגיים**	**ר. אלבחר**	2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם: 044142.
מקצוע צמוד: 044202.

נושאי הלימוד:
תכנון מעגלים: שיטת תכנון ע"פ העקרון של אי-תאום אימפדנסים. מגברים רחבי סרט. טכניקה של "הזנת קדימה" (feed forward) להרחבת רוחב הסרט. רעש בדיודות, טרנזיסטורים ומגברים. תכן מגברי קדם לרעש נמוך. תאים סטנדרטיים ב- VLSI.
משוב: השיטה הטופולוגית לניתוח מגברי משוב. אחידות חוקי משוב מקבילי וטורי, תוך נצול הדואליות הקיימת ביניהם. הגדרת הרגישות של מגבר להפרעות חיצוניות והשימוש במשוב לשם הקטנתה. הקטנת ה -CMRR (Common Mode Rejection Ratio) של מגברי הפרש, ע"י משוב. תכנון מגברי משוב לתגובה מונוטונית בנוכחות השהיה בעניבה, תוך שימוש בשיטת root-locus. הגדרת המושג "משוב מדגיש" והשלכותיו על תכנון מגברים.
הטכניקה הטרנסליניארית של גילברט:
תכנון מגברים לפי שיטה זו .מכפל אנלוגי. ממושו של סיכום וקטורים ופונקציות אי-לינאריות אחרות.
אופן זרם: מעתיקי זרם. אינטגרטור זרם. מגבר בעל משוב זרם אמיתי בכניסה ודרגת יציאה של זרם.

מקורות:

1. ארבל, א. תכנון מתקדם של מעגלים לינאריים. מהד' ג'. מכלול, 1987.
מ.מ. 2034071 – מהד' ג', 1987.
מ.מ. 14825 – מהד' ב', 1982.
2. Razavi, B. Design of Analog CMOS Integrated Circuits. McGraw-Hill, 2001. s.n.2227194

046188	**מעגלים אלקטרוניים לאותות מעורבים**	**ק. יעקובסון**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044137 מעגלים אלקטרוניים ו-044131 אותות ומערכות
או
044142 מעגלים אלקטרוניים לינארים ו-044131 אותות ומערכות
או
044142 מעגלים אלקטרוניים לינארים ו-044130 אותות ומערכות

מבנה ותכן של ADC בקצב נייקוויסט, DAC, וממירי סיגמה- דלתה.
ממירי פלאש, PIPLINE ודגימת יתר. תכן מעגלי השוואה, DAC, SAMPLE-AND-HOLD, ניתוח מעגלים כולל אפקטים מסדר גבוה של אינטגרציה בסיליקון כגון רעש תרמי ורעש תדר, אופסט, ואי- התאמות. תהליכי תכן מרמת המערכת עד לרמת הטרנזיסטור.

מקורות:

1. R. Van De Plassch, CMOS integrated analog-to-digital and digital-to-analog converters, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, 2003
2. J.C. Candy, Oversampling Delta-Sigma data converters theory design and simulation, IEEE Press, 1992.
3. K.R. Laker, Design of analog integrated circuits and systems, MCgraw-Hill Series in Elect. And Comp. Eng. 1994
4. IEEE jornal of solid state circuits and Isscc.

046189	**תכן מסננים אקטיביים**	**א.דיסקין**	2 ה', 1ת'

(3 נקודות)

מקצוע קדם:
044130 – אותות ומערכות.

מטרת הקורס:
לתת בידי הסטודנט כלים ושיטות לתכן של מסננים המתאימים לשימוש בטכנולוגיות מעגלים אינטגראליים מיקרואלקטרוניקה ו- VLSI.
המסננים נמצאים בשימוש במערכות תקשורת, מערכות בקרה, מערכות לעיבוד אותות ועוד.
יושם דגש על הבעיות המיוחדות למסננים כנ"ל, כגון תכן לרגישות קטנה וליציבות.

נושאי הלימוד:
מבוא לאפרוקסימציה, תכונות של רשת שונות למימוש אקטיבי, רכיבים אקטיביים שונים, שיטות מימוש בעזרת נגדים, קבלים ומגברים אופרטיביים, מגברי Transconductance, ג'ירטורים ועוד.
בעיות רגישות וטולרנצים, בעיות יציבות.

מקורות:

1. Kardontchik, L.E. Introduction to the Design of Transconductor-Capacitor Filters. Kluwer, 1992. s.n. 2128151.
2. The Circuits and Filters Handbook. Edited by Chen, W.-K. 2nd ed., CRC Press, 2003. s.n. 2281178.

046192	**בקרה 2**	**נ.שימקיו/ א.טיטלר**	2 ה', 1 ת' (3.0 נקודות)

046195	**מערכות לומדות**	**ד. סודרי/ ע.יאיר/ כ.לוי**	2 ה', 2 ת' (3.5 נקודות)

דרישות קדם:
אותות ומערכות (044130), מבוא להסתברות (104034).

סילבוס
קורס מבוא למערכות לומדות בהקשרן לעיבוד אותות, בינה מלאכותית ולמערכות בקרה. בעיות סיווג, רגרסיה, הפחתת מימדיות בעזרת מיצוי רכיבים עיקריים ואישכול, סיווג בשיטת וקטורי התמיכה, רשתות עצביות, עצי החלטה, ושילוב מסווגים.

שם הקורס באנגלית: Machine Learning

פרוט נושאי הלימוד והערכת משכם:

1. הקדמה – 2 שעות.
למידה ממוחשבת מהי, סוגי בעיות למידה, דוגמאות.
2. יסודות סטטיסטיים – 4 ש'
מודלים סטטיסטיים, שערוך פרמטרי: סבירות מירבית/בייסאני, שערוך פילוגים לא פרמטרי.
3. עיבוד מקדים של מידע ולמידה לא מודרכת – 2 ש'
פעולות בסיסיות (מרכוז ונרמול), מאפיינים, הורדת ממדיות: PCA, אשכול.
4. מבוא ללמידה מודרכת – 2 ש'
רגרסיה/סיווג, מודלים פרמטריים/לא פרמטריים, סיכון אמפירי ואמיתי, איזון הטיה-שונות, התאמת יתר, קבוצת בוחן, מסווג השכן הקרוב ביותר (בתרגול – מסווג k-NN).
5. סיווג גנרטיבי – 2 ש'
סיווג גנרטיבי מול דסקרימינטיבי, סיווג גאוסי אופטימלי (QDA/LDA), בייס נאיבי.
6. עצי החלטה – 2 ש'
סיווג באמצעות עצי החלטה, בניית עצי החלטה מדוגמאות, קריטריונים לפיצול וגיזום.
7. שילוב אלגוריתמי למידה – 2 ש'

עקרון הלומד החלש, Boosting & bagging. בתרגול ילמד Gradient boosting.

קריאה עצמית: אלגוריתמי אופטימיזציה בסיסיים

8. רגרסיה לינארית – 2 ש'
מינימום ריבועים, רגולריזציה, שיטות גרדיאנט, גרדיאנט סטוכסטי.

9. סיווג לינארי – 2 ש'
פרספטרון, רגרסיה לוגיסטית

10. SVM ושיטות גרעין – 2 ש'

11. רשתות עצביות– 4 ש'
פרספטרון, רשתות רב שכבתיות, Back Propagation, משפט הקירוב האוניברסלי,
ארכיטקטורות: רשתות קונוולוציה, רשתות עם משוב, AutoEncoder , GAN.

<u>מרכיבי הציון ומשקלם:</u>

תרגילי בית	30% חובה
תרגילי הכנה	רבע נקודה בונוס לכל תרגיל
בחינה סופית	70%

<u>ספרים:</u>

רמה בסיסית:

- G. James, D. Witten, T. Hastie and R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning*, Springer, 2013.
- Y. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail and H. Lin, *Learning from Data: A Short Course*, AMLbook, 2012.

מתקדמים יותר:

- C. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning,* Springer , 2007.
- T. Hastie, R. Tibshirani and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning*, 2nd Ed. Springer, 2009.
- K. Murphy, *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*, MIT Press, 2012.
- R. Duda, P. Hart and D. Stork, *Pattern Classification*, 2nd Ed., Wiley, 2001.
- E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, 3rd ed., 2014.
- S. Shalev-Shwartz and S. Ben David, *Understanding Machine Learning*, Cambridge, 2014.

1. Mitchell, T.M. Machine Learning. McGraw-Hill, 1997. s.n. 2186354.

046196 **<u>בקרה לא לינארית</u>** 2 ה', 1ת'
(3 נקודות)

לא יינתן השנה

יצוג מערכות לא-לינאריות על ידי משוואות דיפרנציאליות, מצבי שווי משקל ויציבותם. אנליזה של מערכות בקרה לא-לינאריות במישור המצב ובאמצעות הפונקציה המתארת. השפעת אלמנטים לא-לינאריים בחוג הבקרה, כגון חיכוך קולון וממסרים, תופעות לא לינאריות, כגון מסלול גבולי (limit cycle) והחלקה . (sliding mode) תורת היציבות של ליאפונוב. קריטריון פופוב וקריטריון המעגל. תכן איתן (robust) באמצעות בקרת החלקה ובקרת ליאפונוב, שימוש בבקרת רובוטים. מבוא לבקרה מסתגלת.(adaptive)

Will not be given the year

Representation of Nonlinear Systems by Differential Equations, Equilibrium States and Their Stability. State Plane and Describing Function Analysis of Nonlinear Control Systems. Effect of Nonlinear Elements Such as Coulomb Friction and Relays, Nonlinear Phenomena Such as Limit Cycles and Sliding Modes. Lyapunov Stability Theory. the

Popov and Circle Stability Criteria. Design of Robust Control Systems by Sliding-Mode and Lyapunov Control, Application to Robot Control. Introduction to Adaptive Control.

046197	**שיטות חישוביות באופטימיזציה**	**כ.לוי**	2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
104011 – חדו"א מ'.
ו- 104016 – אלגברה 1 מורחב.
מקצוע דומה:
236330 – מבוא לאופטימיזציה
104193- תורת האופטימיזציה

מבוא: דוגמאות לבעיות אופטימיזציה. שיטות קלסיות לבעיה ללא אלוצים ועם אלוצי שוויון ואי שויון תכנות לינארי, תכונות כלליות, שיטת הסימפלקס, דואליות. שיטות איטרטיביות לבעיות ללא אלוצים: בעיות במימד יחיד – קרובים. שיטות ניוטון, תכונות התכנסות. בעיות רב ממדיות - שיטות חיפוש ישירות. שיטת גרדיאנט. שיטות קוואזיניוטוניות. כוונים צמודים, גרדיאנטים צמודים, מטריצה משתנה. הערה: המקצוע מומלץ לסטודנטים החל מהסמסטר החמישי.

מקורות:
Boyd, S. P., Vandenberghe, L. Convex optimization. Cambridge, 2004. s.n. 2262155.

046200	**עיבוד וניתוח תמונות**	**י.כהן/ י.שכנר**	2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
104034- מבוא להסתברות ח' **או** 094412 הסתברות מ' **או** 104222 תורת ההסתברות **או** הסתברות ת'

מקצועות ללא זיכוי:
236327- עיבוד תמונות ואותות במחשב

1. מבוא לראייה ולעיבוד תמונות.
2. מערכות לינאריות בדו-מימד: ייצוג מטריצי, מכפלת קרונקר, ספרביליות, התמרת פוריה דו-מימדית.
3. דגימה ושחזור של תמונות: דגימה אחידה, תופעת הקיפול בתמונות (aliasing), דגימה על סריג כללי.
4. קוונטיזציה: סקלרית, שיקולים חזותיים, קוונטיזצית צבע.
5. שיפור תמונות: שחזור ML, שחזור MAP, פונקציות הסתברות לתמונות.
6. שחזור תמונה: שחזור ML, שחזור MAP, פונקציות הסתברות לתמונות.
7. התמרות דיסקרטיות בדו- מימד: 2D-DFT , 2D- DCT, ייצוג וניתוח תמונות ברזולוציה משתנה.
8. דחיסת תמונה: מושגים בסיסיים בתורת האינפורמציה, יתירויות בתמונות וניצולן, דחיסה משמרת ולא משמרת.

מקורות:
1. Jain, A. K. Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice-Hall, 1989. s.n.2065704
2. Gonzalez, R.C., Woods, R.E.Digital Image Processing. 3rd ed. Addison-Wesley, 2007.
   s.n. 2279936 – 3rd ed., 2007
   s.n. 2238212 – 2nd ed., 2002.
   s.n. 21283329 – 1st ed., 1992.
3. Gonzalez, R.C. Digital Image Processing Using MATLAB.2nd ed. Gatesmark , 2009.
   s.n. 2307575 – 2nd ed., 2009.
   s.n. 2259287 – 1st ed., 2004.
4. אלעד, מ. עיבוד וניתוח תמונות, 1999. מ.מ. 2226345

תוצאות למידה:

בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:

- לדגום תמונה בסריג כללי, ולשחזרה בצורה מקורבת ע"י אינטרפולציה פולינומיאלית.
- לתכנן קוונטייזר אופטימאלי וקוונטיזר עם שיקולים ויזואליים
- ליישם פעולות ומסננים לשיפור תמונות.

- לשחזר תמונה מתוך גרסה רועשת ומטושטשת שלה.
- לאפיין התמרות לינאריות בדו-מימד.
- לתאר יתירויות בתמונות, ולתכנן סכמות דחיסה ופריסה המנצלות את היתירויות.

046201	**עיבוד אותות אקראיים**	**ת. מיכאלי**	2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
044202 – אותות אקראיים

מבוא לשערוך פרמטרים: הגדרת הבעיה, קריטריוני טיב שערוך, חסם קרמר-ראו והרחבותיו, שערוך בשיטת הסבירות במירבית, עקביות, יעילות אסימפטוטית, משערך רבועים פחותים, שערוך בשיטת המומנטים.

שערוך פרמטרים של תהליכים אוטורגרסיביים: משוואות משערך הרבועים הפחותים ופתרונן, אלגוריתם לוינסון, אלגוריתם רקורסיבי

מקורות:

1. Porat, B. Digital Processing of Random Signal: Theory and Methods. Prentice-Hall, 1994. s.n. 2144342.
2. Kay, Steven M. Fundamentals of Statistical Signal Processing. Vol.1. Prentice-Hall, 1993-1998. s.n. 2157997.
3. Papoulis, A. Pillai, S.U. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. 4th ed., McGraw-Hill, 2002. s.n. 2240547 – 4th ed., 2002. s.n. 2111164 – 3rd ed., 1991.
4. Candy, J. Signal processing : the modern approach. McGraw-Hill, 1988. s.n. 2135453.

046202	**עיבוד וניתוח מידע**	**ר.מאיר**	2 ה', 1 ת', 3 ע"ב (3 נקודות)

מקצועות קדם:
אותות ומערכות 044131, ו- מערכות לומדות 046195, ו – מבוא להסתברות ח' 104034
או
אותות ומערכות 044130, ו – מערכות לומדות 046195, ו - מבוא להסתברות ח' 104034

מקצועות ללא זיכוי נוסף:
עיבוד וניתוח מידע 046193

סילבוס בעברית
מבוא לנושאי הפקת מידע מנתונים ושיטות למידה לא מפוקחת.
יסודות בהסקה סטטיסטית: אמידה פרמטרית ולא-פרמטרית, בדיקת השערות.
עיבוד ראשוני של נתונים.
בחירת מאפיינים.
שיטות להורדת מימדיות: ניתוח רכיבים עיקריים, פירוק ערכים סינגולריים, הרחבות לא-לינאריות.
מדדי מרחק ודימיון בין פריטי מידע.
אלגוריתמים לאשכול.
זיהוי שכיחות וקשר, וזיהוי חריגים. יישומים מייצגים

תוצאות למידה:
בתום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:

1. לתאר את בעיות היסוד בניתוח מידע.
2. להסביר וליישם שיטות סטטיסטיות להערכת פרמטרים ובדיקת השערות מתוך מידע
3. להסביר וליישם שיטות בסיסיות לבחירת מאפיינים.
4. להסביר וליישם אלגוריתמים להורדת ממדיות מידע.
5. להסביר וליישם אלגוריתמים לזיהוי שכיחות וקשר.
6. להסביר וליישם אלגוריתמים לאשכול נתונים.
7. להסביר וליישם אלגוריתמים לניתוח וזיהוי חריגים במידע.

Syllabus:

INTRODUCTION TO DATA MINING METHODS AND UNSUPERVISED LEARNING.
REVIEW OF STATISTICAL INFERENCE
PARAMETRIC AND NON-PARAMETRICS ESTIMATION, HYPOTHESIS TESTING.
DATA PREPROCESSING.
FEATURE SELECTION. DIMENSIONALITY REDUCTION: PCA, SVD, NONLINEAR EXTENSIONS.
DSITANCE AND SIMILARITY MEASURES.
CLUSTERING ALGORITHMS.
FREQUWNCY AND ASSOCIATION MINING.
OUTLIER ANALYSIS.
REPRESENTATIVE APPLICATIONS.

Learning outcomes:

UPON COMPLETING THE COURSE, STUDENTS WILL BE ABLE TO:
1. EXPLAIN THE BASIC ISSUES OF DATA ANALYSIS.
2. EXPLAIN AND IMPLEMENT STATISTICAL METHODS FOR PARAMETER ESTIMATION AND HYPOTHESIS TESTING.
3. EXPLAIN AND IMPLEMENT BASIC APPROACHES FOR FEATURE SELECTION.
4. EXPLAIN AND IMPLEMENT ALGORITHMS FOR DATA DIMENSIONALITY REDUCTION.
5. EXPLAIN AND IMPLEMENT ALGORITHMS FOR FREQUENCY AND CORRELATION.
6. EXPLAIN AND IMPLEMENT ALGORITHMS FOR DATA CLUSTERING.
7. EXPLAIN AND IMPLEMENT ALGORITHMS FOR OUTLIER DETECTION.

046203	**תכנון ולמידה מחיזוקים**	**א. תמר**	2ה' 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044202- אותות אקראיים, ו – 046195 מערכות לומדות

מקצוע זהה:
046194 – למידה ותכנון במערכות דינאמיות

קבוצת התמחות: בקרה (אושר ע"י אנשי התחום).
קבוצות התמחות אפשריות נוספות: רשתות תקשורת, מחשבים.

קורס זה מהווה מבוא לבעיות בקרה והחלטה במערכות אירועים בדידים, תוך דגש על פתרון אופטימאלי בשיטות של תכנות דינאמי. הקורס מציג את המודל הבסיסי של תהליכי החלטה מרקוביים, שיטות פתרון מקובלות, ויישומים לבעיות החלטה דינאמיות במערכות מחשב, רשתות תקשורת, תכנון מסלול, ורובוטיקה. חלקו השני של הקורס כולל מבוא לנושאים המתקדמים של למידה באמצעות חיזוקים (Reinforcement Learning) ותכנון מקוון (online planning).

נושאי הלימוד:

1.הקדמה – 2 שעות.
סקירת הקורס. הצגת בעיות החלטה רלוונטיות מתחומים שונים.

2.מבוא לאופטימיזציה – 2 שעות
בעיות תכנות לינארי ותכנות קמור. אלגוריתמי גרדיאנט.

3.תהליכי החלטה מרקוביים – 8 שעות

שרשראות מרקוב בזמן בדיד (חזרה), שרשראות מרקוב מבוקרות ובעיית הבקרה האופטימאלית. קריטריון מחיר סופי, מהוון וממוצע. שיטות פתרון עיקריות: תכנות דינאמי (איטרציית הערך ואיטרצית המדיניות), תכנות לינארי.

4.דוגמאות – 4 שעות
תכנון מסלול ותנועה.
בקרה אופטימאלית של ניתוב ושיבוץ במערכות תורים ורשתות תקשורת.

5.תכנות דינאמי מקורב ולמידה על ידי חיזוקים –8 שעות.
בעית הלמידה באמצעות חיזוקים. סוגי למידה: מקוונת ולא מקוונת. בעיית הבנדיט-רב הזרועות, ניסוי לעומת מיצוי. אלגוריתמים בסיסיים: למידה המבוססת מודל, למידה על ידי הפרשים זמניים, למידת פונקצית ערך-הפעולה.

6.תכנון מקוון - 4 שעות.
בעיית התכנון המקוון במערכות דטרמיניסטיות וסטוכסטיות. שיטות חיפוש בגרפים אקראיים. יישום למשחקי לוח.

מקורות:

ספר לימוד:
D. Bertsekas, Dynamic Programming and Optimal Control, Vol.1 (3rd ed., 2005), Vol. 2 (4th ed., 2012), Athena Scientific.

ספרי עזר ועיון:
S. Russel and P. Norvig, Artifical Intelligence – A Modern Approach, 3rd ed., Prentice-Hall, 2009.
S. LaValle, Planning Algorithms, Cambridge, 2006.

046204 **תקשורת אנלוגית** **ע. טל** 2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
044142 מעגלים אלקטרונים ליניאריים ו-044202 – אותות אקראיים
או
044137 מעגלים אלקטרוניים ו-044202 – אותות אקראיים

אנו חיים בעולם ספרתי אך העברה ואחסון מידע ספרתי מתבצעים מעל תווכים אנלוגיים טבעיים או מעשי אדם באמצעות צורות גל רציפות בזמן. אותות ספרתיים לא קיימים בעולם הפיסי – הכל אנלוגי. לכן קורס זה מכוון הרבה מעבר לרדיו AM/FM של סבתא אלא מניח יסודות מוצקים לייצוג בתחום הזמן והתדר ועיבוד ליניארי ולא-ליניארי של תהליכים אקראיים אנלוגיים אשר הם הבסיס של התקשורת המודרנית על סוגיה.
נושאים: אפנון וגילוי ליניארי –פורמאטי איפנון AM ו-DSB. ייצוגים קומפלקסיים של תהליכי פס-מעבר (עוטפת קומפלקסית , אות אנליטי, התמרת הילברט) ומעברם דרך מערכות ליניאריות. פורמאט איפנון SSB והקדמה לVSB.
ניתוח יחס-אות-לרעש SNR של DSB, AM, SSB. איפנון זויתי FM, PM וביצועיו בנוכחות אי-ליניאריות של הערוץ ורעש.

שם הקורס באנגלית:

Analog Communication Course Overview-Compiled by prof. M Nazarathy

We live in a digital world yet transfer and storage of digital information are performed over analog media, be they natural or man-made, by means of time-continuous waveforms. Digital signals do not exist in the physical world – everything is analog. Thus, this course aims well beyond Grandma's old AM/FM radio, laying solid foundations for representing analog random processes in the time and frequency domain and performing linear and nonlinear processing on these signals – providing the basis for modern communication and measurement techniques in all their forms.
Topics: Linear modulation and detection - AM and DSB modulation formats. Complex representations of bandpass deterministic and random signals (complex envelope, analytic signal, Hilbert transform). SSB modulation format and brief intro to VSB. Analysis of the Signal to Noise Ratio (SNR) of DSB, AM, SSB. Angle modulation, namely PM, FM and its performance in the wake of channel nonlinearity and noise.

תוצאות למידה:

הקורס יטיב עם כל מי שמעוניין בבסיס מוצק עבור לימודי המשך של תקשורת ספרתית, עיבוד אותות, מערכות מכשור מדידה או מכשור רפאוי , מערכות מכ״ם, וכו׳. בפרט פיסיקאים או חוקרים בתחום האלקטרוניקה פיסיקלית אשר שואפים להעמיק הבנתם בסטטיסטיקה של תופעות אות ורחש ובאפנון אותות. הנושאים הנלמדים יהיו רלוונטיים עד-עולם ואינם דווקא מוגבלים לטכניקות האנלוגיות הספציפיות.

Learning products:
The course may benefit whoever is interested in a solid base for follow-up studies of digital communication, signal processing, instrumentation systems – for measurement and medical, radar systems, etc.. In particular, physicists or EE practitioners of physical electronics who wish to deepen their understanding of the statistics of noisy signals and modulation of signal will benefit.
The taught topics are expected to stay relevant forever as they are not related to particular analog technologies (e.g., the theory of phase-noise presented here in the context of FM, is relevant wherever phase noise arises).

מקורות:

1. B.P. Lathi: Modern Digital and Analog Communication Systems 3rd Edition, Oxford University Press 1998,
2. Carlson, A.B., Crilly, P., Rutledge, J. Communication Systems: An Introduction to Signal and Noise in Electrical Communication. 5th ed. McGraw-Hill, 2009.
   s.n. 2308794 – 5th ed., 2009.
   s.n. 2237756 – 4th ed., 2002.
   s.n. 2004433 - 3rd ed., 1986.
3. Additional optional textbooks that lecturer lists , tauc and Schilling , Haykin, Stremler.

046205 מבוא לתורת הקידוד בתקשורת — **נ. וינברגר** — 2 ה׳, 1ת׳ (3 נקודות)

מקצוע קדם:
046206 – מבוא לתקשורת ספרתית.

סילבוס :
-מבוא לקידוד בערוצים רועשים
-הצגת קודי בלוק לינאריים הכולל גם חומר רקע בחבורות סופיים
-פענוח סינדרום והמערך הסטנדרטי
-קודי בלוק לינאריים- קודי Hadamard לבניית אותות אורתוגוליים שווי- אנרגיה, אנליזת ביצועים של - מקלט קוהרנטי, קודי Reed-Muller
- קודי קונבולוציה : תיאור אלגברי, מקודדים, ופענוח MAP ע״י מפענח ויטרבי
-אנליזת ביצועים של קודי קונבולוציה עם מפענח ויטרבי
-אלגוריתם פענוח BCJR לקודי קונבולציה רקורסיביים
-מבוא לאלגוריתמי פענוח איטרטיביים עבור קודי גרף

Updated syllabus

a. Introduction to coding for noisy channels (2 hours)
b. Linear block codes introduction, with background material in group theory (4 hours)
c. Syndrome decoding and the standard array (2 hours)
d. Linear block codes – Hadamard codes for orthogonal signals, performance analysis of coherent detector, Reed-Muller codes (3 hours)
e. Convolutional codes: algebraic view, encoders, Viterbi MAP decoding (7 hours)
f. Performance analysis of convolutional codes under Viterbi decoding (3 hours)
g. The BCJR algorithm for recursive convolutional codes (2 hours)
h. Introduction to iterative decoding algorithms for graph codes (3 hours)
   Total: 26 hours, consisting of 13 lectures of two hours each

תוצרי למידה:

מטרת הקורס היא להקנות עקרונות יסוד אשר עליהם מבוססות מערכות תקשורת מקודדות מודרניות. מערכות תקשורת המשלבות קודים לתיקון שגיאות מתוכננות מתוך שאיפה להשגת ביצועים טובים תחת אילוצים מעשיים הקשורים במגבלות הספק שידור, רוחב-סרט, השהיית עיבוד נתונים, וסיבוכיות קידוד ופענוח. הקורס הינו קורס יסוד ששם דגש על אספקטים מעשיים הקשורים בתכן קודים לתיקון שגיאות, וניתוח הסתברותי של ביצועי קודים.

Learning outcomes:

The objective of the course is to provide the fundamentals upon which modern coded communication systems are built. Communication systems that use error-correcting codes are designed for good performance under practical constraints of transmission power, bandwidth, data-processing delays, and encoding/decoding complexities. The course emphasis is on both deep fundamental principles of coding, and practical aspects of coding such as code design and probabilistic performance analysis.

הערות:

1) עקב קיצור הסמסטר ל-13 שבועות יצומצם הנושא האחרון הקשור בפענוח איטרטיבי של קודי גרף, כיוון שניתן קורס מתקדם יותר בנושא הקרוי "קודי גרף ואלגוריתמי פענוח איטרטיביים" (049040).
2) על הקורס "מבוא לתקשורת ספרתית" (046206) חלה דרישת קדם או צמד בלימוד הקורס "מבוא לתורת הקידוד בתקשורת".

מקורות:

1. Lin, S., Costello, D.J. Jr. Error Control Coding: Fundamentals and Applications. 2nd ed. Prentice-Hall, 2004. s.n. 2258968.
2. Roth, R. M. Introduction to Coding Theory. Cambridge Univ. Press, 2006. s.n. 2274065.
3. Proakis, J.G., Salehi, M. Digital Communications. 5th ed.McGraw – Hill, 2008. s.n. 2296798.

046206 **מבוא לתקשורת ספרתית** **י. שטינברג** 2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:

044202 – אותות אקראיים

- מבוא לתקשורת ספרתית ואפיון מרכיבי מערכת התקשורת.
- מערכת תקשורת דיסקרטית בזמן (חד מימדית ורב מימדית): חוק ההחלטה האופטימלי.
- ייצוג סיגנלים בעלי אנרגיה סופית
- מערכת תקשורת רציפה בזמן ברעש גאוסי לבן וגלאים אופטימליים, מקלט הקורלציה והמסננת המתואמת
- חישוב ביצועים, הסתברות שגיאה ובחירת סיגנלים אופטימליים- המקרה הבינארי והמקרה הכללי, תוצאות מדויקות וחסמים.
- מערכת תקשורת עם פרמטרים לא ידועים ככלל, ותקשורת לא קוהרנטית (פאזה אקראית) בפרט
- בעיית המכ"ם הקלאסית וקריטריון ניימן- פירסון
- יסודות תורת השערוך למשתנים אקראיים ופרמטרים: חשוב ביצועים, חסמים ויישום לדוגמאות קלאסיות (לדוגמא שערוך השהייה)
- נושא אופציונלי- תקשורת בינארית במשטר פואסוני

מקורות:

1. McDonough, R.N., Whalen, A.D. Detection of Signals in Noise. 2nd ed.

Academic Press, 1995. s.n.2175173.
2. Wozencraft, J.M. Principles of Communication Engineering. Wiley, 1965. s.n.215864.
3. Van Trees, H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory. Part I. Wiley, 1966. s.n.215593.
4. Proakis, J.G., Salehi, M. Digital Communications. 5th ed. McGraw – Hill, 2008.
s.n. 2296798 – 5th ed., 2008. s.n. 2224766 - 4th ed., 2001.
5. Helstrom, Carl W. Statistical Theory of Signal Detection. 2nd ed. Pergamon, 1968.
s.n. 2021082.
6. Gallager, Robert G. Principles of Digital Communication. Cambridge, 2008. s.n. 2293750.
7. Lapidoth, Amos. A Foundation in Digital Communication. Cambridge, 2009. s.n. 2307960.

046208	**טכניקות תקשורת מודרניות**	**נ. וינברגר**	2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
046206 – מבוא לתקשורת ספרתית
מקצועות דומים:
048703 – נושאים מתקדמים בתקשורת ואינפורמציה, שניתן בתשס"ג
049001 – טכניקות מודרניות לאיפנון ספרתי

הקורס מטפל במגוון טכניקות שידור ספרתי מודרניות ובאבני בנין בסיסיות של עיבוד אותות במשדר ובמקלט לצורך העברה יעילה של מידע ספרתי.
נושאים: שידור PAM פס-בסיס ופס-מעבר (עיצוב צורת פולס לביטול הפרעה בין-סימנית וסינון מתואם), שידור PAM אורתוגונאלי ושידור OFDM, שידור פס-מבוזר SPREAD SPECTRUM, השוואת ערוץ EQUALIZATION מסוג מאלץ-אפס ZERO-FORCING ומסוג שגיאה ריבועית ממוצעת מזערית MMSE, השוואה מסתגלת ADAPTIVE EQUALIZATION.

The course addresses a variety of modern digital transmission techniques and basic signal processing building blocks in the transmitter and receiver for efficient transfer of digital information.
Topics: Baseband and Passband PAM transmission (pulse-shaping for inter-symbol-interference cancellation and matched filtering), Orthogonal PAM and OFDM transmission, Spread-spectrum transmission, Channel equalization of the zero-forcing (ZF) and minimum-mean-square-error (MMSE) types, Adaptive equalization.

תוצאות למידה:
עקרונות תקשורתיים-עיוניים עבור העברה ספרתית יעילה או מיטבית של מידע וכן מבני וטכניקות עיבוד אותות ספרתי במשדר ובמקלט אשר מהווים בסיס לתכן ומימוש מערכות תקשורת מודרניות. הקורס חיוני לכל מי שיעסוק במחקר וכן בתכן ומימוש תעשייתיים של תקשורת - הקורס מספק תמונת-על וכן מקנה עקרונות של פעולת השכבה הפיסית של התקשורת ספרתית החדישה וכן רקע מערכתי עבור מימושי תכנה-חמרה לעיבוד אותות עבור מערכות תקשורת

Learning products:

Communication-theoretic principles for efficient or optimal transfer of digital information and digital signal processing structures and techniques in the transmitter and receiver which provide the basis for design and realization of modern communication system. The course is essential to provide overview of and insight into the principles of the digital communication physical layer for whoever intends to work in the framework of research on advanced signal processing for communication or in the industry on transceiver design and software/hardware implementations.

מקורות:

1. Haykin, S. Communication Systems. 4th ed. Wiley, 2001. s.n. 2216160.
2. Proakis, J.G., Salehi, M. Digital Communications. 5th ed. McGraw – Hill, 2008.
s.n. 2296798 – 5th ed., 2008.
s.n. 2224766 - 4th ed., 2001.
3. Schwartz, M., Bennett, W.R., Stein, S. Communication Systems and Techniques. McGraw-Hill, 1996. s.n. 2208736; s.n. 214780.
4. Barry, J.R., Lee, E.A., Messerschmitt, D. Digital Communication. 3rd ed. Kluwer, 2004.
s.n. 2255010 - 3rd ed., 2004. s.n. 2176120 – 2nd ed., 1994.

5. Tse, D., Viswanath, P. Fundamentals of wireless communication. Cambridge University Press, 2005. s.n. 2281019
6. Goldsmith, A. Wireless communications. Cambridge Univ. Press, 2005. s.n. 2290088.
7. Madhow, U. Fundamentals of digital communication. Cambridge Univ. Press, 2008. s.n. 2297401.

046209 **מבנה מערכות הפעלה** **מ.זילברשטיין /א. אייל** 2 ה', 2ת' (3.5 נקודות)

מקצועות קדם:
044262 – תכן לוגי ו- 044101 – מבוא למערכות תוכנה או
046262 – תכן לוגי ו- 234122 – מבוא לתכנות מערכות
234262- תכן לוגי ו- מבוא לתכנות מערכות.
מקצוע דומה:
236364 – מבנה מערכות הפעלה

סוגי מערכות הפעלה, הצגה היירארכית. מושג התהליך: מבני נתונים, יצירה, בקרה (קואורדינציה) והשמדה, תקשורת תהליכים GNIHCTIWS TXETNOC. ניהול זיכרון ראשי: ארגון ומימוש. טפול בפסיקות: קלט-פלט, זימון, פסיקות תכנה. ניהול שעון בזמן אמת: ארגון ומימוש. מערכות קבצים: קלט-פלט לדיסק, מבני נתונים, מדריכים. ניהול קלט-פלט: מסופים, דיסקים, אפיק תקשורת, אתחול מערכת וניהול קונפיגורציה.

מקורות:

1. Silberschatz, A., Galvin, P.B., Gagne, G. Operating System Concepts. 7th ed. Wiley, 2005.
   s.n. 2268680 – 7th ed., 2005.
   s.n. 2247572 - 6th ed., 2003.
   s.n. 2179932 - 5th ed.,1998.
   s.n. 2148315 - 4th ed.,1994.
2. Tanenbaum, A.S. Modern Operating Systems. 3rd ed. Prentice-Hall, 2009.
   s.n. 2293896 - 3rd ed., 2009.
   s.n. 2229832 - 2nd ed., 2001.
3. The Design and Implementation of the 4.4BSD Operating Systems. Edited by McKusick, M.K., Bostic, K., Quanterman, J.S. Addison-Wesley, 1996. s.n.2254981.
4. Bach, M.J. The Design of the UNIX Operating System. Prentice-Hall, 1986. s.n.2019693.

046210 **מעבדה במערכות הפעלה** **מ. זילברשטיין** (1 נקודה)

מקצוע צמד:
046209- מבנה מערכות הפעלה
מקצועות דומים:
234120- מערכות הפעלה
234123- מערכות הפעלה

תרגול יישומי של עקרונות מערכות הפעלה בשפת C עם קריאות מערכת של Unix.

046211 **למידה עמוקה** **ד. סודרי** 2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

שם עברי מקוצר: למידה עמוקה

דרישות קדם:
"מערכות לומדות" 046195, או "מבוא למערכות לומדות" 236756

בקורס זה נתכנת ב-Python ונשתמש בסביבת Pytorch, כפי שנלמד בקורס מערכות לומדות (מאז אביב 2019). חומר עזר יינתן לסטודנטים שצריכים רענון, אך באחריות הסטודנטים להשלים כל חוסרים.

<u>סילבוס בעברית</u>

נלמד כלים תיאורטיים ומעשיים, כדי לבנות, לאמן ולנתח רשתות נוירונים ללמידה עמוקה, בדגש על למידה מונחית. למשל, תכונות ותנאי התכנסות של אלגוריתם הגרדיאנט וגרסאותיו השונות, רשתות רב שכבתיות (תכונות קירוב וסימטריות), חישוב יעיל של נגזרות, רשתות קונוולוציה והרחבותיהן למשימות ראייה, שיטות אימון וניתוחן, רשתות למשימות סדרתיות, ולמידה מקדימה.

<u>פרוט נושאי הלימוד והערכת משכם:</u>

1. הקדמה – 2 שעות.
   חזרה על מערכות לומדות, הכללה, מדוע למידה עמוקה חשובה, מה נעשה בקורס.

2. אופטימיזציה – 2 שעות.
   תכונות והבטחות התכנסות של אלגוריתמי אופטימיזציה שונים: אלגוריתם הגרדיאנט, גרדיאנט סטוכסטי, מומנטום, קצב לימוד מסתגל, וכו'.

3. גזירה יעילה – 2 שעות.
   פעפוע אחורי (Backpropagation) באמצעות כופלי לגרנז', גזירה בגרפים כלליים ופונקציות סתומות, תת-גרדיאנטים, גזירה נומרית, נגזרות מסדר שני.

4. נוירון בודד – 2 שעות.
   פונקציות מחיר לרגרסיה וסיווג, פונקציות אקטיבציה, משטח האופטימזציה, התכנסות, רגולריזציה חבויה, הכללה.

5. רשתות נוירונים רב שכבתיות – 2 שעות.

   משפט הקירוב האוניברסלי והרחבותיו, משטח האופטימזציה, סימטריות וגדלים נשמרים, שיטות אתחול, חיבורי דילוג (skip-connections).

6. רשתות למשימות ראייה – 2 שעות.
   רשתות קונבולוציה, זיהוי, וסגמנטציה; שיטות אוגמנטציה

7. רשתות למשימות סדרתיות – 2 שעות.
   רשתות עם משוב, קשב (attention), ושנאים (transformers)

8. שיטות אימון – 2 שעות.
   נרמול הקלט, שכבות נרמול, רגולריזציה, שיטות אופטימזציה, פונקציות מחיר שונות, וכיוונון היפר-פרמטרים.

9. ניתוח השפעה של שיטות אימון – 2 שעות.
   אינטראקציה בין גורמים, ניתוח של רשתות פשוטות.

10. יעילות בנתונים ולמידה מקדימה (pre-training) – 2 שעות.
    הנחיה עצמית, למידת ייצוג, למידת העברה (transfer learning)

11. יעילות משאבים ודחיסת מודלים – 2 שעות

    זיקוק מודלים, דילול, קוונטיזציה

12. הרצאת סיכום, נושאים נבחרים, הצגת פרוייקטים – 2 שעות

13. הצגת פרוייקטים – 2 שעות.

<u>מקורות:</u>

הקורס אינו עוקב אחר מקור מסויים, אולם המקורות הבאים יכולים להיות שימושיים:

Dive into Deep Learning, Aston Zhang, Zack C. Lipton, Mu Li, Alex Smola, 2020

Deep Learning with PyTorch, Vishnu Subramanian, *Packt*, 2018

Deep Learning, Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville, *MIT Press*, 2016

תוצאות למידה:
עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנטים יהיו מסוגלים:

1. להכיר את המודלים העיקריים ושיטות אימון מקובלות ללמידה עמוקה.
2. לכתוב קוד python, בסביבת pytorch, לבנייה, אימון ושימוש ברשת עמוקה.
3. להבין את השיקולים הנדרשים לכיוונון רשתות עמוקות כדי לקבל ביצועים טובים, ואת התוצאות התיאורטיות הרלוונטיות (במידה וקיימות).

הרכב הציון:

40% בחינה סופית

30% שיעורי בית הכוללים חלק "יבש" ו"רטוב"

30% פרויקט סופי

שם הקורס באנגלית: Deep Learning

English syllabus:
We will learn theoretical and practical tools to build, design and analyze deep networks, with an emphasis on supervised learning. For example, properties and covnergence of gradient desecnt and its variants, efficient differntiation, multilayer nets (approximation and symmetry), convnets (and extentions) for visual tasks, training methods and their analysis, networks for serial data, and pre-training.

Learning Outcomes:
With the completion of the course, the students:

1. Will be familiar with the main models and common training methods for deep learning.
2. Will be able to code (in Python, using the Pytorch framework) for deep neural network, train it, and use it.
3. Will be able to understand the considerations required to tune deep networks for achieving good perfomance, and the relevant theoretical results (when such exist).

046212 **מבוא לרובוטיקה ח'** **א. תמר** 2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
044131 – אותות ומערכות

מקצועות ללא זיכוי נוסף:
035001 – מבוא לרובוטיקה
236927 - מבוא לרובוטיקה

סילבוס בעברית -
מבוא לקינמטיקה, דינמיקה, תכנון תנועה ובקרה של מניפולטורים רובוטיים. טרנספומציות הומוגניות, קינמטיקה קדמית והופכית, יעקוביאן קדמי והופכי. דינמיקה במרחב הצירים ובמרחב המבצעי. מערכת הפעלה רובוטית (ros). בקרת תנועה ובקרת כוח. תכנון תנועה. מערכת הפעלה רובוטית.

תוצאות למידה
לימוד העקרונות לתכנון ובקרת תנועה של מניפולטור רובוטי, קינמטיקה ודינמיקה, ועד למימוש אלגוריתמי בקרה במערכת הפעלה רובוטית. בסוף הקורס, הסטודנט/ית יממשו תכנון תנועה ובקרה של רובוט בסימולציה.

The Course Provides An Introduction to the Kinematics, Dynamics, Planning, and Control of Robot Manipulators. Kinematics: Homogeneous Transformations, Forward and Inverse Kinematics, Forward and Inverse Jacobians. Dynamics: Dynamics in Joint Space and Operational Space. Control: Motion Control, Pid Control, Inverse Dynamics Control, Force Control. Planning: Trajectory Planning, Motion Planning, Prm, Rrt. Robot Operating System (Ros).

Learning outcome

The Student Will Learn the Principles for Planning and Controlling the Motion of Robotic Manipulators, Starting from the Fundamental Kinematic and Dynamic Principles, and Up to Implementing Control Algorithms on the Robot Operating System (Ros). the Student Will Implement Motion Planning and Control of a Robot in Simulation.

מקורות:

1.
Robotics
Modelling, Planning and Control
Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., Oriolo, G.
Springer
2009

2.
Planning Algorithms
Steven M. LaValle
Cambridge University Press
2006

3.
Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control
Kevin M. Lynch and Frank C. Park
Cambridge University Press
2017

4.
Introduction to robotics : mechanics and control, 3rd edition
Craig, John J.
Upper Saddle River, N.J : Pearson Education
2005

046216	**מיקרוגלים**	**א.אפשטיין**	3ה', (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044148 - גלים ומערכות מפולגות

משפטי יסוד באלקטרומגנטיות שימושית. קוי תמסורת בתדר גבוה. מערכות גל-בו מהודים. מושגי אימפדנס ורשת. התקנים פסיביים. מבנים מחזוריים. מיזר המיקרוגל.

מקורות:

1. Collin, R.E. Foundations for Microwave Engineering. 2nd ed. IEEE Press, 2001.
   s.n. 2268714, s.n.2122625.
2. Pozar, D.M. Microwave Engineering. 3rd ed. Wiley, 2005.
   s.n. 2258561 – 3rd ed., 2005.
   s.n. 2189023 – 2nd ed., 1998.
3. Harrington, R.F. Time – Harmonic Electromagnetic Fields. IEEE, 2001.
   s.n. 2254992; s.n. 212204-1961.
4. Collin, Robert E. Field Theory of Guided Waves. 2nd ed. IEEE Press, 1991.s.n.2100691.
5. Schachter. L. Microwave Lecture Notes. Technion, 2009.
   http://webee.technion.ac.il/people/schachter/Teaching/microwaves-locked.p

046225	**עקרונות פיזיקליים של התקני מל"מ**	**ע.ילון**	2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:

044124 אלקטרוניקה פיזיקלית ו-044127 יסודות התקני מוליכים למחצה ו-114073 פיסיקה 3ח'
או
044125 יסודות התקני מוליכים למחצה מ' ו-114073 פיסיקה 3ח'
או
044127 יסודות התקני מוליכים למחצה ו-115203 פיסיקה קוונטית 1
או
044125 יסודות התקני מוליכים למחצה מ' ו-115203 פיסיקה קוונטית 1

מקצוע דומה:

046224- יסודות התקני מל"מ.

סיווג מתכת/מל"מ/ מבודד ומודל אטום המימן לסיגים.
ריכוז נושאי מטען בשיווי משקל כתלות בטמפרטורה.
תהליכי התאחדות.
משוואת הרציפות וקוואזי נייטרליות.
קוואזי רמת פרמי.
צומת PN זרמי התאחדות וגנרציה, מנגנוני פריצה.
צומת מתכת- מל"מ בשיווי משקל ובממתח.
תופעות תלויות זמן.

Classification into metal
Semiconductor insulator and the hydrogen atom model for dopants.
Charge carrier concentration as function of temperature under equilibrium.
Recombination reprocesses.
The continuity equation and quasi-neutrality .
Quasi fermi levels.
PN junction
Generation recombination currents, and breakdown mechanisms.
Metal semiconductor junction under equilibrium and under bias.
Transient phenomena.

תוצאות למידה

הבנה עקרונית של התהליכים הפיסיקליים המתרחשים במוליכים למחצה ומשפיעים על אופי פעולה של התקני מל"מ.
הכרות עם ההנחות שמאפשרות יכולות חישוב וסימולציה של התקני מל"מ.
יכולת הבנה וניתוח של תוצאות מדידה חשמליות בסיסיות של התקני מל"מ.

Result of learning:

Understanding the physics of semiconductors that govern the operation of electron devices. Familiarity with the basic assumptions that allow for simulations and calculations of device physics, and some electrical characterization techniques of electron devices.

מקורות:

1. Pierret, R.E. Advanced Semiconductor Fundamentals. 2nd ed. Prentice-Hall, 2003.
   s.n. 2248908 - 2nd ed., 2003.
   s.n. 2067323 – 1st ed., 1987.
2. Streetman, B.G., Banerjee, S. Solid State Electronic Devices. 6th ed. Prentice-Hall, 2006.
   s.n. 2274392 - 6th ed., 2006.
   s.n. 2216624 - 5th ed., 2000.
3. McKelvey, J.P. Solid State and Semiconductor Physics. Krieger, 1984. s.n. 213434, s.n. 2001625.
4. McKelvey, J.P. Solid State Physics for Engineering and Materials Science. Krieger, 1993. s.n. 2229416.
5. Smith, R.A. Semiconductors. 2nd ed. Cambridge Univ. Press, 1978. s.n. 227995.
6. Sze, S.M. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Wiley, 2007.
   s.n. 2284483 – 3rd ed., 2007.
   s.n. 205744 – 2nd ed., 1981.
   2279420

לא יינתן השנה

עקרון הפעולה של צמתים מעורבים, והשימוש בהם ובהתקנים שונים: טרנזיסטורים מהירים, טרנזיסטורים להספק גבוה, ולייזרים. חזרה על עקרונות הפעולה של טרנזיסטור ביפולרי, טרנזיסטורים ביפולריים בעלי צומת מעורב. טרנזיסטורי הספק עכשווים מבוססי סיליקון. תופעת impact ionization. מוליכים למחצה חדשים סיליקון קרביד ויהלום. התקני זכרון חדשים שאינם מבוססי cmos. שימוש בסימולציית התקנים.

תוצאות למידה

עם השלמת הקורס בהצלחה: הסטודנט:

1. יכיר התקנים אלקטרוניים שאינם cmos ונמצאים בשימוש או בפיתוח ויבין את עקרון הפעולה שלהם.
2. ידע להשתמש בתוכנת סימולציית התקנים.
3. יכיר וידע לנתח תופעות פיסקליות הרלוונטיות להתקנים אלו.

will not be given the year

Principle of Operation of Heterojunctions and Their Applications: Fast Transistors, Power Transistors and Lasers. Review of Principle of Operation of Bipolar Transistors. Heterojunction Bipolar Transistor. Silicon Power Devices. Physics of Impact Ionization. New Semiconductors- Silicon Carbide and Diamond. New Non-Cmos Memory Technologies. Device Simulation Software.

Learning Outcomes

At the End of the Course, the Student Will:

1. Get Acquainted with and Understand the Principle of Operation of Current and Emerging Non Cmos Electron Devices.
2. Learn How to Use Device Simulation Software.
3. Understand Physical Phenomena Related to Electron Devices Described.

046232	**פרקים בננו - אלקטרוניקה**	**י.יעיש**	2 ה' , 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:

046241- מכניקה קוונטית או,
115203 – פיסיקה קוונטית 1

וגם

044129 – מבוא לפיסיקה של מצב מוצק או,
114217 – פיסיקה של מצב מוצק.

סקלות אורך אופייניות במוצקים, תורת לנדאואר (שימושים: קוואנטיזציה של הולכה, אפקט הול הקוואנטי), פאזות גיאומטריות (ברי, אהרונוב – בוהם), תהליכי התאבכות והריסתם, אינטראקציות אלקטרון –אלקטרון, לוקליזציה ופלקטואציות בהולכה, גז האלקטרונים הדו – מימדי, נקודות קוונטיות ומחסום קולומב, מחשוב קוואנטי.

מקורות:

1. Ferry, D.K., Goodnick, S.M. Transport in Nanostructures. Cambridge Univ. Press,1997. s.n. 2204755.
2. Imry, Y. Introduction to Mesoscopic Physics. 2nd ed., Oxford Univ. Press, 2002.
   s.n. 2241028 – 2nd ed., 2002.
   s.n. 2183086 – 1st ed., 1997.
3. Datta S. Electronic Transport in Mesoscopic Systems. Cambridge Univ. Press, 1995. s.n. 2199290.

046235	**התקני הספק משולבים**	**ד. ריטר**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים: אפליקציות להתקני הספק משולבי cmos, תזרים הייצור של פלטפורמה משולבת. מנגנוני פריצה. רכיבי הספק פאסיביים ואקטיביים ועקרונות פעולתם: דיודת thyristor, pin, טרנזיסטור הספק ביפולרי, התקן mos להספק igbt. ldmos, demos, מעגלי ניהול הספק בסיסיים. boost-buck. מעגלי ניהול הספק

משולבים: שיקולים וחלופות לפיתוח soc לעומת תכנון board לרכיבים בדידים ldmos. משולב cmos
"גבול הסיליקון עקומת rdson- bv ועקרונות פריצתה",resurf, "צמתות-על", "מערכות power-rf משולבות
cmos. מנגנוני כשל ו soa. סיכוך רעשים נעילה(latchup ו esd בפלטפורמות התקני הספק משולבות עם
מעגלים אנלוגיים ודיגיטליים.

Will not be given the year

Topics: Integrated Cmos Power Applications. Integrated Power Managment Platform Process Flow. Integrated Passive and Active Power Devices and Principles of Operation: Pin Diode, Thyristor, Power Bipolar Transistor, Power Mosfet, Ldmos, Demos, Igbt. Basic Power Circuit Concepts: Boost Buck Converters. "System on Chip" Power Ic Vs Board Solution. Integrated Ldmos Devices. the Silicon Limit and Rdson Bvdss Curves. Breaking the Silicon Limit. Resurf, Field Plates and Superjunctions Integrated Rf Power Failure Mechanisms and Safe Operating Area. Noise Isoaltion, Latchup Prevention and Esd in Power Management Platforms Integrated with Analog and Digital Circuits.

046237 מעגלים משולבים - מבוא ל- VLSI **א. מעיין** 2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044147 – מעגלי מיתוג אלקטרוניים
236354- תכנון מעגלי וי.אל.אס.אי.

נושאי הלימוד:
- שיקולים בתיכון מעגלי VLSI בטכנולוגית MOS.
- עריכה גיאומטרית וחוקי תיכון ב-NMOS.
- מתודולוגיות בתיכון מעגלים משולבים: לוגיקה אקראית, תיכון מבני PLA.
- מעגלי זיכרון ב-MOS.
- מעגלים משולבים בטכנולוגית CMOS. .
- מעגלים משולבים בטכנולוגיה ביפולרית.
- שיקולי תיכון של מעגלים אנלוגיים-משולבים.
- עזרי מחשב בתיכון VLSI.
- מערכי שערים, תאים סטנדרטיים, מעגלים יחודיים.
- כווני התפתחות בהנדסת VLSI.

סילבוס באנגלית:

Integrated Circuits – Introduction to VLSI (046237)
This course will provide a solid basis and sufficient knowledge to deal with practical digital circuit of VLSI systems in state of the art CMOS technologies.
Emphasis is on circuit design aspects of VLSI circuits for use in applications such as micro – processors, signal processors memories. For example, circuit architectures, sircuit simulations & optimization, design pitfalls, design trade-offs, design robusteness & reliability, process impact, and layout.
Attention is also given to important challenges facing digital circuit designers such as the impact of process technology scaling, submicron effects, interconnect, signal integrity, power consumption, eiming design complexity and design efficiency. All presented from a practical circuits and system design perspective.

The course topics include:
- VLSI Design – introduction + future prospects.
- Scaling, Modeling & Delay models.
- CMOS Manufcturing process.
- Layout
- Circuit Simulations, process variations' Design Flow
- Combinatinal Circuits Design – Logic Families
- Dynamic Logic
- Other high speed logic architectures, both static and dynamic
- Optimisation for speed

- Low power Design & Voltage Scaling
- Timing Concepts Synchronous elements and synchronous design.
- Clock & power distribution.
- Semiconductor Memories.
-

מקורות:

1. Weste, N. H. E., Harris, D. F. CMOS VLSI design: a circuits and systems perspective. 3rd ed. Addison Wesley, 2005.
   s.n. 2273032 – 3rd ed., 2005.
   s.n. 2151035 – 2nd ed., 1993.
2. Rabaey, Y.Digital Integrated Circuits: A Design Perspective. 2nd ed. Prentice-Hall, 2002.
   s.n. 2264129 – 2nd ed., 2002.
   s.n. 2207265 – 1st ed., 1996.

046239 **מעבדה בננו אלקטרוניקה** **נ. טסלר** 2 ה', 4 מ', 3ע' (3 נקודות)

דרישות קדם:
044125 יסודות התקני מוליכים למחצה מ' או 044127 יסודות התקני מוליכים למחצה
מקצוע מכיל :
046233 מעבדה בננו ביו-טכנולוגיה

מטרת המעבדה להקנות ידע מעשי בהקשר לרכיבים אלקטרוניים המבוססים על חומרים מולקולריים.
המעבדה תכלול: עקרונות פעולה של התקנים מולקולריים מסוג טרנזיסטור.
דיודה פולטת אור צבעונית ותא סולרי.

046241 **מכניקה קוונטית** **א. בוקס** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

הנושאים: יסודות המכניקה האנליטית, לגרנג'יאן והמילטוניאן, מבוא מתמטי למרחבי הילברט, מקום ותנע, דינמיקה קוואנטית, אוסצילטור הרמוני, תנע זויתני, מערכת ספין 1/2, אטום המימן, שיווי משקל תרמי, תורת ההפרעות הבלתי תלויה בזמן.

Will not be given the year

Topics: Hamilton'S Formalism of Classical Physics, Lagrangian and Hamiltonian, Hilbert Spaces, the Displacement and Momentum Operators, Quantum Dynamics, Harmonic Oscillator, Angular Momentum, Spin 1/2, Thermal Equilibrium, Time Independent Perturbation Theory.

046242 **פיסיקה סטטיסטית, תנודות וגלים** **א.בוקס** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044124 אלקטרוניקה פיסיקלית ו- 114073 פיסיקה 3ח ו-104034-מבוא להסתברות
מקצועות צמודים:
046202- אותות אקראיים
מקצועות דומים:
114016 -מבוא לתרמו' ופיסיקה סטטיסטית

מבוא; תורה קינטית ופלוג מקסוול; פיסיקה סטטיסטית בסיסית; פילוג פרמי-דירק; פילוג בוזה-איינשטיין; אינטראקציות ומעברי פאזה; רטט במוצקים; פלקטואציות, דינמיקה סטוכסטית וערש במעגלים ובהתקנים; הקשר לתורת האינפורמציה.

מקורות:

1. A. H. Beck, Statistical mechanics, fluctuations and noise, Edward Arnold Pub., 1976.
2. C. Kittel, Elementary statistical physics, John Wiley & Sons, 1958.
3. F. Reif, Fundamentals of statistical and thermal physics, McGraw-Hill, 1965.
4. F. Mandl, Statistical physics, John Wiley & Sons, 1971.
5. M. Kardar, Staitstical physics of particles, Cambridge University Press, 2007.
6. R. K. Pathria, Statistical mechanics, Elsevier, second edition, 1996.

046244 **תופעות גלים** **א. בוקס** 2 ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

תופעות גלים בסיסיות (חזרה). קרוב האופטיקה הגיאומטרית: גישת luneburg-kline. שיטות ניתוב. דוגמאות יישום לתכנון מערכות אופטיות ותאור תהליכי התפשטות ופיזור בתדרי רדיו ומיקרוגל. אופטיקה גיאומטרית לדיפרקציה (gtd): מושגי יסוד ודוגמאות יישום. קרוב האופטיקה הפיסיקלית: תאור וקטורי וסקלרי. הנחות קירהוף וריילי-סומרפלד. תאור העקיפה בעזרת סופרפוזיציה ספקטרלית של גלים מישוריים. עקיפת פראונהופר ופרנל. מושג האלומה. דוגמאות יישום. עקרונות אופטיקה פוריה ואנלוגיה לתורת המערכות הלינאריות: תכונות פורייה של עדשות דקות. סינון מרחבי עיבוד אותות אופטי. שיטות פתרון חישוביות, מומנטים. היבטים אקראיים בתורת הגלים: מונחי יסוד. פיזור מסריגים.

Will not be given the year

Basic Wave Properties (Review). the Approximation of Geometrical Optics: the Luneburg-Kline Approach. Ray Tracing. Geometrical Theory of Diffraction. Applications at Optical and Microwave Frequencies. the Approximation of Physical Optics: Scalar and Vector Theories. the Kirchhof and the Rayleigh-Sommerfeld Assumptions. Spectral Superposition of Plane Waves. Fraunhofer and Fresnel Diffraction. Beams. the Principles of Fourier Optics and Its Systems Analogy. Fourier Properties of Thin Lenses. Spatial Filtering. Optical Data Processing. Holography. Partial Coherence: Basic Principles.

046249 **מערכות אלקטרו-אופטיות** **א.רוזנטל** 3 ה', (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044148 - גלים ומערכות מפולגות או,
114210 - אופטיקה
מקצועות צמודים:
044339 - אלקטרואופטיקה,

עיבוד אותות אופטי: מערכות של אופטיקה קוהרנטית. התמרת פורייה אופטית והדמייה. הולוגרפיה וסינון מרחבי. תיאוריית הקוהרנטיות. מערכות משולבות דיגיטליות- אופטיות. שיטות ומערכות למדידות אופטיות: אינטרפרומטריה. אינטרפורמטריה הולוגרפית. מד טווח. לייזר- ג'ירוסקופ.

סילבוס באנגלית:

Optical signal processing: coherent optical fourier transform and imaging. Holografhy and spatial filtering optical signal processing theory of coherence. Hybrid optical digital systems. Optical measuring methods and systems: interferometry. Holographic interferometry. Range finder. Optical gyroscope.

מקורות:

1. Shamir, J. Optical Systems and Processes. SPIE Press, 1999. s.n.2203436.
2. Goodman, J.W. Introduction to Fourier Optics. 3rd ed. Roberts, 2005.
   s.n. 2274873 – 3rd ed., 2005
   s.n. 2164993 – 2nd ed., 1996.
   s.n. 2648 – 1st ed., 1968.

046250 **אי ליניאריות ומבנים מחזוריים בפוטוניקה** 2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

התפשטות אור במבנים מחזוריים, דיספרסיה, התפשטות פולסים בתווכים דיספרסיביים, אפקט אקוסטו-אופטי ומגנטו-אופטי, מבוא לאופטיקה לא לינארית, התפשטות גלים בתווכים לא לינאריים, ערוב גלים והכפלות תדר, סוליטוניים אופטיים, שימושים באופטיקה לא לינארית.

Will not be given the year

Lightwave Propagation in Periodic Structures, Dispersion, Pulse Propagation in Dispersive Media, Acoustic Optic and Magnetic Optic Effects, Introduction to Nonlinear Optics, Propagation in Nonlinear Media, Wave and Frequency Mixing, Optical Solitons, Applications of Nonlinear Optics.

046256 **אנטנות וקרינה** **א.אפשטיין** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:

044148 - גלים ומערכות מפולגות

האנטנה מהווה מרכיב חשוב בכל מערכת קליטה ושידור אלחוטית. בשידור מספקת האנטנה את המעבר בין גל מודרך נושא אינפורמציה, המגיע לאנטנה מהמשדר באמצעות מוביל-גלים, לגל מרחבי.בקליטה מספקת האנטנה את המעבר בין גל מרחבי נושא אינפורמציה לגל מודרך המועבר באמצעות מוביל-גלים למקלט.

מקורות:

1. Balanis,C.A. Antenna Theory: Analysis and Design. 3rd ed. Wiley, 2005.
   s.n. 2266445 -3rd ed., 2005.
   s.n. 2172913 -2nd ed., 1997.
2. Elliott, R.S., Antenna Theory and Design. Rev.ed. IEEE Press, 2003.
   s.n. 2251867 – 2003, s.n. 204233.
3. Kraus, R.S., Marhefka, R.J. Antennas for all Applications. 3rd ed. McGraw-Hill, 2002.
   s.n. 2245409 - 3rd ed., 2002.
   s.n. 2062883 - 2nd ed., 1988.
4. Stutzman, W.L., Thiele, G.A. Antenna Theory and Design. 2nd ed., Wiley, 1998.
   s.n. 2189294 – 2nd ed., 1998.
   s.n. 2165 – 1st ed., 1981.
5. Collin, R.E. Antennas and Radiowave Propagation. McGraw-Hill, 1985.
   s.n.2011548.

046265 **ארכיטקטורות ומעגלים בשילוב ממריסטורים** **ש. קוטינסקי** 2 ה' 1ת' (3 נקודות)

דרישות קדם:

044252 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב ו-044137 מעגלים אלקטרוניים

או

044252 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב ו-044147 מעגלי מיתוג אלקטרוניים

סילבוס

הקורס עוסק בהשפעה של טכנולוגיות חדישות על מערכות וארכיטקטורות.
במהלך הקורס יידונו ממריסטורים - רכיבי זיכרון חדישים - בשלל רבדים כולל רמת הרכיב הבודד, התאוריה שמאחורי ממריסטורים והשימוש בממריסטורים כזכרונות לא נדיפים.
כמו כן יתוארו השימושים בממריסטורים ביישומים ייחודיים כגון מעגלים לוגיים, רשתות נוירונים ומעגלים אנלוגיים וייסקרו ההשלכות של שימוש בממריסטורים על ארכיטקטורת מחשבים, כולל

ארכיטקטורות במכונות שאינן מכונת פון-נוימן בנוסף יילמדו המשמעויות של שימוש בממריסטורים בתחומים מגוונים כגון תורת הקידוד ואבטחה.

מקורות:
מאמרים מהספרות השוטפת.

תוצאות למידה:

1. יכולת ניתוח ההשפעה של טכנולוגיה על מערכת.
2. הבנת פעולת הממריסטורים בתאוריה ובמעשה ויכולת מעשית לפתח מודלים שונים.
3. כלים מעשיים לתכנון מעגלים המשולבים בממריסטור.
4. הכרות עם המשמעויות הארכיטקטוניות של שילוב ממריסטורים במחשבים.
5. הכרות עם מגוון נושאי המחקר בתחומים

הרכב הציון:
הציון יתבסס על תרגילי בית, הצגת מאמר בכיתה ובחינה. אפשרות לפרוייקט גמר כתחליף לבחינה.

שם הקורס באנגלית

Advanced Circuits and Architectures with Memristors

English Syllabus

סילבוס באנגלית:

THE COURSE DEALS WITH THE INFLUENCE OF NOVEL TECHNOLOGIES ON SYSTEMS AND ARCHITECTURES THE COURSE COVERS DIFFERENT TOPICS RELATED TO MEMRISTORS INCLUDING DEVICE PHYSICS, THEORY AND MODELING.
MEMRISTIVE NON VOLATILE MEMORY IS COVERED, INCLUDING CIRCUIT DESIGN AND CODING THEORY.
ADDITIONALLY, THE USE OF MEMRISTORS FOR DIFFERENT APPLICATIONS SUCH AS LOGIC AND ANALOG CIRCUITS, SECURITY, AND NEUROMORPHIC COMPUTING IS COVERED.
THE IMPLICATIONS OF THESE APPLICATIONS ON COMPUTER ARCHITURES ARE DISCUSSED, INCLUDING FOR NON-VON NEUMANN MECHINES

Learning Outcome

1. UNDERSTANDING THE IMLICATIONS OF TECHNOLOGY ON DIFFERENT SYSTEMS.
2. UNDERSTANDING THD BEHAVIOR OF MEMRISTORS AND PRACTICAL DEVELOPING SKILLS FOR DEVICE MODELS.
3. PRACTICAL KNOWLEDGE IN CIRCUIT DESIGN WITH MEMRISTORS.
4. UNDERSTANDING THE IMPLICATIONS OF MEMRISTORS ON COMPUTER ARCHITECTURE.
5. UNDERSTANDING STATE-OF-THE-ART RESEARCH RELATED TO MEMRISTORS

Tentative Syllabus

1	Background and theory
2	Device theory
3	Device modeling
4	Device physics and fabrication
5	Memory
6	Memory
7	Logic circuit design
8	Logic in-memory architecture
9	Memory intensive architectures
10	Neuromorphic computing
11	Nonlinear Circuits
12	Information and coding theory
13	Security

046266	**שיטות הידור (קומפילציה)**	**א. זקס**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
234118 – ארגון ותכנות המחשב
מקצועות ללא זיכוי נוסף:
236360 – תורת הקומפילציה

סילבוס בעברית:
שפות ודקדוק, מבנה מהדר, שיטות בסיסיות לפריסה. תרגום מכוון על ידי תחביר. טבלת סמלים. ארגון בזמן ריצה. יצירת קוד. אופטימיזציה מקומית וגלובלית.

English syllabus:

Language and grammar. The structure of a compiler. Basic parsing technique. Syntax directed translation. Symbol tables. Runtime and global code optimization.

תוצאות למידה :

ללמד כיצד מהדרים מתרגמים תכניות הכתובות בשפות תכנות לתכניות שקולות בשפות סף, על השלבים השונים, האתגרים, שיטות אופטימיזציה לניצול יעיל של מעבדים, ושימוש בכלים.
כתוצאה מהלמידה הסטודנטים יהיו מסוגלים לבנות מהדר המתרגם תכוניות כתובות בשפה דמויית Cעם מבני בקרה, קירות לפונקציות ועוד, לתכנית שקולה בשפת ביניים דמויית שפת סף, ולהריץ את התכניות המתקבלות בעזרת סימולטור יעודי כחלק אינטגרלי מהקורס.

Result of Learning:

To teach how compilers translate programs written in programming languages into equivalent programs written in assembly. Including the different stages, challenges, optimization methods for efficient use of processors, the use of tools.
As a learning outcome students will be able to build a compiler that translates from C-like languages with control-flow statements, function calls and more, into equivalent programs of assembly-like or intermediate languages, run the compiled programs using a designated simulator, as an integral part of the course

מקורות:
Aho, A.V., Sethi, R., Ullman, J.D. Compilers: Principles, Techniques, and Tolls. 2nd ed. Addison – Wesley, 2007.
s.n. 2293305 - 2nd ed., 2007.
s.n. 2003115 – 1st ed., 1986.

046267	**מבנה מחשבים**	**פ.גבאי**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044262 - תכן לוגי ומבוא למחשבים
מקצוע צמוד:
104034 - מבוא להסתברות ח'
094412 / 094411 - הסתברות מ'

מדדי ביצועים והקשר בינם לבין ארכיטקטורות, שיטות למדידת ביצועים. זיכרון היררכי, זיכרון וירטואלי, ארגון הזיכרון הראשי. ארגון ובקרת המעבד למיקבול ביצוע תוכניות: צינור, Out of order execution, חיזוי קפיצות וביצוע ספקולטיבי של פקודות, פריסת לולאות וצינור בתוכנה, Superscalar, VLIW, Multi-threading, ריבוי ליבות. קלט/פלט: מערכת האיחסון, תקשורת ופסיקות. התפר חומרה- מערכת הפעלה.

Performance measures and their effect on architecture, performance measurement, hierarchical memory, virtual memory, memory organization. Processor organization and control for parallel

execution: pipelining, Out Of Order execution, branch prediction and speculative execution, loop unrolling and software pipelining, superscalar, VLIW, multi- threading, multi- core, Input/Output: storage and communication subsystems, interrupts. The software - OS boundary.

מקורות:

Hennessy, J.L., Patterson, D.A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 4th ed., Morgan Kaufmann, 2006.
s.n. 2285679 - 4th ed., 2006.
s.n. 2243749 – 3rd ed., 2003.

046268	**הנדסת מעבדי מחשב**	2ה 1ת (3 נקודות)

לא יינתן השנה

שיטות תכנון ומימוש מעבדים. גישה קונסטרוקטיבית לתכנון חומרה, צורות תכנון חומרה כגון טרנסאקציות אוטומיות ומעבר מצבים במודולי חומרה. מבנה מימוש רכיבי מעבדים כגון alu מצונר, מיקרו ארכיטקטורות מסוג in order, זכרונות מטמון (blocking vs.non blocking) ומנגנוני branch prediction.בקורס תילמד שפת bluespec שהיא שפת עילית למימוש וסינטזה של חומרה.

תוצאות למידה

בסיום הקורס הסטודנט

1. ייחשף לצדדים המעשיים במימוש מעבדים ולאספקטים מימושיים המשפיעים על ביצועי המעבד.
2. ידעו כיצד לתרגם את הנושאים הנלמדים בספרי הלימוד הקלאסיים לרכיבים עובדים ע"י לימוד טכניקות מימוש והתנסות בהן.
3. ידעו את שפת bluespec system verilog השייכת לדור חדש של שפות תכנון חומרה.

Will not be given the year

Practical Aspects of Microprocessor Design Methodologies and Implementation. Design Methodologies Such as Guarded Atomic Transactions and Intra Module State Transfers. Combinational and Pipelined Alus, in Order Pipelined Microarchitectures, Branch Prediction, and Caches. the Course Will Also Teach the Bluespec High Level Hdl for Implementing and Synthesizing Hardware.

Learning Outcomes

At the End of the Course the Student Will Be

1. Exposed to Practical Aspects and Problems Arising When Implementing Real Processors.
2. Understand How to Break the Concepts Taught in Introductory Classes and Texbooks Into Real Working Components.3. Know Concepts in the New Generation of High Level Hardware Description Languages (Hdls) by Learning the Bluespec System Verilog.

046271	**תכנות ותכן מונחה עצמים**	**י. משה**	2 ה' (2 נקודות)

מקצוע קדם:

044101 – מבוא למערכות תכנה או;
234122 – מבוא לתכנות מערכות;
044263 – מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים או;
234218 – מבני נתונים

מקצוע דומה:

236703 – תכנות מונחה עצמים

סילבוס בעברית:

הקורס עוסק במתודולוגיות מודרניות לבניית מערכות תוכנה. חלקו הראשון של הקורס מוקדש לעקרונות מתקדמים לבניית רכיבי תוכנה נפרדים בגישה מונחית עצמים (object oriented). חלקו השני של הקורס עוסק בתכן ובמימוש תוכניות בינוניות וגדולות תוך שימוש במתודולוגיות הנדסת תוכנה. בחלק זה מוצג גם הרעיון של design pattern. בקורס נעשה שימוש בשפת Java ובשפת UML כדי להדגים ולתרגל את כל האמור לעיל.

English syllabus:

The course deals with modern methodologies for constructing softwaare systems. The first part of the course is devoted to issues that arise in building individual program modules and to advanced Object Oriented Programming concepts. The second part of the course is concerned with how to design and implement medium and large programs using sofware engineering design methodologies.in this part, the concept of design patterns is also introduced. The Java programming language and the UML language are used in order to exemplify and practice all the above.

תוצאות למידה:

בתחילת הקורס סטודנטים מסוגלים:
-לכתוב לוכניות קצרות
בסיום הקורס הסטודנטים:
- יהיו מוכנים לתכנן ולממש מערכות תוכנה מורכבות
-יכירו מטודולוגיות לתכן וניתוח
-יכירו את שפת התכן UML
-ילמדו להכיר תבניות תכן
-יכירו שיטות התמעה של תוכנה ובדיקות
-יהיו מסוגלים לנתח תוכניות ותכן של מערכות מורכבות
-ילמדו לתעד תוכנה
-ילמדו לעבוד בצוות

Result of learning:

On entry you shouls
-Be able to write small programs
-Sets, inductive arguments
On exit you should
-Be able to design and implement large software systems
-Gain deep familiarity with analysis and design methods
-Gain proficiency in UML and design patterns
-Understand software development:Process,Problems,Principles
-Be able to write excellent medium size programs
-Be able to think rigorously about such programs
-Know how to test and document software
-Work effectively as a member of team
-Know something about best practice in industry.

מקורות:

1. Liskov, B., Guttag, J. Program Development in Java: Abstraction, Specification, and Object Oriented Design. Addison – Wesley, 2001. s.n. 2243117.
2. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Gamma, E. [et al.]. Addison – Wesley, 1995. s.n.2163845.
3. Campione, M., Walrath, K., Huml. A. The Java Tutorial: a Short Course on the Basics. 3rd ed., Addison – Wesley, 2001. s.n.2219314.
4. The Java Tutorial: A Short Course on the Basics. Zakhour, S. et al. Addison-Wesley, 2006. s.n. 2298680.
5. Eckel, B. Thinking in Java. 4th ed. Prentice-Hall, 2006.
   s.n. 2280290 - 4th ed., 2006
   s.n. 2251540 – 3rd ed., 2003.
6. Fowler, M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. 3rd ed., Addison – Wesley, 2004.
   s.n. 2255632 – 3rd ed., 2004.
   s.n. 2224963 – 2nd ed., 2000.
7. Larman, C. Applying UML and Patterns: An Iintroduction to Object-Oriented Analysis and Design and the Unified Process. Prentice-Hall, 2002. s.n. 2247747.
8. Meyer, B. Object-oriented Software Construction. 2nd ed. Prentice-Hall, 1997. s.n. 2164088.
9. Rumbaugh, J. The Unified Modeling Language Reference Manual. 2nd ed. Addison-Wesley, 2005. s.n. 2287374.

לא יינתן השנה

נושאים בתכנון מערכות מבוזרות והעקרונות העומדים בבסיסן תוך הדגשת אמינותן, ומיקוד על מודלים של העברת הודעות. הנושאים העיקריים שילמדו הם: בעיית הקונצנזוס, גלאי נפילות, שידור אטומי, שכפול בעזרת מכונת מצבים, תקשורת קבוצתית, מערכות קוואורום ומערכת "שותף - לשותף" (peer-to-peer).

Will not be given the year

Issues on Design of Distributed Systems, and the Principles Underlying Them with An Emphasis on Fault Tolerance. Focus Will Be Put on Message-Passing Non-Synchronous System Models. Main Topics: Consensus, Failure-Detectors, Atomic Broadcast, State-Machine Replication, Group Communication, Quorum and Peer-to-Peersystems.

046273 **תכנות פונקציונאלי מבוזר** **מר ח.גזית** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:

044101 – מבוא למערכות תכנה

234122 – מבוא לתכנות מערכות

מקצועות צמודים:

046209- מבנה מערכות הפעלה או 234123- מערכות הפעלה

יסודות התכנות הפונקציונאלי וטכניקות בסיסיות בחישוב מבוזר, שפת ארלנג ERLANG- שפת תכנות פונקציונאלית עם תמיכה מובנית בתכנות מערכות מבוזרות. עקרונות התכנות הפונקציונאלי ותחשיב למדה- פונקציות, רקורסיה, שערוך עצל. טיפוסים דינמיים. מודל CSP לתכניות מבוזרות. ניתוח נכונות תוכנה. מודל-שרת לקוח. שמירת מידע קבוע PERSISTANT. עמידה בנפילות וטכניקות שכפול. מודלים נוספים לתכנות מבוזר:
MAP-REDUCE, ממשק MPI להעברת הודעות וסנכרון עם מחסומים BARRIERS, חישובי STREAMING.

מקורות:

1. J. Armstrong, Programing Erlang: Software for a concurrent world, Pragm atic Bookshelf, 2007.

046274 **נושאים נבחרים בהנדסת מחשבים** 2ה' (2 נקודות)

לא ינתן השנה

נושאים: תכנות מעבדים מרובה מקבילות. הסילבוס המפורט יקבע ע"י המרצה והוועדה בפקולטה, במועד בו יינתן הקורס.

Will not be given the year

Topics: Current Topics in Programming Massively Parallel Processors. a Detailed Outline Will Be Provided by the Lecturer and the Faculty Committee Prior to the Semester in Which the Course Is Taught.

046275 **תרגום ואופטימיזציה דינמיים של קוד בינארי** **ג. הבר** 2ה 1ת
(3 נקודות)

מקצועות קדם:

044262 - תכן לוגי
או
234118 - את"מ

בקורס יילמדו עקרונות של תרגום ואופטימיזציה דינמיים של קוד בינארי, אשר נפוצים בעולם המחשוב המודרני. עקרונות אלו כוללים: תרגום דינמי מול סטאטי, תרגום מלא אל מול תרגום חלקי, ניהול מטמון התרגום הבינארי, זיהוי דינמי של נקודות חמות בקוד, ייצוגי ביניים וטרנספורמציות על קוד, ניתוח קוד דינמי, סוגים עיקריים של אופטימיזציה דינמית, ניטור דינמי.

מקורות

מאמרי סקירה מרכזיים

1. Ebcioglu, Kemal, Erik Altman, Michael Gschwind, and Sumedh Sathaye. "**Dynamic binary translation and optimization**." *Computers, IEEE Transactions on* 50, no. 6 (2001): 529-548.
2. Ung, David, and Cristina Cifuentes. "**Machine-adaptable dynamic binary translation**." In *ACM SIGPLAN Notices*, vol. 35, no. 7, pp. 41-51. ACM, 2000.
3. Nethercote, Nicholas, and Julian Seward. **"Valgrind: a framework for heavyweight dynamic binary instrumentation**." In *ACM Sigplan notices*, vol. 42, no. 6, pp. 89-100. ACM, 2007.
4. Gschwind, Michael, et al. "**Dynamic and transparent binary translation**."*Computer* 33.3 (2000): 54-59.
5. Pin manual: https://software.intel.com/sites/landingpage/pintool/docs/71313/Pin/html

תוצאות למידה:
הסטודנטים ילמדו שיטות מודרניות לניתוח ואופטימיזציה דינמיים של תוכנה. שיטות אלו נפוצות בכל עולם המחשוב, החל מתרגום של תוכנה בינארית במכונות וירטואליות בענן ובמחשוב הנייד, ועד אופטימיזציה דינמית בשפות מודרניות המבוססות על הידור דינמי.

הציון ייקבע על פי ציוני תרגילי בית, פרויקט סיום ומבחן.

שם הקורס באנגלית: **Dynamic Binary Translation and Optimization**

Syllabus

The course teaches the main principles of dynamic binary translation and optimization, which are common in the modern computing world. These include: dynamic vs. static translation, full vs. partial translation, the dynamic translation cache and its management, hotspot detection, intermediate representations and code transformation, dynamic code analysis, main types of binary-level optimization, dynamic profiling.

Learning outcomes:

The students will learn modern methods for dynamic code analysis and optimization. Such methods are common throughout the software world - from dynamic binary translation in

virtual machines in the cloud and mobile devices, to dynamic optimization in modern, dynamically compiled programming languages.

The course grade will include the grades for the home assignments, the final project and an exam.

046277 **הבטחת נכונות של תוכנה** **ד. דרקסלר כהן** 2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

שם עברי מקוצר: **נכונות של תוכנה**

דרישות קדם:

(044101 ו 044114 ו 046002) או
(234124 ו 234247 ו 234292) או
(044114 ו 046002 ו 234124) או
(046002 ו 234124 ו 234292) או
(044101 ו 044114 ו 234247) או
(044114 ו 234124 ו 234247) או
(044101 ו 234247 ו 234292) או
(044101 ו 046002 ו 234292)

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)

הקורס יציג שיטות באימות וניתוח של תוכנה וסינתזה של תוכנה: ניתוח סטטי, ניתוח זרימת מידע, ניתוח זרימת בקרה, סמנטיקה ביצועית, פירוש מופשט ותחומים נומריים, פותרי SAT/SMT, הרצה סימבולית, סינתזה של תוכנה, סינתזה מנייתית, תכנות ע"י דוגמאות, סינתזה מונחית דוגמאות נגדיות, קוד גדול.

מקורות:

ספר לימוד מס. 1
שם המחבר: NIELSON, NIELSON, AND HANKIN
שם הספר: PRINCIPLES OF PROGRAM ANALYSIS
מו"ל: SPRINGER שנת הוצאה: 2005
הספר הינו ספר מומלץ.

ספר לימוד מס. 2
שם המחבר: NIELSON AND NIELSON
שם הספר: SEMANTICS WITH APPLICATIONS: A FORMAL INTRODUCTION
מו"ל: WILEY שנת הוצאה: 1992
הספר הינו ספר מומלץ.

תוצאות למידה:

בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:
1. להסביר שיטות שונות להבטחת נכונות של תוכנה.
2. להבין איך להשתמש בשיטות אלו עבור מערכות תוכנה מעשיות.
3. להבין את היתרונות המעשיים והמגבלות של השיטות השונות.

הרכב הציון: ייקבע עפ"י שיעורי בית ומבחן סופי

שם הקורס באנגלית CORRECTNESS GUARANTEES FOR SOFTWARE

English syllabus: עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד

THE COURSE WILL COVER METHODS IN VERIFICATION AND PROGRAM ANALYSIS AND CODE SYNTHESIS: STATIC ANALYSIS, DATA FLOW ANALYSIS, CONTROL FLOW ANALYSIS, OPERATIONAL SEMANTICS, ABSTRACT INTERPRETATION AND NUMERICAL DOMAINS, SMT/SAT SOLVERS, SYMBOLIC EXECUTION, PROGRAM SYNTHESIS, ENUMERATIVE SYNTHESIS, PROGRAMMING BY EXAMPLE, COUNTEREXAMPLE-GUIDED SYNTHESIS, BIG CODE.

Learning Outcomes:

THE STUDENT WILL BE ABLE TO:
1. EXPLAIN DIFFERENT METHODS FOR GUARANTEEING CORRECTNESS OF SOFTWARE.
2. UNDERSTAND HOW TO USE THESE METHODS FOR PRACTICAL SOFTWARE SYSTEMS.
3.UNDERSTAND THE PRACTICAL ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF THE DIFFERENT METHODS.

046278 **מאיצים חישוביים ומערכות מואצות** **מ.זילברשטיין** 2 ה' 1 ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:

046209 - מבנה מערכות הפעלה וגם 046210 - מעבדה במערכות הפעלה או
234123 - מערכות הפעלה
046267 – מבנה מחשבים או
236267 - מבנה מחשבים ספרתיים

היקף הקורס: שעתיים הרצאה, שעה תרגול

הקורס עוסק בנושאים עיוניים ומעשיים של מערכות מחשב מבוססי מאיצים חישוביים כגון UPG ומתמקד בארכיטקטורות חומרה, מודלי חישוב, חיבור ואינטראקציה של מאיצים עם התקני קלט/פלט, אבסטרקציות תכנותיות ומערכת הפעלה, היבטים בבטיחות מערכת YTIRUCES SMETSYS
ותכן ומימוש מערכות המשלבות מאיצים.

תוצאות למידה:

1. הסטודנט יקבל כלים מעשיים לתכנות SUPG כמאיצים לחישובים כללים.
2. הסטודנט ידע לתכנן ולממש מערכות המשלבות מאיצים חישוביים.
3. כלים להבנת מבנה תוכנה וחומרה במאיצי קלט- פלט.
4. חקר נושאים בתחום.

סילבוס באנגלית:

THE COURSE COVERS CONCEPTUAL AND PRACTICAL ASPECTS PF COMPUTER SYSTEMS WITH COMPUTATIONAL ACCELERATORS, LIKE GPUS AND FPGAS The course WILL COVER HARDWARE ARCHITECTURE, PROGRAMMING MODELS, INTERACTION WITH I/O DEVICES, OS AND PROGRAMMING ABSTRACTIONS, SYSTEM SECURITY IMPLICATIONS AS WELL AS THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF COMPLETE ACCELERATED SYSTEMS.

LEARNING OUTCOMES:

THE STUDENT LEARN TO:
1. PRACTICAL GPU PROGRAMMING SKILLS.
2. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ACCELERATED SYSTEMS
3. SOFTWARE AND HARDWARE DESIGN OF I/O ACCELERATORS, SUCH AS HIGH PERFORMANCE NICS AND NVME STORAGE

4. UNDERSTANDING RESEARCH IN THE FIELD.

מקורות

ספר לימוד מס. 1
שם המחבר: DAVID B KIRK PROGRAMMING MASSIVELY PARALLEL Processors
שם הספר: SECOND EDITION A HANDS ON Approach 2nd Edition,
מו"ל: WEN MEI W HWU 2013:
הספר הינו ספר מומלץ.
מספר זיהוי בספרית הטכניון

046279	**שם הקורס: חישוב מקבילי מואץ**	**י. אריזור**	2 ה', 1 ת' (3 נקודות)

שם עברי מקוצר: חישוב מקבילי מואץ

דרישות קדם:
234123 או 046209

234267 או 046267

סילבוס בעברית
מערכות מחשב מתקדמות מאפשרות עבוד מקבילי בעזרת מגוון רכיבי חומרה. בנוסף, תכנות מקבילי המנצל רכיבים אלו להשגת ביצועים מהירים הופך לטכנולוגיה נפוצה. הקורס עוסק בקשר בין חומרה לתוכנה. הקורס כולל תאור מנגנוני חומרה ומודלים של תכנות, טכניקות אופטומיזציה ושמוש בתבניות תכנותיות כדי לנצל מערכות מרובות ליבה, מערכות חומרה ווקטוריות ומאיצי חומרה יעודים)כמו מאיצים להסקה בעזרת למידה עמוקה(להשגת ביצועים. הלימוד שם דגש מיוחד על השוואות כמותיות של ביצועי חומרה/תוכנה. תרגילי בית מעשיים בתכנות מקבילי מהוות חלק חשוב ומשמעותי של הקורס. העומס השבועי הכולל -6 שעות

מקורות:

1. Patterson and Hennessy. Computer Architecture: A Quantitative Approach. Chapters 1, 4, 7. Sixth edition, 2019
2. Jeffers and Reinders. Intel Xeon Phi Processor High Performance Programming. Second edition, 2016
3. Kirk and Hwu. Programming Massively Parallel Processors. Third edition, 2017

תוצאות למידה:
בוגר הקורס ירכוש את המיומנויות הבאות:

- הערכה של ארכיטקטורות מחשבים, המבוססת של הבנה של המגמות בתחום ארכיטקטורת מחשוב החל מריבוי-ליבות, דרך במעבדים גרפיים)GPU(ועד מאיצי חומרה יעודיים.
- פיתוח תוכנה בשימוש במודלים לתכנות מקבילי, אופטימיזציות בתוכנה ושמוש בתבניות תכנותיות להשגת ביצועים מהירים על חומרה לחשוב מקבילי.

הרכב הציון:

תרגילי בית (חובה) ומבחן סופי

שם הקורס באנגלית

High performance parallel computing

English syllabus:

All modern computing systems support parallelism in hardware thru various features. Moreover, explicit parallel programming to exploit these features for high performance is becoming mainstream. This course is about software-hardware interaction. It covers hardware design as well as programming models, patterns and software optimization techniques for high-performance with multi-core systems, vectorized systems, and recent domain-specific hardware accelerators (e.g. acceleration of deep-learning inference). Learning is based on quantitative evaluation of hardware/software performance. The course includes a few significant home assignments in parallel programming to practice the learned material. Overall weekly load – 6 hours.

Learning Outcomes:

The student will be able to

- Evaluate computer system architectures through understanding of the trends in computer architecture from multi-core, GPUs and latest domain specific accelerators.
- Develop software using different parallel programming models, SW optimization techniques and patterns for efficient parallel HW utilization.

046280	**מבוא לאבטחת סייבר**	**א. אייל**	2ה' + 1 ת' (3 נקודות)

שם עברי מקוצר: מבוא לאבטחת סייבר

דרישות קדם :

מבוא למערכות הפעלה 234123/046209 .

מבנה מחשבים (אפשר במקביל) 234267/046267

ללא זיכוי נוסף:

הגנה במערכות מחשב 236350

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד(

אבטחה הינה דרישה בסיסית בתכן מערכות מחשב מודרניות, החל משרתים, דרך מכשירים ניידים, כלי רכב, וכלה בהתקני IOT. קורס זה מספק כלים בסיסיים לתכן וניתוח אבטחה של מערכות מחשב. הנושאים כוללים: עקרונות (מדיניות, איומים, פגיעויות), כלים קריפטוגרפיים (הגדרות, מפתח סמטרי וציבורי, מערכות קריפטוגרפיות, מנגנון דיפי-הלמן, פונקציות גיבוב), אימות (אדם ומכונה), הרשאה, פרטיות (אנונימיות, differential privacy במרשתת), אבטחה עם תורת המשחקים (בלוקצ'יין, הוכחת עבודה, הוכחת השקעה), אבטחת חומרה (סביבות ריצה אמינות, SGX, TrustZone), בעיית ה-confinement, זרימת מידע, התקפות ערוצי צד ופתרונות (תזמון מטמון, ערוץ כוח, ריצה ספקולטיבית, rowhammer).

מקורות:

1. Bishop. Introduction to Computer Security. Addison-Wesley. 2005.
2. Stinson. Cryptography – Theory and Practice. Chapman & Hall/CRC. Third Edition. 2006.
3. Narayanan, Bonneau, Felten, Miller, Goldfeder. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies. Princeton, 2015.

4. Costan, Victor, and Srinivas Devadas. "Intel SGX Explained." *IACR Cryptology ePrint Archive* 2016.086 (2016): 1-118.
5. Papers on recent topics

תוצאות למידה:

הסטודנט ירכוש את המיומנויות הבאות :

1. ניתוח אבטחה של מערכת מחשב במגוון פרספקטיבות (פגיעויות, אימות, כלים קריפטוגרפיים וכיו"ב)
2. תכן מערכות בטוחות בצורה מובנית (בחירת מודל איום מתאים, מדיניות וכלים)

הרכב הציון:

- 75% מבחן
- 25% תרגילי בית

שם הקורס באנגלית: Introduction to Cybersecurity

English syllabus:

Security is a critical element in the design of modern computer systems from servers, to mobile devices, vehicles, and IoT. This course will provide the basic tools to reason about, develop, and analyze computer systems security. Topics include: principles (security policies, threats, vulnerabilities), cryptographic tools (definitions, symmetric-key, public-key, cryptosystems, DH key-exchange, hash functions), authentication (human, machine), authorization, privacy (anonymity, differential privacy, web), security with game-theory (blockchain, proof of work, proof of stake), secure hardware (Trusted execution environments, e.g., SGX and Trustzone), confinement Problem, information flow, hardware side-channel attacks and mitigations (cache timing attacks, power channel attacks, speculative execution attacks, Rowhammer).

Sources:

1. Bishop. Introduction to Computer Security. Addison-Wesley. 2005.
2. Stinson. Cryptography – Theory and Practice. Chapman & Hall/CRC. Third Edition. 2006.
3. Narayanan, Bonneau, Felten, Miller, Goldfeder. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies. Princeton, 2015.
4. Costan, Victor, and Srinivas Devadas. "Intel SGX Explained." *IACR Cryptology ePrint Archive* 2016.086 (2016): 1-118.
5. Papers on recent topics

Learning Outcomes:

The student will be able

- Analyze the security of a computer system with various perspectives (vulnerabilities, authentication, cryptographic tools).
- Design secure systems from a principled approach (considering appropriate threat models, policies, choosing tools)

Grading:

- 75% exam
- 25% homework

046326 **מבוא לאותות ומערכות ביולוגיים** **ד.סודרי** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות צמודים:

044202 - אותות אקראיים

סילבוס בעברית:

הקורס מתמקד בפיתוח גישה מערכתית ומתמטית לתא-עצב כאב-טיפוס למערכות ביולוגיות. נושאי הלימוד הם: מערכות דינמיות בביולוגיה, מבוא לביופיסיקה של תאי עצב ושלוחותיהם וניתוח כמערכות כניסה-

יציאה במובן ההנדסי. התא העצבי: מושגי יסוד על מבנה קרום התא ותכונותיו החשמליות והכימיות - אלקטרודיפוסיה ומתח המנוחה של התא. התפשטות אותות בסיבים פסיביים וצימוד בין תאים דרך סינפסות כימיות. מודל הודג'קין-האקסלי לעירור של תא חשמלי, ופישוטים המאפשרים ניתוח מתמטי מפורט של התנהגות תאי-עצב מעוררים. אלמנטים אקראיים בתאי-עצב.

English syllabus:

Developing a systems-level Mathematical approach to the single neuron as a prototype of complex Biological systems. Main topics: Dynamical systems in Biology, Introduction to the biophysics of neurons, axons and dendrites and their analyais as input-output systems in the engineering sense. The neuron: basic properties of the membrane and its Chemical and Electrical properties - electrodiffusion and the resting potential. The propagation of signals along passive cables and cell to cell communication through Chemical synapses. The Hodgkin-Huxley model for cell excitbability, and simplified mathematical models allowing a detailed analysis of excitability. Stochastic elements in neurons..

תוצאות למידה:

סטודנטים שישלימו את הקורס בהצלחה יהיו מסוגלים:

- להגדיר מושגי יסוד בהתנהגותו של תא עצב
- להבין את התהליכים הביופיסיים המרכזיים התורמים למתח הקרום של תא עצב ולתהליכי שינויו, וליישם הבנה זו במסגרת המודל המתמטי של הודג'קין-הקסלי
- לנתח באופן איכותי, אך מדויק, מערכות דינמיות לא לינאריות בשני ממדים
- להשתמש בכלים של דינמיקה לא לינארית בניתוח מודלים עצביים דו-ממדיים וחד-ממדיים
- להבין באופן איכותי ולנתח באופן מתמטי תהליכים אקראיים המשפיעים על המתח החשמלי של תא עצב

Result of Learning:

Students who complete the course successfully will be able to:

- Define basic components of the behavior of neuron
- Understand the basic biophysical processes that contribute to the electric potential of the cell and its dynamics, and to implement this understanding through the mathematical model of Hodgkin-Huxley
- Analyze qualitatively, yet precisely, nonlinear dynamical systems in two dimensions
- Use nonlinear dynamical tools to analyze one and two dimensional neuronal models
- Understand conceptually and mathematically the elementary random processes that influence the membrane potential of

מקורות:

1. Koch, C. Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neurons. Oxford Univ. Press, 1999. s.n. 2205816.
2. Dayan, P., Abbott, L.F. Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems. MIT Press, 2001. s.n. 2244343.
3. Izhikevich, E. M. Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting. MIT Press, 2007. s.n. 2286471.
4. Weiss, Thomas Ficher. Cellular Biophysics. MIT Press, 1996. s.n.2170375.
5. Strogatz, Steven H. Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering. Addison-Wesley, 1994/ Westview Press, 2000. s.n. 2153149.

046332	**מערכות ראייה ושמיעה**	**מ.פורת/** **ר.כפתורי**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044130 - אותות ומערכות

סילבוס :
מושגי יסוד על הבסיס הפיסיקלי והפיסיולוגי של תקשורת במערכות ראיה ושמיעה: מבנה ואופן פעולת העין והאוזן. מנגנונים פיסיולוגיים המשמשים לקידוד, לעיבוד והעברת אותות במערכת הראיה. ניתוח הרמוני של אותות דינמיים. בקרת הגבר אוטומטית ברשתית. ייצוג אותות במרחב משולב תדר-מקום. חוקי סף פסיכופיסיים. מודלים של עיבוד אותות במערכת הראיה. מבנה תמונות והיבטים טכנולוגיים (ראיה ממוחשב)

English syllabus:
Introduction to the physical and physiological bases of visual and auditory communication. Structure and function of the eye and the ear. Physiological mechanisms involved in encoding, processing and transmitting of sensory signals. Spectral analysis of dynamic signals. Automatic gain control in the retina. Image representation in the combined frequency-position space. Psychophysical detection laws. Models for signal processing in the visual system. Image structure and technological aspects (Computer Vision).

תוצאות למידה:
אות הכניסה החזותי למערכת הראיה:
- ✓ פוטומטריה – הכרת יחידות המדידה וביצוע חישובים של תחושת עוצמת האור במערכת הראיה.
- ✓ קולורימטריה –הכרת מרחב הצבע CIE1931 XYZ וביצוע חישובים של תחושת הצבע במערכת הראיה.
- ✓ תדר מרחבי – הכרת רגישות מערכת הראיה לתדר מרחבי וביצוע חישובי סף הענות.

מבנה ופעולת העין:
- ✓ הכרת המערכת האופטית של העין וביצוע חישובים הקשורים לעדשה, ליקויי ראיה והתאמת משקפיים, כמות האור המגיעה לרשתית וגודל הדמות הנוצרת על הרשתית.

תכונות מערכת הראיה:
- ✓ הכרת תכונות ותופעות המאפיינות את מערכת הראיה וביצוע חישובים הקשורים לשדות קליטה, רגישות העין לתדר מרחבי ובקרת הגבר אוטומטי.

ייצוג אותות:
- ✓ הכרת מרחבי הילברט ומשפטים הקשורים לבסיסים אורתוגונלים וייצוג אותות. חישוב בסיס בי-אורתונורמלי. הכרת המרחב המשולב מקום-תדר ושימוש בפונקציות גאבור לייצוג אותות במרחב המשולב.

מערכת השמיעה:
- ✓ הכרת יחידות המדידה התחושתיות וביצוע חישובים של עוצמת הקול.
- ✓ הכרת יחידות מערכת השמיעה, אופן פעולתה ותכונותיה.
- ✓ ביצוע חישובים הקשורים לתכנון אקוסטי

Result of learning:

The visual input:
- ✓ Photometry – comprehending the units of measurements and calculating the perceived brightness of light in the visual system.
- ✓ Colorimetry – comprehending the CIE1931 XYZ color space and calculating the visual color perception.
- ✓ Spatial frequency - comprehending the response of the visual system to spatial frequency and calculating the perceived threshold.

The eye structure and functioning:
- ✓ Comprehending the eye optical system and calculating values concerning the eye lens, visual impairment and glasses, retinal illumination and size of objects.

Visual system characteristics:
- ✓ Comprehending the visual system characteristics and phenomena and calculating values concerning AGC, response to spatial frequency and perception fields.

Signal representation:
- ✓ Comprehending the Hilbert space and propositions concerning orthogonal basis and signal representation. Calculating the bi-orthonormal basis. Comprehending the spatial-frequency domain and utilizing the Gabor functions to represent signals in this domain.

Auditory system:
- ✓ Comprehending the units of measurements and calculating values concerning acoustics.

- ✓ Comprehending the structure and functioning of the auditory system and its characteristics.

מקורות:

1. Levine, M.D. Vision in Man and Machine. McGraw-Hill, 1985. s.n.2005119.
2. Marr, D. Vision. Freeman, 1982. s.n.211377.
3. The Senses. Edited by Barlow, H.B., Mollon, J.D. Cambridge Univ. Press, 1982. s.n.215319.
4. Willams, C.S., Becklund, O.A. Optics: A Short Course for Engineers & Scientists. Wiley, 1972. s.n. 2008469.
5. Gregory, R.L. Eye and Brain: The Psychology of Seeing. 5th ed. Oxford Univ. Press, 1998. s.n. 2183602.
6. Yost, W.A. Fundamentals of hearing: An Introduction. 4th ed. Academic Press, 2000. s.n. 2232634.
7. Overington, I. Computer Vision: A Unified, Biologically – Inspired Approach. Elsevier, 1992. s.n. 2152900.

046336 **מעבדי רשת מהירים** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

רשתות, מבנה כרטיס רשת, השוואה בין מעבד רשת לאלמנטים אלטרנטיביים, שלבים בניתוח ובטיפול בחבילת המידע, ארכיטקטורות מעבדי רשת, ניהול תעבורה, טיפול בתעבורת וידיאו,יישום בקרת זרימה.

Will not be given the year

Networks, Line-Card Structure, Comparison Between Network Processors and Alternative Elements, Packet Processing and Handling Steps, Network Processor Architecture, Traffic Management, Video Traffic Treatment, Flow Control Implementation.

046342 **מבוא לתקשורת בסיבים אופטיים** **ג.איזנשטיין** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:

044148 - גלים ומערכות מפולגות.

מקצוע דומה:

046341- התקנים בתקשורת לסיבים אופטיים

התפשטות גלים בסיבים אופטיים, תכונות לינאריות ולא לינאריות של סיבים, אותות מרובבי אורך גל, WDM, הגברה אופטית ורעש, פרקים מתורת הגילוי של אותות אופטיים.

מקורות:

1. Agrawal, G.P. Fiber-Optic Communication Systems. 3rd ed. Wiley, 2002. s.n. 2244782 – 3rd ed., 2002; s.n. 2270292 - 3rd ed. (e-text); s.n. 2186709 – 2nd ed., 1997.
2. Agrawal, G.P. Nonlinear Fiber Optics. 4th ed. Academic Press, 2007. s.n. 2289576 – 4th ed., 2007; s.n. 2231878 – 3rd ed., 2001.
3. Kazovsky, L.G. Benedetto, S., Willner, A. Optical Fiber Communication Systems. Artech House, 1996. s.n. 2177314

046345 **גרפיקה ממוחשבת** 2ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

שימושים של גרפיקה ממוחשבת: קלט ומשוב, גרפיקה רסטרית וגיאומטריה על השריג הדיסקרטי, כימות, מודלים של תמונה והרכבת תמונות, העתקות דו-מימדיות ותלת מימדיות, ייצוג עקומים גיאומטרים, הסרת הבלתי נראה, מודלים של צבע והצללה.

Will not be given the year

Computer Graphics and Its Applications: Input and Interaction, Raster Graphics and Scan Conversion, Quantization, Image Models and Composition, 2 and 3 Dimensional Transformations, Curve Representation Hidden Surface Removal, Color Models and Shading.

046733	**תורת האינפורמציה**	**י.שטינברג/ ש.שמאי**	2 ה' (2 נקודות)

מקצוע קדם:
מומלץ ללמוד את 046206 - תקשורת ספרתית, לפני או במקביל למקצוע זה.
מקצוע זהה:
048733 – תורת האינפורמציה

תוכנית הקורס:

- מבוא כללי
- מודלים מקובלים למקורות וערוצים
- קידוד מקורות (כמעט) ללא עוות באורך קבוע
- האנטרופיה, מדדי אינפורמציה נלווים לה, ותכונותיהם העיקריות
- קידוד מקורות ללא עוות באורך משתנה
- שיטת הסדרות הטיפוסיות
- קידוד מקורות עם עיוות
- קידוד ערוץ
- קידוד משולב מקור-ערוץ ומשפט ההפרדה

מקורות:

1. Gallager, R. G. Information Theory and Reliable Communication. Wiley, 1968. s.n.222990.
2. McEliece, R.J. The Theory of Information and Coding. 2nd ed. Cambridge, 2002. s .n. 2245321 – 2nd ed., 2002; s.n. 1996 – 1st ed., 1977.
3. Cover, T.M., Thomas, J.A. Elements of Information Theory. Wiley, 2006. s.n. 2287372 - 2nd ed., 2006. s.n. 2114535 – 1st ed., 1991.
4. Csiszar, I., Korner, J. Information Theory: Coding Theorems for Discrete
5. Memoryless Systems. Academic Press, 1981.s.n. 227751.

046743	**עבוד אותות מרחבי**	2 ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

מערכי קולטים ועיבוד מרחבי, תבנית אלומות, מערכים לינאריים אחידים, מדדי טיב של מערכים. מעצבי אלומה אופטימליים, mvdr,gsc, lcmv, maximum snr, מעצבי אלומה רחבי סרט. ביטול רעש מסתגל. הפרדת מקורות וביטול הדהודים באותות. איכון מקורות, שערוך כיוון ההגעה ושערוך הפרש זמני הגעה.

תוצאות למידה
בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:
1. לתכנן מעצב אלומה אופטימאלי לסינון מרחבי במערך קולטים.
2. לשפר ולחלץ אותות הנקלטים במערכי קולטים.
3. לתכנן מסנן lcmv להפחתת רעשים וביטול הדהודים.
4. ליישם אלגוריתם לביטול רעש מסתגל.
5. ליישם אלגוריתם להפרדת מקורות ביטול הדהוד של אותות.
6. לשערך כיוון הגעה והפרש זמני הגעה של אותות.

Will not be given the year

Arrays and Spatial Filters, Beam Patterns, Uniform Linear Arrays, Array Performance Measures. Optimum Waveform Estimation (Beamforming), Minimum Variance Distortionless Response (Mvdr), Linearly Constrained Minimum Variance (Lcmv) Generalized Sidelobe Cancellers (Gsc), Maximum Snr, Broadband Beamformers. Adaptive Noise Cancellation. Source Separation and Signal Dereverberation. Source Localization, Direction of Arrival (Doa) and Time Difference of Arrival (Tdoa) Estimation.

Learning Outcomes
At the End of the Course the Student Will Be Able to
1. Design An Optimum Beamformer for Spatial Filtering in Sensor Arrays.
2. Enhance and Extract Signals Received by Sensor Arrays.
3. Design An Lcmv Filter for Noise Reduction and Dereverberation.
4. Implement An Algorithm for Adaptive Noise Cancellation.
5. Implement An Algorithm for Source Separation and Signal Dereverberation.
6. Estimate Direction of Arrival and Time Difference of Arrival.

046745	**עיבוד ספרתי של אותות**	**ג. גלבוע**	2 ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:
044198- מבוא לעיבוד ספרתי של אותות
044202- אותות אקראיים
מקצוע דומה:
048745 – עיבוד ספרתי של אותות

השפעת אורך מלה סופי (קוונטיזציה) במסננים ספרתיים. שערוך לא פרמטרי של ספקטרום הספק – פריודוגרמות. עיבוד רק קצבים: מערכות דצימציה ואינטרפולציה, מימוש פוליפאזה ומערכות מרובות דרגות. מערכי מסננים דו- ערוציים, מערכים במבנה עץ, מערכים אחידים. התמרת פוריה לזמן קצר אנליזה וסינתזה, ייצוג Gabor. מבוא ל Wavelets: אנליזת זמן-תדר, אנליזה מרובת רזולוציות.

נושא הקורס באנגלית:

Digital Signal Processing

סילבוס באנגלית:

Effects of finite precision in digital filters. Non parametric estimation of power spectrum – periodograms. Multi – rate signal processing, decimation, interpolation poly – phase and multi- stage implementations. Dual channel filter banks, tree structured filter banks, uniform filter banks. Short Time Fourier Transform, Gabor representation. Introduction to wavelets and multi resolution analysis.

מקורות:

1. Mitra, Sanjit K. Digital Signal Processing: a Computer-Based Approach. 3rd ed. McGraw-Hill, 2006.
   s.n. 2279543 – 3rd ed., 2006; s.n. 2224858 – 2nd ed., 2001; s.n. 2206285 – 1st ed., 1998.
2. Proakis, J. G., Manolakis, D. G. Digital Signal Processing. 4th ed. Prentice-Hall International, 2007.
   s.n. 2280099 – 4th ed., 2007; s.n. 2169878 – 3rd ed., 1996; s.n. 2120537 – 2nd ed., 1992.
3. Porat,B. A. Course in Digital Signal Processing. Wiley, 1997. s.n.2176340.
4. Burrus, C. S., Gopinath, R.A. Guo, H. Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer. Prentice-Hall, 1998. s.n. 2191703.
5. Oppenheim, A.V., Schafer,R. W. Discrete-time Signal Processing. Prentice-Hall, 1999. s.n. 2201420.

תוצאות למידה בעברית

הקורס הינו קורס מתקדם בתחום עיבוד האות הספרתי. הקורס מקנה ידע בנושאים הבאים:

- קוונטיזציה ומודל לרעש קוונטיזיציה.
- שגיאות חישוב (נקודה קבועה ונקודה צפה) במסננים ספרתיים.
- מניעת גלישה והבטחת יציבות במסננים ספרתיים.
- שיערוך לא פרמטרי של ספקטרום הספק – פריודוגרמות
- מערכות דצימציה ואינטרפולציה, מימוש פוליפאזה, מימוש מרובה דרגות
- מערכי מסננים דו ערוציים – QMF,CQF,Bilinear , מערכי מסננים במבנה עץ
- מערכי מסננים אחידים.
- התמרת פוריה לזמן קצר , אנליזה וסינתיזה. התמרת Gabor .

תוצאות למידה באנגלית

The course is an advanced digital signal processing course. The course provides knowledge in the following topics:

- Quantization and noise model
- Computation error (fixed point and floating point|) in digital filters.
- Overflow prevention and secure filter stability.
- Non Parametric spectrum estimation – periodograms.
- Multi rate systems, Decimation, interpolation, sampling rate conversion, poly- phase and multi-stage implementations.
- Dual channel filter banks – QMF,CQF, Bilinear. Tree structure filter bank
- Uniform filter banks
- Short Time Fourier Transforms. Analysis and Syntesis Gabor representation.
- Wavelet analysis, Multi resolution analysis.
-

046746	**אלגוריתמים ויישומים בראייה ממוחשבת**	**ע. לוין**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:

046200 – עבוד וניתוח תמונות

מקצועות זהים:

236873- ראייה ממוחשבת

בעיות בסיסיות בראייה ממוחשבת, אלגוריתמים המותאמים לפתרון בעיות אלו ויישומים מעשיים של הגישות לפתרון. תהליך יצירת תמונות, מציאת מאפיינים של תמונות, התאמת תמונות שצולמו מנקודות מבט שונות, קומפוזיציה של תמונות, חישוב תנועה ושחזור תלת-מימד מתוך תנועה. סטריאו, שחזור תלת-מימד ללא תנועה, וסגמנטציה של תמונות.

מקורות:

1. R. Szeliski, Computer Vision: Algorithms and applications, Springer, 2010.

046773	**התקני מוליכים למחצה אלקטרו-אופטיים לגילוי**	**י. נמירובסקי**	2ה', 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:

044127 - התקני מוליכים למחצה
או 044125 – יסודות התקני מוליכים למחצה מ'

נושאי הלימוד:

מקורות קרינה: קרינת גוף שחור, קרינה ספונטנית ומאולצת.
גלאים אלקטרו-אופטיים: בליעת קרינה, גלאים לקרינה, מדד לביצועי גלאי קרינה (יחס אות רעש), גלאי פוטו-מוליך; גלאי פוטו-וולטאי: פוטו-דיודה, דיודה PIN, תאי שמש, פוטוטרנזיסטור; תגובתיות (Responsivity), סף קליטה (Detectivity) ותגובה בזמן של גלאי. דוגמאות של גלאים לתחום הנראה ולתחום האינפרא-אדום: Si, InSb וכן HgCdTe , מערכי דיודות צמת ו-CCD.
גלאים טרמיים: צמד טרמי, מערכי צמדים (Thermopile); גלאים פירו-אלטריים (TGS).
מעגלי עיבוד אות למערכי גלאים: הצמדת מרבב ומעגלי CCD למערכי גלאים.

מקורות:

1. Optical and Infrared Detectors. Edited by Keyes, R.J. 2nd ed. Springer, 1980. s.n.203138.

2. Kingston, R.H. Detection of Optical and Infrared Radiation. Springer, 1978. s.n.25928.

046831	**מבוא לדימות רפואי**	**ג.גלבוע**	2 ה'+1תר' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
046200- עיבוד וניתוח תמונות

סילבוס: שיטות עיקריות בדימות רפואי (CT, X-ray, MRI, Ultrasound, PET). העקרונות הפיסיקלים לרכישת המידע, היתרונות והחסרונות של כל שיטה, סוגי הרעשים והארטיפקטים הצפויים. עקרונות הטומוגרפיה, התמרת ראדון, שיטת FBP, שחזור איטרטיבי. עיבוד תמונה של מידע רפואי: ניקוי רעשים, סגמנטציה, רגיסטרציה, זיהוי אברים, גישות לדיאגנוזה ממוחשבת.

מקורות:

- Bankman, Isaac, ed. *Handbook of medical image processing and analysis*. 2nd edition, Elsevier, 2009.
- Smith, Nadine Barrie, and Andrew Webb. *Introduction to Medical Imaging: Physics, Engineering and Clinical Applications*. Cambridge University Press, 2010.
- Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle , *Image processing, analysis, and machine vision, 3rd edition*. Thomson, 2008.

046851	**לייזרים של מוליכים למחצה והתקנים פוטוניים משולבים**	2ה', 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

יסודות הפיזיקה של לייזר. סקירת מרכיבים עיקריים של לייזר המל״מ, תכונותיו וישומיו. טפול מפורט באינטראקציה של שדות אלקטרומגנטיים עם מל״מ, תהליכים קרינתיים ולא קרינתיים ומנגנוני ההגבר בתנאי הזרקה. במסגרת זו נדון בלייזרים נפחיים(bulk) ולייזרים של מבנים קוונטיים. קבלת משוואות הקצב עבור לייזר המל״מ ופתרונן במצב עמיד. טפול מפורט במבנים האופטיים בלייזר המל״מ - מהודים, מוליכי גל דיאלקטריים דו-ממדיים, הולכת הגבר, מראות ומהודים מפולגים מחזורית ותורת צימוד האופנים. פתרונות דינמיים של משוואות הלייזר לאות קטן וגדול, קצב אפנון, תהודה, השהיות בהדלקה, סחיפת תדר, תובלה ועוד. הדגמת מאפייני לייזר מסוגים שונים.

Will not be given the year

Elements of Laser Physics. Overview of Main Ingredients, Characteristics and Applications of Semiconductor Lasers. Detailed Analysis of the Interaction of Electromagnetic Fields with Semiconductors: Radiative and Nonradiative Processes and Gain Mechanisms Under Injection. Bulk and Quantum Structure Based Lasers. Rate Equations for the Laser. Optical Structures Embedded in the Semiconductor Laser Resonators, 2D Waveguides, Gain Guiding, Mirrors and Distributed Periodic Structures Including Coupled Mode Theory. Dynamic Solutions for Small and Large Signal Modulation: Modulation Bandwidth and Relaxation Oscillations Resonance, Turn-on Delay, Frequency Chirping, Importance of Transport Effects. the Caracteristics of Several Types of Lasers.

046853	**ארכיטקטורות מתקדמות של מערכות מיקרו-מעבדים**	**א. ויזר**	2 ה' 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
046237 - מעגלים משולבים מבוא ל-VLSI

מקצוע זהה:
048853 - ארכיטקטורות מתקדמות למעבדי VLSI

הקורס יכלול נושאים מתקדמים בארכיטקטורות מחשבים, עם דגש על מחשבים בעלי יכולת חישוב גבוהה ובסביבה מרובת מעבדים. החומר יתבסס על שיטות איכותיות וכמותיות בסביבה מוגבלת הספק ושטח סיליקון.
במשך הקורס, נגדיר את מגמות הסביבה הטכנולוגית ואת הטכניקות הקיימות והעתידיות במבנה המחשב והמערכת.
הדגש יינתן לאנליזה של טכנולוגיות עכשויות ועתידיות כגון: שיטות ניבוי שונות (קפיצות, קריאה של מידע, ערכי מידע, פוטנציאל להתנגשויות בקריאות מזכרון, וכו'), ביצוע ספוקולטיבי של התוכנית, שיטות זכרונות

מטמון מתקדמות למערכות מרובות מעבדים, מטמון פקודות ריצפי, Multiscalar, ישום בחומרה של חוטים, מערכות חישוב אסימטריות, מערכות ריבוי חוטים לעומת מערכות ריבוי ליבות, מערכות המכילות אנליזת תכולת מידע, ועוד.
מטרת הקורס הינה לספק לסטודנט את בסיס הידע והגישה הארכיטקטונית שיאפשרו לו חשיבה וישום ארכיטקטוני של מערכות חישוב עתידיות.

מקורות:

1. Hennessy, J. L., Patterson, D. A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 4th ed. Morgan Kaufmann, 2007; s.n. 2285679 – 4th ed., 2007; s.n. 2243749 – 3rd ed., 2003.
2. Hennessy, J. L., Patterson, D.A. Computer Organization and Design: the Hardware/ Software Interface. 4th ed. Morgan Kaufmann, 2009.
   s.n. 2300073 – 4th ed., 2009. s.n. 2263805 – 3rd ed., 2005.

046864 **תכן מערכות ספרתיות מהירות** 2ה' + 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

חזרה על מושגי יסוד בתורת החשמל, קווי תמסורת לסוגיהם, דיאגרמות שריג ו ,bergeron -סיומות, רעשים במערכות ספרתיות - רעשי אספקות, ssn, intersymbol interference, ניהול תקציב רעשים, אספקת מתחים מרמת השבב ועד רמת התיבה, הפצת שעון מרמת השבב עד רמת הכרטיס המודפס, שיטות איתות, (signaling) טכניקות מדידה, tdr, עזרי תכן ממוחשבים.(cad)

Will not be given the year

Transmission-Line Basics, Terminations, Noise in Digital Systems, Power Distribution, Power Planes, Vias, Clock Distribution, Signaling Conventions in High Speed Systems, Measurement Techniques, Cad Tools.

046868 **יסודות תהליכים אקראיים** **ר.אתר** 2ה' + 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע קדם:
044202 – אותות אקראיים
מקצוע זהה:
048868 – יסודות תהליכים אקראיים

מבוא, מרחבי הילברט; מרחבי הסתברות, תוחלת ואיטגרציה; התכנסויות; תוחלת מותנית; נגזרת רדון-ניקודים, השלמות באינטגרציה ותורת המידה; תהליכים אקראיים, מרטינגיילים; תהליכים בזמן רציף, התנועה הבראונית; תהליכי מרקוב בזמן בדיד: אפיון, יציבות, קריטריונים; תהליכי מרקוב בזמן רציף, מושג הגנרטור, תהליכי קפיצה, תהליכים סמי מרקוביים.

מקורות:

1. Breiman, L. Probability. Addison-Wesley, 1992. s.n.2123815, s.n. 2021002.
2. Wong, E., Hajek, B. Stochastic Processes in Engineering Systems. Springer, 1985.
   s.n. 32426.
3. Durrett, R. Probability: Theory and Examples. 3rd ed.Thomson/Brooks/Cole, 2005.
   s.n. 2266101 – 3rd ed., 2005.
   s.n. 2179948 – 2nd ed., 1996.

046880 **תכן לוגי של מערכות VLSI בעזרת מחשב** **ל.יביץ** 2ה' + 1ת' (3 נקודות)

הקורס מציג עקרונות, אלגוריתמים ושיטות אוטומציה לתכן לוגי של מערכות VLSI ספרתיות גדולות.

מקצועות קדם:
046237 – מעגלים משולבים ומבוא ל- VLSI
044268 – מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים, או 234247 – אלגוריתמים 1 .

סילבוס:

ייצוגים של מערכות VLSI. מתודולוגיות של תכן. כלי תכן לסוגיהם. מודלים מבניים והתנהגותיים. שפות ומבני נתונים לתיאור חמרה. אימות סטטי ודינמי. סימולטורים לרמות ייצוג שונות. שיטות לאימות פורמלי, שימוש ב- BDD. סינתזה לוגית אוטומטית. ניתוח סטטי של השהיות ומסלולים. סינתזה להשגת יעדי תזמון.

מקורות:

1) G. De Micheli, "Synthesis and optimization of digital circuits", McGraw-Hill, 2003.

Auxiliary books:

2) G.D. Hachtel and F. Somenzi, "Logic Synthesis and verification algorithms", Kluwer academic publishers, 1996.
3) S. H. Gerez, "Algorithms for VLSI design automation", Wiley, 1999.
4) Leiserson, Charles E., Ronald L. Rivest, and Clifford Stein. Introduction to algorithms. Ed. Thomas H. Cormen. The MIT press, 2001.

Current literature.

046903 **מעגלים משולבים CMOS בתדר רדיו** **ע. כהן** 2 ה'+1ת' (3 נקודות)

מקצועות קדם:

044142 – מעגלים אלקטרונים לינאריים ו-044148 – גלים ומערכות מפולגות
או
044137 – מעגלים אלקטרונים ו-044148 – גלים ומערכות מפולגות

044202 – אותות אקראיים (מומלץ)

רכיבים פאסיביים. התקני MOS בתדר רדיו. קווי תמסורת. דיאגרמת סמיט. פרמטרי 's'. תכן של רשתות הגבר הספק. יציבות. תכן של מגברי CMOS בתדר רדיו. מגבר רחב סרט ומגבר מכוון. מקורות רעש. מגבר רעש נמוך. עיוות. עקרונות המיקסר. מיקסרים פאסיביים ואקטיביים.

Passive components. Mos devices in rf. Transmission lines. Smith charts. S-parameters. Desigh of power gain networks. Stability. Rf cmos amplifier design. Tuned amplifies. Noise sources. Low noise amplifiers. Non linearities and distortion. Mixer fundamentals. Passive and active mixers.

מקורות:

1. Lee, T. The design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits. 2nd ed. Cambridge University Press, 2004. s.n. 2263836.
2. Ellinger, F. Radio Frequency Integrated Circuits And Technologies. 2nd ed. Springer, 2008. s.n. 2298637.
3. Pozar, D.M. Microwave Engineering. 3rd ed. Wiley, 2005. s.n. 2258561.
4. Davis, W. A., Agarwal, K. Radio Frequency Circuit Design. Wiley, 2001. s.n. 2298638.

046918 **תכן פיסי של מערכות VLSI** **ק. מוייסייב** 2 ה'+1ת' (3 נקודות)

הקורס עוסק באוטומציה ואופטימיזציה של תכנון פיסי של מעגלים משולבים גדולים (VLSI layout automation)

מקצועות קדם:

סילבוס:

היראַרכיה של תיכון פיסי, בעיות סינתזה ואנליזה, מיקום וחיוט. חיוט אספקות ושעונים. בעיות בטכנולוגיות תת-מיקרוניות. כווץ מבנים, סינתזה של מודולים. בדיקה פיסית וחילוץ פרמטרים מהמבנה הפיסי. פעולות גיאומטריות על מסיכות.

מקורות:

1) G. De Micheli, "Synthesis and optimization of digital circuits", McGraw-Hill, 2003.

Auxiliary books:

2) G.D. Hachtel and F. Somenzi, "Logic Synthesis and verification algorithms", Kluwer academic publishers, 1996.
3) S. H. Gerez, "Algorithms for VLSI design automation", Wiley, 1999.
4) Leiserson, Charles E., Ronald L. Rivest, and Clifford Stein. Introduction to algorithms. Ed. Thomas H. Cormen. The MIT press, 2001.
5) Current literature.

046925	**כלים לניתוח מערכות מחשבים**	2ה' + 1ת' (3 נקודות)

לא יינתן השנה

Will not be given the year

046968	**מיקרו עיבוד ומיקרו מערכות אלקטרומכניות**	**י. נמירובסקי**	2ה' + 1 ת' (3 נקודות)

מקצוע דומה:

048968 – מיקרו עיבוד ומיקרו מערכות אלקטרומכניות

מיקרוחישנים ומערכות מדידה - סקירה פותחת על חישנים ואקטואטורים, רכיבים אלקטרונים כחישנים , פיסיקה של מזעור (השפעת הקטנת הממדים על כוחות מכניים ,אלקטרוסטטים, מגנטים ומתח פנים). העקרונות של מיקרו עיבוד (בשטח וגוף) ומיקרו עיבוד תואם תהליכים של מעגלים משולבים. דוגמאות: חישני לחץ, תאוצה, אינפרה אדום תרמיים (שיקולים מערכתיים ומימוש).

מקורות:

1. Senturia, S.D. Microsystem Design, Kluwer, 2001. s.n. 2224756.
2. Maluf, N. An Introduction to Microelectromechnical Systems Engineering. Artech House, 2000. s.n. 2213526.
3. Rebeiz, G.M. RF MEMS: Theory, Design, and Technology. Wiley, 2003. s.n.2254004. s.n. 2270390 (e-text)
4. Madou, M.J. Fundamentals of Microfabrication: the Science of Miniaturization. 2nd ed. CRC Press, 2002. s.n. 2239940
5. Santos, H.J. RF MEMS Circuit Design for Wireless. Artech House, 2002. s.n.2253710.
6. Santos, H. J. Introduction to Microelectromechanical (MEM) Microwave Systems. Artech House, 1999. s.n.2217323.

047003	**נושאים מתקדמים 4**	3 מ׳ (1 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס היא חשיפת סטודנטים לתחום מחקרי מתקדם שאינו מכוסה ע״י חברי הסגל בפקולטה. הוא יוצע בדרך כלל בחודשי הקיץ ויינתן ע״י מומחה אורח. יתכן שהקורס יהיה מרוכז והוא יכלול 14 שעות הרצאה.
על נושא הקורס ומועדו יפרסמו בהתאם לצורך ולזמינות המרצה המתאים.

will not be given the year

The Objective of This Course Is to Expose Students in a Variety of Topics Which Are Not Regularly Taught at the Faculty. the Course Will Typically Be Offered During the Summer, Taught by a Guest Expert. the Course May Be Taught in An Intensive Format, Consisting of 14 Lecture Hours Within a Week Period. Specific Course Topics and Dates Will Be Published According to the Availability of the Appropriate Teachers.

047004	**נושאים מתקדמים 5**	2 ה׳ 1ת׳ (3 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס היא חשיפת סטודנטים לתחום מחקרי מתקדם שאינו מכוסה ע״י חברי הסגל בפקולטה. הוא יוצע בדרך כלל בחודשי הקיץ ויינתן ע״י מומחה אורח. יתכן שהקורס יהיה מרוכז והוא יכלול 28 שעות הרצאה.
על נושא הקורס ומועדו יפרסמו בהתאם לצורך ולזמינות המרצה המתאים.

Will not be given the year

The Objective of This Course Is to Expose Students in a Variety of Topics Which Are Not Regularly Taught at the Faculty. the Course Will Typically Be Offered During the Summer, Taught by a Guest Expert. the Course May Be Taught in An Intensive Format, Consisting of 28 Lecture Hours Within a Two Week Period. Specific Course Topics and Dates Will Be Published According to Availability of the Appropriate Teacher.

047006	**נושאים מתקדמים 6**	2 ה׳ + 1 ת׳ (3 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס היא חשיפת סטודנטים לתחום מחקרי מתקדם שאינו מכוסה על ידי חברי הסגל בפקולטה. הוא יוצע בדרך כלל בחודשי הקיץ ויינתן על ידי מומחה אורח. יתכן שהקורס יהיה מרוכז ויכלול 28 שעות הרצאה ו-14 שעות תרגול ברצף של שבועיים. נושא הקורס ומועדו יפרסמו בהתאם לצורך וזמינות המרצה המתאים. סמסטר א׳ תשע״ז : תכנון ותכנות מערכות הטרוגניות. סמסטר ב׳ תשע״ט : התקנים אלקטרוניים מתקדמים.

Will not be given the year

The Objective of This Course Is to Expose Students in a Variety of Topics Which Are Not Regularly Taught at the Faculty. the Course Will Typically Be Offered During the Summer, Taught by a Guest Expert. the Course May Be Taught in An Intensive Format, Consisting of 28 Lecture Hours and 14 Tutorial Hours Within a Two Week Period. Specific Course Topics and Dates Will Be Published According to Availability of the Appropriate Teacher.

048000	**צילום חישובי**	**פרופ׳ ענת לוין**	2 ה׳, 0 ת׳ (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: צילום חישובי

דרישות קדם: עבוד וניתוח תמונות 046200 או קורסים דומים באישור המנחה

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות

סילבוס בעברית :

צילום חישובי הוא תחום מחקר חדש ומתפתח בתפר בין גרפיקה ממוחשבת, ראיה ממוחשבת ואופטיקה. מטרתו להתגבר על מגבלות של מערכות צילום סטנדרטיות בעזרת חישוב ולאפשר לנו לצלם או למדוד אינפורמציה טובה יותר ועשירה יותר על העולם. האפליקציות באות לידי ביטוי בצילום יומיומי וגם בכל תחומי המחקר, מאסטרונומיה למיקרוסקופיה וצילום רפואי.

נושאי הלימוד:

הצגה של מערכות צילום, אופטיקה בסיסית, עומק שדה וטשטוש, הסרת טשטוש כתוצאה מהתנועה או מדיפוקוס, מצלמות חישוביות , צילום מכווץ, שדות אור, סדרות תמונות והרחבת טווח דינמי, תאורה חישובית, מעבר אור בסצנה, זמן תעופה.

מקורות: הקורס יתבסס על מאמרים אחרונים בתחום.

תוצאות למידה: הכרות עם הבסיס ועם תוצאות מחקרית עדכניות בתחום הצילום החישובי.

הרכב הציון: הציון יתבסס על השתתפות, נוכחות ותרגילי בית.

שם הקורס באנגלית Computational Photography

English syllabus: Computational Photography is an emerging new field created by the convergence of computer graphics, computer vision and optics. Its role is to overcome the limitations of traditional cameras and imaging systems by using computational techniques to capture better and richer information about our world. Applications spread from everyday photography to all fields of science, from astronomy to microscopy, and in medical imaging.

Topics include: basic imaging and optics, depth of field, defocus and motion deblurring, computational cameras, compressive imaging, light fields, burst imaging and high dynamic range, computational illumination, light transport, time of flight cameras.

Grading: Grading is based on attendance, participation and home assignments.

Learning Outcomes: students will get familiar with cutting edge results in the emerging field of computational photography.

048025	**נושאים מתקדמים בהנדסת מחשבים 1. הנושא: אלקטרודינמיקה קוונטית מאקרוסקופית**	**ע. קמינר**	2 ה׳ , 3 ע״ב (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: אדק״מ
שם עברי מלא : אלקטרודינמיקה קוונטית מאקרוסקופית
שם באנגלית : MACROSCOPIC QUANTUM ELECTRODYNAMICS

היקף שעות לימוד שבועיות :
הרצאה - 2 , תרגול - 0 , מעבדה - 0 , עב.בית- 3 , פרויקט/סמינר- 0

נקודות זיכוי : 2.0
הניקוד בתוקף מסמסטר : 01/2021 1-חורף, 2-אביב, 3-קיץ

סוג ציון : 1-מאוני צורת קביעת הציון : 5-מעקב + עבודה

המקצוע יופעל בשנה אקדמית : 2021 בסמסטר/ים : א

צורת הוראת המקצוע : הרצאה

סילבוס בעברית :
חקר אינטראקציות אור-חומר מאפשר לנו להסביר מגוון רחב של אפקטים בטבע, עם אפליקציות חשובות ושאלות מדעיות יסודיות שחלקן עדיין פתוחות.
הקורס עוסק בנושאים שבחזית המחקר באופטיקה קוונטית ובאלקטרודינמיקה קוונטית. נעשה שימוש במסגרת הקורס בפורמליזם הכללי ביותר הידוע היום לאלקטרודינמיקה קוונטית : קוונטיזציה שניה של השדה האלקטרומגנטי באמצעות התגובה להלם (פונקציות גרין) האלקטרומגנטית בתוך פורמליזם קוונטי.
לאורך הדרך, נדון באפליקציות של אלקטרודינמיקה קוונטית במערכות אופטיות שונות, כדוגמת מוליכי גלים שקופים חסרי איבודים, פלטפורמות פלזמוניות, וחומרים עם אי-לוקאליות אופטית.
ננתח אינטראקציות בחלק מהמערכות הבאות : אלקטרונים קשורים באטומים, מולקולות, ומוצקים, וגם אטומים מלאכותיים כמו נקודות קוונטיות ובורות קוונטיים.
נדון בהכללות של התיאוריה בהקשרים חדשים : נשתמש באלקטרודינמיקה קוונטית בשדות חזקים בשביל לפתח אפקטים באופטיקה לא לינארית קוונטית, עם אפליקציות לייצור הרמוניות גבוהות בפולסים של אטו-שניות.
נעסוק גם באינטראקציות של קווזי-חלקיקים פוטוניים. סיכום פירוט נושאים : קוונטיזציה שניה עם הכללות למקרה הרחב ביותר המכסה סביבה אופטית (בעזרת פונקציות גרין וטיפול באיבודים ואי-לוקאליות), עקרונות של אלקטרודינמיקה קוונטית מאקרוסקופית, אופטיקה קוונטית במערכות פתוחות ובהמילטוניאנים תלויים בזמן, אינטראקציות אור-חומר עם קווזי-חלקיקים פוטוניים.
אינטראקציות קוונטיות של אלקטרונים חופשיים, רנורמליזציה בסביבה אופטית ובמערכות תלויות בזמן, פליטה ספונטנית עם תיקונים מעבר לקירוב הדיפול, קרינת צ'רנקוב, שזירה של אלקטרונים חופשיים ושל קווזי-חלקיקים פוטוניים.

תוצאות למידה :
בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל :
1. להפעיל כלים של אלקטרודינאמיקה קוונטית מאקרוסקופית.
2. לפתח כלים של אלגטרודינאמיקה קוואנטית מאקרוסקופית עבור בעיות מחקר.

סילבוס באנגלית :
THE STUDY OF LIGHT-MATTER INTERACTIONS ALLOWS US TO EXPLAIN A WIDE RANGE OF EFFECTS IN NATURE, WITH IMPORTANT APPLICATIONS AND FUNDAMENTAL SCENTIFIC QUESTIONS, SOME OF THEM ARE STILL OPEN.
THE COURSE FOCUSES ON TOPICS AT THE FRONTIERS OF RESEARCH IN QUANTUM OPTICS AND QUANTUM ELECTRODYNAMICS. WE WILL USE THE MOST GENERAL FORMALISM OF QUANTUM ELECTRODYNAMICS (QED) KNOWN TODAY: SECOND QUANTIZATION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD USING THE IMPULSE RESPONSE (GREEN FUNCTION) OF ELECTROMAGNETISM INSIDE A QUANTUM FORMALISM.
THE COURSE WILL DISCUSS APPLICATIONS OF QED TO DIFFERENT OPTICAL ENVIRONMENTS, SUCH AS TRANSPARENT LOSSLESS WAVEGUIDES, PLASMONIC PLATFORMS, AND MATERIALS WITH OPTICAL NONLOCALITY.
WE WILL ANALYZE INTERACTIONS IN SOME OF THE FOLLOWING SYSTEMS: BOUND ELECTRONS IN ATOMS, AND MOLECULES, AND SOLID-STATE SYSTEMS, AS WELL AS ARTIFICIAL ATOMS LIKE QUANTUM DOTS AND QUANTUM WELLS.
THE COURSE WILL DISCUSS THE GENERALIZATION OF THE ABOVE THEORIES IN NEW CONTEXT: USING QED IN STRONG FIELDS TO DEVELOP NEW EFFECTS OF

QUANTUM NONLINEAR OPTICS, WITH APPLICATIONS FOR HIGH HARMONIC GENERATION AND ATTOSECOND SCIENCE.
WE WILL ALSO STUDY INTERACTIONS OF PHOTONIC QUASIPARTICLES.

SUMMARY LIST OF TOPICS: SECOND QUANTIZATION WITH GENERALIZATIONS TO THE WIDEST CASE COVERING OPTICAL ENVIRONMENTS (USING GREEN FUNCTION, HANDLING LOSSES, AND NONLOCALITY) THE FOUNDATIONS OF MACROSCOPIC QUANTUM ELECTRODYNAMICS, QUANTUM OPTICS IN OPEN SYSTEMS AND IN TIME-DEPENDENT HAMILTONIANS, LIGHT-MATTER INTERACTIONS WITH PHOTONIC QUASIPARTICLES, QUANTUM INTERACTIONS OF FREE ELECTRONS, RENORMALIZATION IN AN OPTICAL ENVIRONMENT AND IN
TIME-DEPENDENT SYSTEMS, SPONTANEOUS EMISSION WITH CORRECTIONS BEYOND THE DIPOLE APPROXIMATION, CHERENKOV RADIATION, ENTANGLEMENT OF FREE ELECTRONS AND PHOTONIC QUASIPARTICLES.

LEARNING OUTCOMES:
1. THE STUDENT WILL PRACTICE AND APPLY THE FORMALISM OF MACROSCOPIC QUANTUM ELECTRODYNAMICS
2. THE STUDENT WILL DEVELOP TOOLS OF MACROSCOPIC QUANTUM ELECTRODYNAMICS FOR RESEARCH PROBLEMS

קשר בין מקצוע זה למקצועות אחרים:
מקצועות קדם:
(044140 ו 115203) או
(114246 ו 115203) או
(044140 ו 124408) או
(114246 ו 124408) או
(044140 ו 046241)

ספרי לימוד:
ספר לימוד מס. 1
שם המחבר: COHEN-TANNOUDJI, C. DUPONT-ROC, J. AND G RYNBERG, G.
שם הספר: ATOM-PHOTON INTERACTIONS: BASIC PROCESSES AND APPL ICATIONS
מו"ל: WILEY-VCH שנת הוצאה: 1998
הספר הינו ספר מומלץ.

ספר לימוד מס. 2
שם המחבר: COHEN-TANNOUDJI, C., DUPONT-ROC, J. AND GRYNBERG, G.
שם הספר: PHOTONS AND ATOMS-INTRODUCTION TO QUANTUM ELECTRODYNAMICS
מו"ל: WILEY-VCH שנת הוצאה: 1997
הספר הינו ספר מומלץ.
מספר זיהוי בספרית הטכניון:
ספר לימוד מס. 3
שם המחבר: PESKIN, M.E
שם הספר: AN INTRODUCTION TO QUANTUM FIELD THEORY
מו"ל: CRC PRESS שנת הוצאה: 1995
הספר הינו ספר מומלץ.

ספר לימוד מס. 4
שם המחבר: HARRIS, E.G
שם הספר: A PEDESTRIAN APPROACH TO QUANTUM FIELD THEORY
מו"ל: COURIER CORPORATION שנת הוצאה: 2014
הספר הינו ספר מומלץ.

ספר לימוד מס. 5
שם המחבר: NOVOTNY, L AND HECHT, B
שם הספר: PRINCIPLES OF NANO-OPTICS
מו"ל: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS שנת הוצאה: 2012
הספר הינו ספר מומלץ.

ספר לימוד מס. 6
שם המחבר: SCHEEL, S. AND BUHMANN, S.Y.
שם הספר: MACROSCOPIC QED-CONCEPTS AND APPLICATIONS
מו"ל: ACTA PHYSICA SLOVACA שנת הוצאה: 2009
הספר הינו ספר מומלץ.

ספר לימוד מס. 7
שם המחבר: LEWENSTEIN, M.,BALCOU, P., IVANOV, M.Y., L'HULLIER, A.AND CORKUM, P.B
שם הספר: THEORY OF HIGH-HARMONIC GENERATION BY LOW-FREQUENC Y LASER FIELDS
מו"ל: PHYS. REV. שנת הוצאה: 1994
הספר הינו ספר מומלץ.

048050	**צינוריות פחמן, גרפן וחומרי ואן דר-ואלס דו מימדיים**	**י. יעיש**	2ה' (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: אלקטרוניקה במימד 1 ו-2

דרישות קדם:
מל"מ, פיסיקה 3ח או קוונטים 1 או מכאניקה קוונטית

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)
מבנה פסים של גרפן וצינוריות פחמן. הולכה חשמלית במבנים חד ודו-מימדיים. תיאוריית לנדאוור. מחסומי שוטקי. נקודות קוונטיות ומחסום קולומבי. זרמי ספין ופסאודו-ספין. מבנים מעורבים מבוססי חומרי ואן דר-וואלס דו מימדיים. פער אנרגיה, ניידות ותכונות אופטיות.

מקורות:

1. Datta, S. Electronic Transport in Mesoscopic Systems. Cambridge Univ. Press, 1995. s.n. 2199290
2. Saito, R., Dresselhaus, G., Dresselhaus, M.S., Physical Properties of Carbon Nanotubes. World Scientific Publishing Company, 1st ed. 1998.
3. Few review papers in the field

תוצאות למידה:
בשנים האחרונות התפתח מחקר מעמיק בחומרים דו-מימדיים בעלי עובי של אטום בודד. חומרים אלו שייכים למשפחה של חומרים בהם הקשר בתוך השכבה חזק אולם בין השכבות חלש (קשרי ואן דר-וואלס). לכן, ניתן לייצר מהם שכבות דו-מימדיות ולחקור את תכונותיהם הפיסיקליות, החשמליות, המכאניות והאופטיות. חומרים אלו מהווים כיום כר נרחב להתקנים מגוונים שלא ניתן היה לממשם קודם לכן. במהלך הקורס נלמד על חומרים אלו, על שיטות האפיון השונות שלהם ועל השימושים שלהם במחקר ובתעשייה. בסוף הקורס הסטודנט יתוודע למחקר העכשווי בתחום ויוכל להבין ולנתח את התוצאות המתקדמות בתחום.
הרכב הציון: 30% תרגילי בית, 70% הצגת וניתוח מאמר

שם הקורס באנגלית Carbon Nanotubes Graphene and van der Waals Materials

English syllabus: עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד
Band structures of graphene and carbon nanotubes. Electrical transport through 1-dimensional and 2-dimensional structures. Landauer theory. Schottky barrier.
Quantum dots and Coulomb Blockade. Spin and valley current. Heterostructures based on van der Waals 2 dimensional materials. Band gap, mobility, and optical properties.

Learning Outcomes:

During the last few years a new research area of 2 dimensional (2D) materials of single atom width has being developed. These materials belong to a family of materials in which the coupling within a single layer is strong but between the layers is weak (van-der Waals coupling). As a results, it is possible to fabricate truly 2D layers and study their physical, electrical, mechanical, and optical properties.

During this course the student will study about these materials, their characterization methods, and their applications in research and industry. By the end of the course the student will be aware to up to date research in this field and be able to understand and analysis advanced results in this area.

048051	**פיזור אנרגיה בהתקנים אלקטרוניים**	**ע. ילון**	2ה׳ (2 נקודות)

שם מקוצר: אנרגיה בהתקנים

מקצועות קדם: יסודות התקני מל״מ (044125).

סילבוס בעברית:
ביצועי מעבדים מוגבלים ע״י יכולתם לפנות חום למעלה מעשור. בקורס נבין את התהליכים הפיזיקליים העומדים בבסיס ההתחממות, בדגש על ההתקן האלקטרוני (הטרנזיסטור לדוגמה) כמקור החום. נבין את השפעת המזעור, פני שטח, משטחי ביניים ומגעים. ננתח פעולת התקנים בהיבט תרמי ונסקור טכניקות מדידת טמפרטורה והשלכות על ביצועי ההתקן ויעילותו באנרגיה.

מקורות: הקורס יתבסס על ספרים ומאמרים, לדוגמא:

1. G. Chen, "Nanoscale energy transport and conversion: a parallel treatment of electrons, molecules, phonons, and photons." *Oxford University Press*, 2005.
2. Ashcroft, Neil W., and N. David Mermin. "Solid state physics" (1976).
3. Rohsenow, Warren M., James P. Hartnett, and Young I. Cho. Handbook of heat transfer. Vol. 3. New York: McGraw-Hill, 1998.
4. E. Pop, "Energy Dissipation and Transport in Nanoscale Devices," *Nano Research* 3, 147, 2010.
5. G. Wachutka, "Rigorous thermodynamic treatment of heat generation and conduction in semiconductor device modeling," *IEEE Trans. CAD* 9, 1141 (1990)
6. U. Lindefelt, "Heat Generation in Semiconductor Devices," *J. Appl. Phys.* 75, 942 (1994)
7. R. Lake, S. Datta, "Energy balance and heat exchange in mesoscopic systems," *Phys. Rev. B* 46, 4757 (1992)

תוצאות למידה:
עם השלמת הקורס בהצלחה:

1. הסטודנטים יבינו את חשיבות החימום ופיזור הספק בהתקנים וכיצד הם באים לידי ביטוי בביצועי ההתקן.
2. הסטודנטים יכירו ויוכלו להבחין בין מנגנוני פיזור חום שונים בהתקנים.
3. הסטודנטים ידעו כיצד לגשת לפתרון בעיה הקשורה בחום וכיצד לקשר בין תכונות החומר וההתקן לבין התנגדותו התרמית, אופן פיזור ההספק, ביצועים, התחממות ויעילות באנרגיה בהתקנים שונים (טרנזיסטורים והתקני זכרון דוגמת ממריסטורים).
4. הסטודנטים יהיו מסוגלים לבצע אנליזה תרמית של התקן, כולל בניית מודל תרמי בסיסי.

הרכב הציון:

60% הצגת מאמר בכיתה

40% תרגילי בית

שם הקורס באנגלית: Energy Dissipation in Electronic Devices

English syllabus:
We will study the underlying physics of heating in electronics, with emphasis on the device (the heat source). Scaling effects, interfaces and contacts. Passive and active devices, as wellas thermally activated devices. We will review device thermometry techniques and implications of heating on device performance and energy efficiency.

Learning Outcomes:
After the successful completeton of the course:

1. The students will understand the importance of heating in electronic devices and how it affects device performance.
2. The students will be familiar with the different regimes of power dissipation in electronic devices.
3. The students will know how to approach problems in device heat disspation and how to relate the device structure and material properties to power dissipation, performance, and energy efficiency.
4. The students will know how to perform thermal analysis of the device, including the development of a basic thermal model.

048075	**נושאים מתקדמים בהנדסת מחשבים 1. הנושא: סמינר בנושא זמן ושימושיו ברשתות מחשבים ובמערכות מבוזרות**	**י. מוזס/ ט. מזרחי**	2ה' (2 נקודות)

הקורס יעסוק בנושאים מתקדמים במבנה, תכנון וניתוח של מערכות מחשבים, ויסקור מאמרים עדכניים בתחום עיסוקו של המרצה. הקורס ישמש גם כבסיס לסטודנטים המעוניינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור.

The course will cover advanced topics in design and analysis of computer systems and will survey recent literature connected to the lecturer's research intrest.
The course will also serve as a basis for students interested in doing a master's or doctoral thesis

048076	נושאים מתקדמים בהנדסת מחשבים 2	**י. בירק**	2 ה׳ (2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ״ב: רנדומיזציה ויתירות לשיפור ביצועים

שם עברי מקוצר: רנדומיזציה ויתירות

דרישות קדם:

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות

מקצוע קדם: 104034 (מבוא להסתברות ח׳) או מקביל

קדם מומלץ: 046209 (מבנה מערכות הפעלה), 046267 (מבנה מחשבים), 044334 (רשתות מחשבים ואינטרנט 1) או קורסים דומים.

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)

הקורס יעסוק בשימוש מושכל ברנדומיזציה וביתירות לשיפור ביצועי מערכות. בעזרת דוגמאות מתחומים שונים כגון תקשורת לוויינים, מערכות אחסון ועיבוד במרכז נתונים, נכיר וננתח שיטות תוך התיחסות למדדי ביצועים שונים ובחינה מדוקדקת של העלות ושל השלכות על החסינות בפני תקלות.
הקורס יכלול הרצאות, מצגות סטודנטים, דיונים, שאלות בית מזדמנות, ועבודה מסכמת.

מקורות:

מאמרים מהספרות

תוצאות למידה:

הסטודנט יכיר, יבין ויפנים את השימוש ברנדומיזציה וביתירות לשיפור ביצועי מערכות, הן פורמלית והן ברמת התחושה והאינטואיציה. גישה זו תיתוסף לארגז הכלים שלו בבואו לפתור בעיות, לתכנן מערכות ולשפרן.

הרכב הציון:

הציון יתבסס על השתתפות, שיעורי בית, מצגות סטודנטים, ועבודה מסכמת.

שם הקורס באנגלית Randomization+Redundancy for Performance

English syllabus:

The course explores exploitation of randomization and redundancy for improving performance. Using examples from fields like satellite communication, storage systems and data-center processing, we learn and analyze schemes while considering performance measures and examining cost and implications on fault tolerance.
Comprises: lectures, student presentations, discussions, occasional homework, a final paper.

Learning Outcomes:

The student will come to know, understand and internalize the use of randomization and redundancy to improve system peformance; both formal understanding, developing a feel for this, and intuition. This method will become part of the student's tool set when attempting to solve problems, design systems or improve them.

048661	תכן ויישום של מערכות למידה עמוקה	2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מבוא ללמידה חישובית, סקירת המושגים והאלגוריתמים הבסיסיים המאפשרים שימוש ברשתות נוירונים רב שכבתיות עבור בעיות סיווג מורכבות. נושאים מעשיים של מימוש מערכות מבוססי רשתות כאלה, כגון מחשוב מקבילי על מעבדים מרובי ליבות אופטימיזציה של חישובים, וכן ביזור חישובים על צבירה של מחשבים.

תוצאות למידה
בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:
1. לקבל כלים מעשיים לבנית מערכות ללמידה עמוקה.
2. ללמוד טכניקות לתכנות מקבילי תכנות gpus
3. להבין גישות לשיפור ביצועים.

Will not be given the year

Solving Classification Problems Using Multi - Layer Neural Networks (Nn) Practical Aspects of Implementing Nn Systeams, Including Parallel Computing on Multicores and Gpus Program Optimization and Parallelization for Distributed Systems. Introduction to Machine at the and of the Course the Students Will Know:
1. Parallel Computing for Multicores and Gpus.
2. Methods for Performance Optimization.

048704 נושאים מתקדמים בתקשורת ואינפורמציה 2 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

תסקרנה ההתפתחויות בשנים האחרונות בתקשורת בערוצים צרי סרט

Will not be given the year

Topics Will Be Selected from the Following: Communication Channels, Bandwidth Efficient Modulation and Demodulation Techniques.

048710 <u>נושאים מתקדמים באופטו אלקטרוניקה 1</u> <u>א. גויכמן</u> 2 ה'
(2 נקודות)

הקורס יעסוק בנושאים מתקדמים בתחום אופטואלאקטרוניקה אינטגרטיבית ויתאר התקנים ומערכות מודרניים לאפנון וגילוי אופטי על שבב. כמו כן הקורס יעסוק בשילוב של חומרים ננומטרים במערכות אופטואלקטרוניות לצורך הגברת אינטראקציית אור-חומר ויסקור מאמרים עדכניים בתחום עיסוקו של המרצה.

The course will describe advanced topics in integrated optoelectronics and analyze modern devices and systems for light modulation and detection on-chip. The course will discuss the integration of novel nanomaterials in optoelectronics to enhance light-matter interaction and will review recent publications from the lecturer field of expertise.

048711 <u>מעבדה באלקטרואופטיקה 1, 2</u> <u>מ. הורוביץ</u> 4מ'
048712 (2 נקודות)

הקורס כולל למוד עצמי (בקריאה מודרכת) של עקרונות פעולת הלייזר, מבנה הלייזר ותכונותיו ובצוע פרויקט מעבדתי באחד או יותר מן הנושאים הבאים: עבוד אותות בשיטות אופטיות; צילום הולוגרפי; מדידות בעזרת לייזרים; בנייה של מערכות אלקטרואופטיות; חקר תכונות של לייזרים; תקשורת אופטית, ואופטיקה לא לינארית, שיטות בדיקה ללא הרס.

048715	**נושאים מתקדמים במערכות למידה ובקרה 1**	**ד. סודרי**	2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מקצוע זה הינו מקצוע מתקדם בנושא מערכות, למידה ובקרה העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה. סילבוס מפורט יקבע ע"י המרצה והוועדה ללימודי מוסמכים לפני הסמסטר בו יינתן הקורס. סמסטר א' תשע"ט: תיאוריה של רשתות עמוקות. סמסטר א' תש"ף: נושאים בתיאוריה של רשתות עמוקות.

Will not be given the year

Be Concerned with Advanced Topics of Current Interest Which Lie Within the Research Interests of the Teacher. a Detailed Outline Will Be Provided by the Lecturer and the Graduate Studies Committee Prior to the Semester in Which the Course Is Given.

048716	**נושאים מתקדמים במערכות למידה ובקרה 2**	**נ. וינברגר**	2 ה' (2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ"ב: הסתברות בממד גבוה ויישומה במדע הנתונים

שם עברי מקוצר: הסתברות בממד גבוה

דרישות קדם: אותות אקראיים (044202). קורס בתורת האינפורמציה (046733) מומלץ אבל לא מחייב. נדרש ידע בסיסי באנליזה פונקציונלית.

סילבוס בעברית: תחומים מדעיים ויישומיים רבים הרחיבו לאחרונה את מעטפת היכולות שלהם הודות לאיסוף נתונים נרחב. המתדולוגיה של הסתברות בממד גבוה וניתוח לא אסימפטוטי מאפשרת הבנה יסודית של האפשרויות למיצוי מידע זה, וכוח מניע לשיפור ביצועים. הקורס יציג את העקרונות והכלים של תיאוריה זאת, וידגים את יישומיהם במגוון בעיות הסקה ולמידה סטטיסטית.

נושאי לימוד:

1. מבוא להסתברות בממד גבוה וסטטיסטיקה לא-אסימפטוטית.
2. משתנים אקראיים תת-גאוסיים ואי-שיוויון Hoeffding. משתנים תת-מעריכיים ואי-שיוויון Bernstein. מרחבי Orlicz של משתנים אקראיים. יישומים בבעיות שערוך וסיווג.
3. אי-שיוויונות מקסימליים, רשתות וחסמים על מספרי כיסוי ואריזה. יישומים בבעיות רגרסיה לינארית כללית ובבעיות עם תנאי דלילות.
4. אי-שיוויוני ריכוז של סכום מטריצות בלתי-תלויות ואי-שיוויון Bernstein מטריצי. ריכוז של אופרטורים של מטריצות אקראיות ומשפט Davis-Kahan. יישומים בבעיות של שערוך מטריצה, ביטול-רעש, זיהוי קהילות ברשתות, וניתוח רכיבים עיקריים (PCA).

5. ביצועי מינימקס בהסקה סטטיסיטית: תכונות בסיסיות ותכונות טנזוריזציה של מדדי שונות-אינפורמציונית. שיטת שתי ההשערות של Le-Cam והרחבה למספר השערות בשיטת Fano.
6. תהליכים אקראיים גאוסיים, ואי-שיוויוני השוואה של Slepian, Sudakov-Fernique. מינורציה של Sudakuv.
7. סימטריזציה וביטול-צימוד. שיטת השרשור של Dudley. חוק מספרים גדולים במידה-שווה. קשרים בין מספרי כיסוי לממד Vapnik-Chervonenkis -- הלמה של Sauer-Shelah והלמה של Dudley. חסמי הכללה בבעיות של למידה סטטיסטית.

מקורות:

1. High Dimensional Probability: An Introduction with Applications in Data Science, by R. Vershynin, 2019.
2. High-Dimensional Statistics: A Non-Asymptotic Viewpoint, by M. J. Wainwright 2019.
3. High Dimensional Statistics, Lecture notes by P. Rigollet and J-C. Hutter, 2017.
4. Information-theoretic Methods for High-dimensional Statistics, Lecture notes by Y. Wu (Yale), 2019.
5. Probability in High Dimension, Lecture notes by R. van Handel (Princeton), 2016.

תוצאות למידה:

הסטודנטים יוכלו לנסח, להכליל ולעדן מודלים מתמטיים לתרחישי ניתוח נתונים, סטטיטיקה בממד גבוה ולמידה סטטיסטית, להפעיל כלים של הסתברות בממד גבוה לניתוח שלהם ולתרום לחזית המחקר המדעי בנושא זה. הסטודנטים יכירו את המאפיינים הייחודיים של גדלים אקראיים בממד גבוה.

הרכב הציון: 30% תרגילי בית, 70% עבודת גמר.

שם הקורס באנגלית: Probability in high dimension

English syllabus: Numerous scientific fields have recently expanded their capabilities thanks to extensive data collection. The high-dimensional probability methodology enables an understanding of the fundamental limits of extracting information from such data. The course will present its elements, and demonstrate its applicability in statistical inference and learning problems.

Topics:

1. Introduction to probability in high dimension and non-asymptotic statistics.
2. SubGaussian random variables and Hoeffding's inequality. SubExponential random variables and Bernstein's inequality. Bernstein's conditions. Orlicz spaces. Applications in estimation and classification problems.
3. Maximal inequalities. Nets, covering and packing numbers. Applications in unconstrained linear regression and under sparsity assumptions.
4. Concentration of matrix norms. Concentration of sums of independent matrices, and matrix Bernstein’s inequality. Davis-Kahan inequality. Applications in matrix estimation, matrix denoising, community detection, and principal component analysis (PCA).
5. Minimax lower bounds. Basic and tensorization properties of information divergences. Le-Cam’s two point method and multiple-hypotheses Fano’s method.
6. Gaussian random processes, and Slepain’s comparison inequality. Sudakov-Fernique comparison and Sudakov minorization.
7. Decoupling and symmetrization. Dudley’s chaining integral and uniform laws of large numbers. Connections between covering numbers and Vapnik-Chervonenkis

dimension – the lemmas of Sauer-Shelah and Dudley. Generalization bounds in statistical learning.

Learning Outcomes: The students will be able to formulate, generalize and refine mathematical models for data-science scenarions, high-dimensional statistics, and statistical learning. They will be able to utilize tools from high-dimensional probability to analyze them, and contribute to the forefront of research in these topics. The students will be acquainted with the unique characataristics of random structers in high dimension.

048717	**נושאים מתקדמים במערכות למידה ובקרה 3**	**כ. יהודה לוי**	2 ה' (2 נקודות)

נושא בשנת תשפ"ב: שיטות אופטימיזציה מתקדמות ללמידה

מקצועות קדם: מערכות לומדות (0461959, מבוא להסתברות (104034, שיטות חישוביות באופטימיזציה (046197) או קורסים דומים.

אופי הקורס: הקורס יועבר ברובו במתכונת סמינר.

סילבוס בעברית:
כלים ושיטות מתקדמות לאופטימיזציה תופסים מקום מרכזי בתחום של למידה ובעיות עם נתוני עתק.
בקורס נלמד רעיונות וכלים מתקדמים באופטימיזציה ונדגים את הקשר החזק בינם לבין בעיות בלמידה וסטטיסטיקה.

נושאי הקורס:

נושא א-שיטות לאופטימיזציה לא קמורה:
-שיטות למציאת נקודה סטציונרית
-בעיות קוואזי-קונבקסיות ושיטות לפתרונן
-בעיות מסוג strict-saddle והיכן בעיות כאלו מופיעות בלמידה
-שיטות לפתרון בעיות strict-saddle
- שיטות גרדיינט עם Langevin dynamics
-שיטות לפירוק טנזורי ושימושן בלמידת פרמטרים חבויים

נושא ב-שיטות לפתרון בעיות מינימקס:
-בעיות מינימקס בהקשר של למידה וסטטיסטיקה
-שיטות primal-dual וה mirror-prox
-שיטות סב-לינאריות ללמידה דרך גישת מינימקס
-שיטות מתקדמות לפתרון משחקים מטריציים
-שיטות primal-dual לבעיות סטטיסטיקה חסינה, ולמידה חסינה

נושא ג-שיטות ללמידה מקבילית:
-שיטות (סינכרוניות וא-סינכרוניות(לפתרון בעיות מקביליות עם שרת מרכזי (לא מבוזרות(
-שיטות מתקדמות (סינכרוניות וא-סינכרוניות(ללמידה מקבילית מבוזרת

מקורות:

- Recent papers from the literature (**main resource**)

- Jain, Prateek, and Purushottam Kar. "Non-convex Optimization for Machine Learning." *Foundations and Trends® in Machine Learning* 10.3-4 (2017): 142-363.
- Anandkumar, A., Ge, R., Hsu, D., Kakade, S. M., & Telgarsky, M. (2014). Tensor decompositions for learning latent variable models. *Journal of Machine Learning Research*, *15*, 2773-2832.
- Bubeck, Sébastien. "Convex Optimization: Algorithms and Complexity." *Foundations and Trends® in Machine Learning*8.3-4 (2015): 231-35

תוצאות למידה:

עם השלמת הקורס בהצלחה:

1. הסטודנטים יכירו שיטות וכלים מתקדמים לאופטימיזציה ויהיו מסוגלים לקרוא ולהבין מאמרים בתחום.
2. הסטודנטים יוכלו להשתמש בכלים שילמדו לפתרון בעיות ולבניית שיטות למידה חדשות.

הרכב הציון:

50% פרויקט , 50% הצגה סמינריונית בכיתה

שם הקורס באנגלית: Advanced Optimization Methods for ML

English syllabus:

Otimization is a central tool to formalizing and solving Machine Learning and “Big Data” problems.

We will study recent advanced tools in optimization and and demonstrate how to employ these tools in order to solve problems in statistical learning, optimization and game theory.

Topics:

Topic A: Non-convex Optimization:

-Finding stationary point

-Solving Quasi-convex optimization problems

-Strict-saddle problems in ML

-Solving strict-saddle problems

-Gradient methods with Langevin dynamics

-Tensor decomposition and its use in latent variable models

Topic B: Minimax problems:

-Minimax problems in ML and statistics

-Primal-dual and Mirror-Prox methods

-Sublinear methods using minimax approach

-Advanced methods to solving minimax games

-Primal-dual methods for robust statistics and ML

Topic C: Distributed Learning:

-Synchronous and Asynchronous methods for centralized problems

-Synchronous and Asynchronous methods for de-centralized problems

Learning Outcomes:

After the successful completion of the course:

1. The students will know advanced techniques and algorithms in optimization, and will be able to read and understand related papers.
2. The students will be able to design and analyze optimization methods using the tools that we will study.

048718	**נושאים מתקדמים במערכות, למידה ובקרה 4**	**ש. מנור** **א. תמר**	**2 ה** **(2 נקודות)**

נושא הקורס בתשפ"ב: אלגוריתמים בלמידה עם חיזוקים

דרישות קדם: דרושה הכרות עם תחום הלמידה בדגש על למידה עם חיזוקים. אין קדם פורמלי אולם הקורס למידה ותכנון במערכות דינאמיות רצוי מאד.

סילבוס בעברית:

הקורס סוקר אלגוריתמיים עדכניים ללמידה על ידי חיזוקים תוך מתן דגש לאלגוריתמים המשלבים למידה עמוקה ולמידה על ידי חיזוקים.

מקורות:

מאמרים מהספרות העדכנית

תוצאות למידה:

5. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל להסביר את האלגוריתמים העדכניים בתחום של למידה על ידי חיזוקים.
6. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל לפתור בעיות על ידי למידה עמוקה עם חיזוקים.

הרכב הציון: 40% עבודת סיום, 60% עבודת בית

שם הקורס באנגלית: Algorithms for Reinforcement Learning

English syllabus:

The course present recent algorithms in the field of reinfrocement learning focusing on topics in deep reinforcement learning but also on other recent topics.

Learning Outcomes:

1. Learn the most recent algoriths in the field of reinforcment learning
2. Be able to aolve significant engineering problems with reinforcement learning.

Tentative Course plan:

1. Introduction and Recap
2. Policy Gradient Methods
3. Actor Critic Methods and Stochastic Approximation
4. Deep Learning Intro, Backpropagation
5. Deep Learning (cont.), ConvNets, BPTT, LSTM
6. Deep Learning (cont.) and DQN
7. Concepts in Distributed Systems and Distributed RL
8. RL for Board Games, Monte Carlo Tree Search
9. Risk in RL
10. Inverse RL
11. Gaussian Processes in RL
12. Model Based RL
13. Basic PAC Bounds for RL

048719	**נושאים מתקדמים במערכות, למידה ובקרה 5**	**י. רומנו**	2 ה' (2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ"ב: אמינות, הוגנות ועקביות של מערכות לומדות

שם מקוצר: אמינות במערכות לומדות

מקצועות קדם:

1. 044202, 094412 הסתברות (או קורסים דומים)
2. 046195, 236756 מערכות לומדות

מקצועות קדם מומלצים:

1. 094423 מבוא לסטטיסטיקה (או קורסים דומים, כגון 046202 עיבוד וניתוח מידע)
2. 046211, 236781 למידה עמוקה

סילבוס בעברית:

בקורס זה נלמד על שיטות להבטחת אמינות, עמידות, הוגנות, והישנות של מסקנות המתקבלות ממערכות למידה מורכבות, כגון למידה עמוקה. נחשף לבעיות של אלגוריתמי למידה מודרניים ונכיר שיטות מעשיות הנסמכות על תיאוריה עשירה להתמודד עם אתגרים אלו. הקורס יינתן במתכונת סמינר ויכסה מאמרים בחזית התחום של מדעי הנתונים. נתרכז בשיערוך אי ודאות בחיזוי, כמו כן זיהוי ומניעת הטייה מגדרית של מערכות לומדות. בנוסף, נסקור שיטות מתקדמות לבדיקות השערות מרובות ככלי לזיהוי תגליות מדעיות ממאגרי מידע ולאינטרפרטציה של אלגוריתמי למידה.

מקורות:
מאמרים מעיתונים ומכנסים מובילים בתחום של למידה חישובית וסטטיסטיקה.
דוגמאות למאמרים שיכוסו בסמינר:

1. *A tutorial on conformal prediction*. Journal of Machine Learning Research, G. Shafer, and V. Vovk, 2008.
2. *Predictive inference with the jackknife+*. R.F. Barber, E. J. Candes, A. Ramdas, and R. J. Tibshirani, arXiv:1905.02928, 2019.
3. *Equality of opportunity in supervised learning*. M. Hardt, E. Price, and N. Srebro. NeurIPS, 2016.
4. *Panning for gold: Model-X knockoffs for high dimensional controlled variable selection*. E. J. Candes, Y. Fan, L. Janson, L. Lv. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 2018.

תוצאות למידה:

1. חשיפה לאתגרים בשימוש במערכות לומדות ביישומים שבהם האמינות היא דרישה הכרחית.
2. למידת מתודולוגיות להבטחת אמינות המסקנות המתקבלות ממערכות לומדות.

הרכב הציון:
הציון יתבסס על השתתפות פעילה בכיתה, הצגת מאמר ופרויקט.

שם הקורס באנגלית:

Reliability, Equity, and Reproducibility in Modern Machine Learning

English Syllabus:
In this course, we will study methodologies to guarantee the reliability, robustness, equity, and reproducibility of advanced machine learning systems, such as deep neural nets. We will discuss recent concerns about modern machine learning algorithms and will tackle these by introducing flexible tools that are supported by theoretical guarantees. This course will be given as a seminar and will cover influential papers in the field of data science. We will focus on prediction uncertainty estimation as well as mitigation of discrimination against minorities. We will also explore frameworks for multiple hypothesis testing as powerful tools for making new scientific discoveries and for interpreting complex learning systems.

Learning Outcomes:
1. Familiarize with challenges in using modern machine learning algorithms in high-stakes applications.
2. Learn flexible methodologies to produce data-driven inferences that can be trusted.

נושא הקורס בתשפ״ב: יסודות מטא-משטחים אלקטרומגנטיים

מטא-משטחים אלקטרומגנטיים הם התקנים בעלי עובי קטן מאורך הגל המורכבים מחלקיקים ניתנים לקיטוב שמימדיהם קטנים מאורך הגל גם כן. בקורס יילמדו העקרונות הפיזיקליים המאפשרים שימוש במבנים אלו לשליטה באלומות (ובשדות בכלל), יפותחו המודלים המקובלים לתיאורם, ויוקנו השיטות באמצעותן ניתן לתכנן ולנתח רכיבים שימושיים (עדשות, מראות, מפצלי אלומות, מקטבים וכיו״ב) בעלי תכונות וביצועים ייחודיים.

מקצועות קדם:
044148 - גלים ומערכות מפולגות

הרכב הציון: קביעת הציון עפ״י מעקב במשך הסמסטר והגשת עבודת גמר.

סילבוס בעברית
מבוא להומוגניזציה: פיזור מתווך חוטי. גבולות: סריג עקיפה ומשטח עכבה. דו-קיטוביות ואניזוטרופיות. תנאי שפה שקולים של מטא-משטחים. משטחי הויגנס. תכן מאקרוסקופי של מטא-משטחים. שבירה מהונדסת. תכן מיקרוסקופי של מטא-אטומים. מטריצות פיזור ומודל קווי תמסורת. מטא-משטחים אומגה-ביאניזוטרופיים. התמרות שדה לא-מקומיות. החזרה מהונדסת. מטא-משטחים עם פאזה גיאומטרית. מטא-משטחים כיראליים. התמרות קיטוב.

מקורות:
הקורס יתבסס ברובו על מאמרים עדכניים מכתבי עת מדעיים.

- Tretyakov, S. (2003). *Analytical modeling in applied electromagnetics*. Boston: Artech House.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design* (Fourth edition.). Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave engineering* (4th ed.). Hoboken, N.J.: Wiley.
- Harrington, R. F. (2001). *Time-harmonic electromagnetic fields*. New York: IEEE Press.
- Felsen, L. B., & Marcuvitz, N. (2003). *Radiation and scattering of waves*. Piscataway, N.J.: IEEE /Wiley-Interscience.

תוצאות למידה:
עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנטים יהיו מסוגלים

1. להסביר מהן התופעות הפיזיקליות המאפשרות לייצר אי-רציפויות בשדה אלקטרומגנטי על ידי מטא-משטחים, וכיצד (ומתי) ניתן לבצע הומוגניזציה.
2. לנסח תנאי שפה עבור מטא-משטחים בעלי תכונות קיטוביות מוגדרות.
3. להסביר את ההבדלים באינטרקציה של מטא-משטחים ממחלקות שונות (הויגנס, אומגה-ביאניזוטרופיים וכיראליים) עם שדות א״מ ואת היישומים האפשריים הנגזרים מכך
4. לבצע תכן מאקרוסקופי של מטא-משטחים עבור התמרות שדה העונות לכללי השימור הרלוונטיים, ובפרט: העברה מהונדסת, החזרה מהונדסת, התמרות קיטוב
5. לבצע תכן מיקרוסקופי של מטא-אטומים באמצעות מודל קו תמסורת ותוכנות סימולציה
6. להסביר כיצד שדות עזר עשויים לסייע בתכנון מטא-משטחים להתמרות שדה לא-מקומיות

שם הקורס באנגלית: Foundations of electromagnetic metasurfaces

English syllabus:
Intoduction to homogenization: scattering off wire media. Limits: diffraction grating and impedance surface. Dual-polarization and anisotropy. Generalized sheet transition conditions. Huygens' metasurfaces. Macroscopic design of metasurfaces. Engineered refraction. Microscopic design of meta-atoms. Scattering matrices and transmission line model. Omega-bianisotropic metasurfaces. Nonlocal field transformations. Engineered reflection. Geometric-phase metasurfaces. Chiral metasurfaces. Polarization control.

Learning Outcomes:

At the end of the course, the student will know how to

1. Identify the physical phenomena that allow generation of discontinuities in the electromagnetic fields via metasurfaces, and how (and when) they lead to homogenization.
2. Write the sheet transition conditions of metasurfaces with given polarizability properties (electric/magnetic/Huygens'/omega/chiral).
3. Explain the different properties of the various metasurface classes (their interaction with electromagnetic fields), and the corresponding range of applications.
4. Design metasurfaces (macroscopically) implementing field transformations that obey the relevant conservation rules (in particular, for engineered refraction and reflection, and polarization contorl).
5. Design meta-atoms (microscopically) using transmission-line model and commercial solvers
6. Explain how auxiliary fields may facilitate nonlocal field transformations via metasurfaces

048746	**מערכות ביו-אקסיטביליות**	2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מזה מאתיים שנה ויותר מהוות מערכות ביו-אקסיטביליות מקור השראה לפיתוח כלים ותיאוריות הנדסיות. הקורס מכוון להקניית ידע מקיף ועדכני הנוגע להיבטים פיסיקליים והנדסיים של תופעות חשמליות בתאים ביולוגיים אקסיטסיליים, בהקשר הפיזיולוגי הרלוונטי (לב, מוח, שריר שלד, שרירים לא רצוניים , רקמות אנדוקריניות).

תוצאות למידה

1. התלמיד יוכל להסביר את הבסיס הפיסיקלי של אותות חשמליים ברקמות ביולוגיות.
2. התלמיד יוכל לתכנן חקירה אלקטרופיזיולוגית של תכונות חשמליות ברקמות ביולוגיות.
3. התלמיד יוכל לנתח אותות אלקטרופיזיולוגיים.
4. התלמיד יוכל לנסח מודלים ביופיסיקליים המתארים תכונות של מערכות אקסיטביליות ברמות הפשטה שונות.

Will not be given the year

Over the Past Two Hundred Years Bio-Excitable Systems Have Continually Inspired Development of Concepts and Theories in the World of Engineering. the Course Is Aimed at Providing Extensive and Updated Knowledge Pertaining to Physical and Engineering Aspects of Electrical Excitability in Biological Cells, Within a Physiologically Relevant Outcomes:

1. the Student Will Be Able to Explain the Physical Basis of Bio-Electric Phenomena
2. the Student Will Be Able to Plan Electrophysiological Investigation of Electrical Signals in Biological Tissues.
3. the Student Will Be Able to Analyze Electrophysiological Data.
4. the Student Will Have the Tools to Formulate Biophysical Models That Capture Key Features of Bio-Excitability at Several Abstraction Levels.

048747	**מעבדה באותות ומערכות ביולוגיים**	**מ. פורת**	4מ', (2 נקודות)

מקצוע קדם:

046326 - מבוא לאותות ומערכות ביולוגיים.

מקצועות מומלצים:

048820 - אנליזה של אותות פיזיולוגיים.

046331 - בקרת מערכות פיזיולוגיות.

046332 – מערכות ראייה ושמיעה.

אנליזה של מערכות פיסיולוגיות. פתוח שיטות לזיהוי תבניות אותות למטרות אבחון מחלות (EEG, ECG , EMG, ERG, אותות תנועת העין), תכנון ובנית מכשור הדרוש במחקר פיזיולוגי וקליני.

מדידות פרמטרים ביולוגיים ואנליזה של חשיבותם במערכות ביולוגיות. פתוח מודלים של מערכות ביולוגיות ובחינתם על ידי דמוי ספרתי ואנלוגי.

048750 **נושאים מתקדמים בתכנון מחשב 1** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס הדן בנושאים מתקדמים במבנה, תכנון ואנליזה של מערכות מחשבים. הקורס ישמש גם כבסיס למשתמשים המעוניינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור.

Will not be given the year

Course Addressing Advanced Topics in Architecture, Design and Analysis of Computer Systems. the Course Will Also Serve as a Basis for Student Interested in Carrying Out Thesis Research in the Field.

048756 **אופטימיזציה דינאמית** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מבוא לחשבון ואריאציות. בעיות אופטימיזציה למערכות דינאמיות. הרחבה לפונקציות במספר משתנים. עקרון המקסימום. אופטימיזציה דינאמית עם אילוצי מסלול. משוב אופטימאלי. בעיות סינגולריות. משוואות דיפרנציאליות חלקיות של תכנות דינאמי. שימושים ודוגמאות, כולל בתחומים של ניווט, ניתוח תמונות ותורת המימון. מבוא לתורת המשחקים הדיפרנציאליים. מבוא לתורת הבקרה הסטוכסטית.

Will not be given the year

Introduction to Calculus of Variations. Optimization Problems for Dynamic Systems. Extension to Multivariate Functions. the Maximum Principle. Dynamic Optimization with Path Constraints. Optimal Feedback. Singular Problems. the Partial Differential Equations of Dynamic Programming. Applications and Examples, Including Navigation, Image Analysis and Finance. Introduction to the Theory of Differential Games. Introduction to Stochastic Control Theory.

048771 **פרקים בתקשורת ספרתית 1** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מבוא לשדור נתונים. חסמים לתקשורת בערוץ גאוסי דיספרסיבי. שערוך סידרתי אופטימלי תוך שמוש באלגוריתם של ויטרבי. אפיון הפרה בינסימנית ואמדן ביצועים תוך שימוש בטכניקות חסימה לפי צ'רנוף. שוויון לינארי ושיוויון משוב- החלטה. אלגוריתמים רקורסיביים לכוונון מקדמי הגבר המשוון.

Will not be given the year

Introduction to Data Transmission. Bounds on Communication Rates Over Dispersive Gaussian Channels. Optimum Sequence Estimation Using the Viterbi Algorithm. Characterization of Intersymbol Interference and Performance Evaluations Using Chernoff Bounding Techniques. Linear and Decision Feedback Equalization. Recursive Algorithms for Adjustment of Tap Gains.

048790	**תכונות אופטיות של מוליכים למחצה**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

פורמליזם בסיסי של אנטראקציה של אור ומוצקים. יושם דגש על מוליכים למחצה, כולל דווח על שיטות נסיוניות. יכללו הנושאים המיוחדים הבאים: מגנטן- אופטיקה, אופטיקה לא לינארית, לייזרים של בורות קוונטיים

Will not be given the year

Basic Formalism of the Interaction of Light and Solids. Absorption of Light in Semiconductors and Metals. Experimental Methods Including Kromer-Kronig Relation. Scattering of Light. Magnetooptic, Acousto-Optic and Electro-Optic Effects and Devices, Non-Linear Optics.

48811	**רעש בהתקנים אלקטרוניים**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מבוא: פילוגים סטטיסטיים, משפטי הצפיפות ההספק הספקטרלית, משוואת langevin, הקשר fluctuation - dissipation relation. מכניזמים בסיסיים של רעש: רעש תרמי - (nyquist) הוכחות שונות, רעש ברד, רעש גנרציה - רקומבינציה במוליכים למחצה.
רעש בצומת pn ובטרנזיסטור ביפולרי - מודלים מפורטים, סכמות תמורה לרעש, רעש תרמי בטרנזיסטור ,mos רעש מפולת.
מודלים כלליים פיזיקליים ומתמטיים לרעש ,f/1 רעש f/1 ב mosfet, -רעשf/1 בנגדים, רעש f/1 בהתקנים אלקטרוניים שונים.
שימוש במדידות רעש כבחון רגיש לדפקטים ולמנגנוני דגרדציה בהתקנים אלקטרוניים, ספקטרוסקופיה של רמות אנרגיה של מצבים במוליך למחצה בעזרת מדידות רעש. שימוש במדידות רעש בהתקנים זעירים להתבוננות באירועים דינמיים מיקרוסקופיים (סקירה). רעש ומערכות ליניאריות, ספרת רעש, טכניקות אפיון, טכניקות להקטנת רעש f/1 במגברים

Will not be given the year

Introduction: Statistical Distributions, Power-Spectral Density Theorems, Langevin Equation, Fluctuation-Dissipation Relation. Fundamental Noise Mechanisms: Thermal Noise (Nyquist) - Several Proofs, Shot Noise, Generation-Recombination Noise in Semiconductors. Noise in Pn Junction and Bipolar Transistor - Detailed Models, Equivalent Circuits of Noise, Thermal Noise in Mos Transistor, Avalanche Noise. General Physical and Mathematical Models for 1/F Noise in Mosfets, 1/F Noise in Resistors, 1/F Noise in Various Electronic Devices. the Use of Noise as a Sensitive Probe for Degradation Mechanisms in Electronic Devices, Noise Spectroscopy of Bulk Levels in Semiconductors. Noise as a Probe for Observing Discrete Microscopic Events in Mesoscopic Devices (Review). Noise and Linear Systems, Noise Figure, Measurements Techniques, Methods to Reduce 1/F Noise in Amplifiers.

048812	**פיזיקה והתקנים של תחמוצות**	**ל. קורנבלום**	2 ה׳ (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: פיזיקה והתקנים של תחמוצות

דרישות קדם:

אין קדם רשמי.

הסטודנט צריך לבוא עם רקע של בוגר הקורס 044125 יסודות התקני מוליכים למחצה מ׳. קורסי מבוא אחרים במל״מ יכולים להתאים (כגון 315030).

סילבוס בעברית

הקורס סוקר יישומים עכשוויים של תחמוצות במיקרואלקטרוניקה, בדגש על חומרים בעלי מקדם דיאלקטרי גבוה בטרנזיסטורים. משם הקורס ממשיך לתיאור הפיזיקה והיישומים של תחמוצות פונקציונליות בעלות קורלציה אלקטרונית. הקורס משלב היבטים של הפיזיקה מאחורי התכונות

האלקטרוניות המיוחדות של התחמוצות עם היבטים פרקטיים של גידול השכבות, ודוגמאות להתקנים אלקטרוניים.

<u>פרקי הלימוד</u>

1. תחמוצות כמבודדים במיקרואלקטרוניקה: תחמוצת סיליקון במיקרואלקטרוניקה
2. תחמוצות כמבודדים במיקרואלקטרוניקה: דיאלקטרים בעלי high-k, מוטבציה, פיזיקה וטכנולוגיה, שליטה על פונקצית העבודה בהתקנים מודרניים.
3. מבוא לשיטת ALD לשיקוע שכבות דקות
4. פיזיקה ותכונות של תחמוצות פרובסקיטיות בעלות קורלציה אלקטרונית
   - תיאור, מבנה גבישי, מבנה אלקטרוני בסיסי
   - פיזיקה של מבודדי Mott, מעברי מתכת-מבודד, דוגמאות
   - קונפיגורציות אלקטרוניות, סיווג תחמוצות ומצבי ספין
   - דוגמה מסכמת - משפחת המנגנייטס: עיוות Jahn-Teller, מבוא קצר לפאזות מגנטיות, תופעות Double Exchange, CMR והקשר ביניהן.
5. שכבות דקות של תחמוצות בעלות קורלציה אלקטרונית
   - גז אלקטרונים דו-ממדי (2DEG) בתחמוצות: תיאור התכונות, שלושת המודלים הפיזיקליים, התקנים מבוססי גז אלקטרונים דו-ממדי
   - שימוש בשכבות דקות להנדסת התכונות של תחמוצות באמצעות מעוותים אפיטקסיאליים. פיזיקה ודוגמאות.
   - Field effect בשכבות דקות
6. סקירה של השיטות העיקריות לגידול אפיטקסיאלי של תחמוצות. פיזיקה וטכנולוגיה.
7. גידול אפיטקסיאלי של תחמוצות על מוליכים למחצה: אתגרים, פתרונות, ודוגמאות ליישומים.

<u>מקורות</u>

- <u>Chapter 1</u>: E.H. Nicollian, J.R. Brews, "MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology", Wiley (1982). Chapter 13
- <u>Chapter 2</u>: J. Robertson, R. M. Wallace, Mater. Sci. Eng. R Reports **88**, 1 (2015).
- <u>Chapter 3</u>: R. L. Puurunen, J. Appl. Phys. **97**, 121301 (2005)
- <u>Chapter 4</u>:

  M. Imada, A. Fujimori, and Y. Tokura, Rev. Mod. Phys. **70**, 1039 (1998)

  J.M.D. Coey, "Magnetism and Magnetic Materials", Cambridge University Press (2010)

  A.M. Haghiri-Gosnet and J.-P. Renard, J. Phys. D. Appl. Phys. **36**, R127 (2003)

- <u>Chapter 5</u>:
  Y.Y. Pai, A. Tylan-Tyler, P. Irvin, and J. Levy, Reports Prog. Phys. **81**, 36503 (2018)

  S. Catalano, M. Gibert, V. Bisogni, O.E. Peil, F. He, R. Sutarto, M. Viret, P. Zubko, R. Scherwitzl, A. Georges, G.A. Sawatzky, T. Schmitt, and J.-M. Triscone, APL Mater. **2**, 116110 (2014)

  Y. Zhou, S. Ramanathan, "Correlated Electron Materials and Field Effect Transistors for Logic: A Review", Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences **38**, 286 (2013)

- <u>Chapter 6</u>:
  L.W. Martin, Y.-H. Chu, R. Ramesh, "Advances in the growth and characterization of magnetic, ferroelectric, and multiferroic oxide thin films", Mat. Sci. & Eng. R **68**, 89 (2010)

- <u>Chapter 7</u>:
  A.A. Demkov, A.B. Posadas, "Integration of Functional Oxides with Semiconductors", Springer, New York City, NY, (2014)

תוצאות למידה:
עם השלמת הקורס

1. לסטודנט תהיה היכרות רחבה עם תחמוצות כחומרים אלקטרונים, ויישומיהן בהתקנים נוכחיים ועתידיים
2. הסטודנט יהיה מסוגל להסביר את הקשר בין תכונות החומר (מבנה אטומי, הרכב) למבנה האלקטרוני במספר דוגמאות מייצגות, וידע לנתח את הפיזיקה שמאחוריהן.
3. לסטודנט תהיה יכולת להסביר את השימושיות של תחמוצות בהתקנים עתידיים.

הרכב הציון:
מבחן בע"פ (80%) ושני תרגילי בית (20%).

שם הקורס באנגלית

Oxide Physics and Devices

English syllabus:

The course presents current applications of oxides in microelectronics, focusing on high-k dielectrics in CMOS technology. The course then address the physics and applications of functional oxides. The course interweaves aspects of the physics underlying the unique elecronic properties of the oxides with practical aspects of oxide growth and examples of integration in electronic devices.

Topics

1. Oxides as insulators in: silicon oxide in microelectronics
2. Oxides as insulators: high-k dielectrics, motivation, physics and technology. Workfunction engineering in modern devices.
3. Introduction to atomic layer deposition (ALD)
4. Physics and properties of correlated electron perovskite oxides
    - Introduction, crystal structure, basic electronic structure
    - Physics of Mott insulators, metal-insulator transitions, examples
    - Electronic configuration, classifying oxides and spin states
    - Concluding example: manganites. Jahn-Teller distortion, introduction to magnetic phases, the relation between double exchange and colossal magnetoresistance (CMR).
5. Thin films of correlated electon oxides
    - Oxide 2D electron gas (2DEG): properties, three physical models, 2DEG devices
    - Using epitaxial strain for engineering the properties of oxides. Physics and examples.
    - Field effect
6. Review of the key methods of oxide epitaxy. Physics and technology.
7. Oxide epitaxy on semiconductors: challenges, solutions and examples of application

Learning Outcomes:

At the end of the course:

1. The student will have a broad perspective on oxides as electronic materials and their applications in current and future electronic devices.
2. The student will be able to identify the relations between the material properties (atomic structure, composition) with the electronic structure in several case studies, and explain their underlying physics.
3. The student will be able to explain the prospects and usefulness of functional oxides in future electronic devices.

לא יינתן השנה.

יבחרו נושאים מתוך הרשימה המצורפת בתאום עם הסטודנטים. כ-20 אחוז מן הזמן יוקדשו לפגישות סמינריוניות והשאר - להרצאות. הנושאים יקבעו מדי סמסטר לפי נטית השומעים ולפיכך הרשימה היא טנטטיבית בלבד. אלקטרודינמיקה של גופים בתנועה. הקרינה הקלסית של המטען המואץ. גלים אלקטרומגנטיים: על- פוטנציאלים, התפשטות גלי הלם בנוכחות חמר פרומגנטי, התפשטות גלי הלם בנוכחות חמר על-מוליך, התקני תמסרת על-מוליכים, דיאלקטריים וסיביים. יסודות הסכוך.

Will not be given the year

Electrodynamics of Moving Media. the Momentum-Energy Tensor. Electromagnetic Waves: Super-Potentials, Transient Wave Propagation in the Presence of Ferromagnetic Materials: Transient Wave Propagation in the Presence of Superconducting Materials. Superconducting Lines, Dielectric Lines and Fibers, Screening Problems.

048815 **נושאים מתקדמים בתורת הגלים 2** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה.

קורס סמינריוני שיעסוק בנושאים מתקדמים, תאורטיים ויישומיים הכרוכים בשידור, קליטה, התפשטות ופיזור גלים. יודגשו נושאים בתחום המחקר של המרצה. אופטיקה של שכבות דקות ומעגלים אופטיים משולבים. הערה: רשימת הנושאים הספציפית לסמסטר תוגדר בהרצאה הראשונה.

Will not be given the year

This Is a Seminar-Like Course Dealing with Advanced Topics, Theoretical and Applied, Which Are Pertinent to the Generation, Reception Propagation and Scattering of Waves. Research Topics of the Instructor Will Be Emphasized.

048816 **מעבדה לעיבוד אותות** **מורי השטח** 4מ'
(2 נקודות)

מקצועות קדם:
046745 – עיבוד ספרתי של אותות או,
048860 – עיבוד תמונות.

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לבצע פרוייקטים בתחום של עבוד אותות לאחר למוד מקצוע הקדם ומקצועות אחרים (בלמודי הסמכה/מוסמכים), אשר יקבעו על פי הנושאים שיוצעו. הפרוייקטים יהיו הן בתחום של חמרה (Hardware) מיוחדת לעבוד אותות (מימוש ספרתי, אנלוגי או היברדי) והן בתחום של חקר אלגוריתמים ותכנה לעיבוד אותות באמצעות מערכות המחשבים שבמעבדה. המעבדה מהווה בדרך כלל שלב ראשון בגיבוש נושא מחקר בתחום.

048819 **אלקטרודינמיקה טכנית מתקדמת 2** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה.

אופי הקורס בחלקו סמינריוני. יקבעו מדי פעם נושאים לפי התענינות הסטודנט. התפשטות גלים בתווך נע, התפשטות גלים מישוריים בתווך הומוגני אנאיזוטרופי גלים מישוריים בתווך שכבתי- בלתי הומוגני, התפשטות גלים בתוך פלסמה.

Will not be given the year

Wave Propagation in Moving Media, Plane Waves in Anisotropic Media: Plane Waves in Stratified Media, Transients: Propagation and Diffraction of Transient Fields.

048823	**שיטות אנליטיות בתורת הגלים 1**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

הצגה מודלית של פתרונות שדה ומקורותיו. הנחיה וקרינה במבנים שכבתיים. גלי שטח וגלים זליגים. תאור בתחומי התדר והזמן. תאור שיטת .cagniard de-hoop הצגות אלטרנטיביות ופונקציות גרין אופיניות. אינטגרציה במישור הקומפלקסי: טכניקות אסימפטוטיות, אינטגרצית נקודת אוכף. תרומות סינגולריות ופירושן הגיאומטרי. התורה הגיאומטרית לדיפרקציה ,(gtd) דיפרקצית קצה, דיפרקצית נקודה, גלים זוחלים, גלים לטרליים, הנחייה וקרינה במבנים מחזוריים ומשפט .floquet דוגמאות תלקחנה מתחומי יישום שונים כגון: תורת האנטנות, תורת הפיזור, מכ״ם, סונר, אופטיקה וגיאופיסיקה הערה: התחום בין 048823 ו-048824 עשוי להיות שונה מהמתואר.

Will not be given the year

Model Representations. Guided Waves and the Transmission Line Analogy in Open and Closed Structures. the Dispersion Relation. Green׳S Functions and Their Classification. Guidance and Radiation Properties of Stratified Structures. Alternative Representations and Characteristic Green׳S Functions. Integration in the Complex Plane: Asymptotic Techniques, Singular Contributions and Their Geometrical Interpretation. the Geometrical Theory of Diffraction (Gtd): Edge and Vertex Diffraction, Creeping Waves.

048825	**שערוך וזיהוי במערכות דינמיות**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מושגי יסוד בשערוך סטטיסטי. ייצוג מערכות סטוכסטיות. מסנן וינר. שערוך המצב במערכות לינאריות: מסנן קלמן, משוואת ריקטי, תכונות במצב מתמיד, החלקה וחיזוי. מסנן קלמן מוכלל למערכות לא לינאריות. מסנני חלקיקים, שימוש במודלים מרובים. מבוא לזהוי מערכות. מודלים מרקוביים דיסקרטיים .(hidden markov models) אלגוריתם em לשערוך משותף של מצב ופרמטרים. שימושים בתחומי ניווט, עקיבה, עיבוד אותות, זיהוי דיבור, ראייה ממוחשבת ורשתות ניירונים.

Will not be given the year

Basic Concepts in Statistical Estimation. Stochastic Systems Models. the Wiener Filter. State Estimation in Linear Systems: Kalman Filtering. Smoothing and Prediction. the Extended Kalman Filter for Non-Linear Systems. Particle Filters. Multiple Model Estimation. Introduction to Systems Identification. Hidden Markov Models. the Em Algorithm. Applications to Navigation, Tracking, Signal Processing, Speech Identification, Computer Vision and Neural Networks.

048828	**עיבוד וניתוח אותות מרחביים**	**י. כהן**	2 ה׳ (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: עיבוד מרחבי

דרישות קדם:

044198 מבוא לעיבוד ספרתי של אותות

044202 אותות אקראיים

סילבוס בעברית

עיבוד מרחבי של אותות במערכי גלאים בתחום הזמן ובתחום התדר, תת-מרחבים של האות ושל הרעש, מעצבי אלומה אופטימליים, מדדי טיב של מערכים, קיפולים מרחביים, כיווניות מרחבית, MVDR, LCMV,

GSC, שערוך כיוון ההגעה ושערוך הפרש זמני הגעה, עיצוב אלומה מסתגל, עיצוב אלומה דיפרנציאלי, תכן של תבנית האלומה.

מקורות:

1. J. Benesty, I. Cohen and J. Chen, *Fundamentals of Signal Enhancement and Array Signal Processing*, Wiley-IEEE Press, Singapore, 2018.
2. H. L. Van Trees, *Optimum Array Processing: Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory*, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
3. מאמרים מהספרות המקצועית השוטפת

תוצאות למידה:

בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:

1. ליישם אלגוריתמים לעיבוד מרחבי של אותות בתחום הזמן ובתחום התדר.
2. לתכנן וליישם מעצב אלומה אופטימאלי לסינון מרחבי במערכי גלאים.

הרכב הציון:
30% הרצאה סמינריונית
70% פרויקט סיום

שם הקורס באנגלית: Array Signal Processing and Analysis

English syllabus: עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד

Array signal processing in the time and frequency domains, subspace methods, beamforming, performance measures, spatial aliasing, delay-and-sum, superdirective, null steering, Minimum Variance Distortionless Response (MVDR), Linearly Constrained Minimum Variance (LCMV), Generalized Sidelobe Cancellers (GSC), direction-of-arrival estimation, adaptive beamforming, differential beamforming, beampattern design.

Learning Outcomes:

Students who will successfully complete the course will be able to:

1. Implement algorithms for array signal enhancement in the time and frequency domains.
2. Design and apply optimum beamformers for spatial filtering in sensor arrays.

048831 **נושאים מתקדמים בעבוד אותות 1** 2ה', (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בתחום עיבוד אותות העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה.

Will not be given the year

An Advanced Course in Signal Processing Which Deals with Research Topics in the Over of Interest of the Instructor.

048833 **יסודות הבקרה הלינארית** 2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מערכות לינאריות דינמיות: קונטרולבילויות, אובזרווביליות, צורות קאנוניות, משוב מצב, מיקום קטבים, בקר המבוסס על משחזר מצב, תורת המימוש. יציבות פנימית פרוק דו-ראשוני. טרנספורמציה לינארית שיברית, פרמטריזציה של בקרים מייצבים. בקרה אופטימלית lqr, lqg, ltr, 2 : hמקדמי בטחון ליציבות, תורת ההפרדה. מבוא לעמידות ביציבות ונורמות h

Will not be given the year

Linear Dynamical Systems: Controllability and Observability, Cannonical Forms, State Feedback, Pole Placement, Observers and Observer Based Controllers, Realization Theory. Well Posendness, Internal Stability, Coprime Factorization, Linear Fractional Transformation, Parameterization of Stabilizing Controllers. H2 Optimal Control: Lqr, Lqg, Ltr, Stability Margin, Separation Theory. Introduction to Stability Robustness and Hoo Norms.

048836 **<u>מעבדה במעגלים מהירים</u>** **<u>ע. כהן</u>** 4מ׳, (2 נקודות)

מעבדת HFIC מתמקדת במחקר במעגלים משולבים עבור יישומים כמו הדמיה תקשורת וחישה.
המעבדה מספקת סביבת מחקר לסטודנטים לתארים מתקדמים עבור מערכות תקשורת אלחוטיות וקוויות עתידיות מבוססים על מעגלים משלובים בטכנולוגית . CMOS
תחומי עניין כגון : מעגלי רדיו וגמ״מ , אלגוריתמיים למעגלים מעורבים וארכיטקטורות של מערכות רדיו.
המעבדה מצוידת בתחנת בדיקה מודרנית המאפשרת מדידות של שבבים ואפיון מלא עד תדר של 110 גיגה הרץ.

סילבוס באנגלית :

THE HFIC LAB IS FOCUSED ON RESEARCH IN INTEGRATED CIRCUITS FOR VARIOUS APPLICATIONS, AS COMMUNICATION IMAGING AND SENSING.
HFIC PROVIDES A RESEARCH ENVIRONMENT FOR GRADUATE STUDENTS FOR FUTURE WIRELESS AND WIRELINE COMMUNICATION SYSTEMS ON HIGHLY-INTEGRATED CMOS IMPLEMENTATIONS INCLUDING AREAS OF INTEREST AS: RF/MM-WAVE CIRCUITS, ALGORITHMIC AND HIGH SPEED MIXED SIGNAL, RADIO SYSTEM ARCHITECTURES. THE LAB IS EQUIPPED WITH A MODERN PROBE STATION TO ENABLE ON WAFER MEASUREMENTS AND A FULL CHARACTERIZATION UP TO 110 GHZ.

<u>תוצאות למידה:</u> בתום קורס מעבדת HFIC הסטודנט יכיר את סביבת המחקר עבור מערכות תקשורת אלחוטיות וקוויות עתידיות. הסטודנט יכיר תחומי עניין : מעגלי רדיו וגמ״מ , אלגוריתמיים למעגלים מעורבים וארכיטקטורות של מערכות רדיו.

<u>Learning Outcomes:</u> By the end of the HFIC Lab the student will be familiar with the research environment of integrated circuits for various applications, as communication imaging and sensing. The student will learn various areas of interest such as: RF/mm-Wave circuits, Algorithmic and high speed mixed signal, radio system architectures.

048840 **<u>הנדסת חשמל רלטיביסטית</u>** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה.

יסודות : אלקטרודינמיקה ארבע-מימדית. משוואות השדה בריק. משוואות מינקובסקי. התפשטות גלים בתווך נע : ווקטור ההתפשטות ומשטחים נורמליים. מהירות החבורה. שבירה. החזרה מלאה בנוכחות תווך נע. קרינה בתווך נע : פונקצית גרין ברשום דיאדי למרחב נע. קרינה מדיפול נע. האזור הרחוק במרחב נע. אפקט דופלר : קינמטיקה של גלים במרחבים נעים.

Will not be given the year

Basics: Four-Dimensional Electrodynamics. Field Equations in Empty Space. Minkowski׳S Equations.
Wave Propagation in Moving Media: the Propagation Vector and Normal Surfaces. Group Velocity. Refraction. Brewster׳S Angle for Moving Media. Total Reflection in Moving Media.
Radiation in Moving Media: the Dyadic Green Function for Moving Media. Radiation from Receding Dipoles. the Far-Field in Moving Media.
The Doppler Effect: Wave Kinematics in Moving Media.

048843	**ניסוי ומיצוי בסוכנים טבעיים ומלאכותיים**	**ר. מאיר**	2 ה' (2 נקודות)

מקצועות קדם:

044202 - אותות אקראיים, או קורס מבוא אחר בתהליכים אקראיים.

סוכנים אוטונומיים הפועלים בסביבה מורכבת נדרשים לתפקד תחת תנאים מאתגרים של אי-וודאות, הנובעים ממידע חלקי, רועש ומושהה, מאי-ידיעת מודל העולם, מכשלי מערכת ומצווארי בקבוק בתקשורת. גישה אפשרית לצורך התמודדות עם בעיות אלה משלבת ניסוי)exploration(ומיצוי)exploitation(. באופן גס, מיצוי מאופיין ע"י ניצול ידע קודם שנאגר תוך כדי פעילות כדי לקדם מטרה רצויה, בעוד ניסוי מתמקד בחיפוש אופני-פעולה חדשים בעלי פוטנציאל רווח עתידי. האיזון המיטבי בין ניסוי למיצוי תופס מקום בסיסי בתחומי הבקרה האופטימלית ולמידה ע"י חיזוקים מאז שנות הששים המוקדמות, עם חשיבות גדלה והולכת בשנים האחרונות. למרות זאת, מלבד במקרים מוגבלים, קיימת הבנה חלקית על איזון מושכל ושיטתי בין ניסוי ומיצוי. בקורס זה נתאר את האיזון בין ניסוי למיצוי במגוון מערכות לומדות, מתוך ניסיון לחלץ עקרונות פעולה כלליים, ולפתוח פתח לתכנון מושכל של איזון זה בבעיות מאתגרות בלמידת מכונה.

תוצאות למידה: הבנת האיזון הנדרש בין ניסוי למיצוי במערכות לומדות, שליטה בתאוריה הבסיסית במערכות לומדות פשוטות, יכולת לתכנן איזון מושכל בין ניסוי למיצוי במערכות מורכבות יותר, קריאת הספרות השוטפת.

מקורות:

1. Reinforcement Learning, Sutton & Barto, MIT Press 2018.
2. Bandit algorithms, Lattimore & Szepesvári, Cambridge University Press 2020.
3. Papers from the current literature

Course title: Exploration and Exploitation in learning systems

Prerequisites: 044202 -Random Signals or similar basic course on random processes.

Autonomous agents operating in a complex environment are required to function under challenging conditions of uncertainty, resulting from partial, noisy, and delayed information, from lack of a world model, and system malfunction and form communication bottlenecks. A possible approach to these difficulties combines exploration and exploitation. Roughly, exploitation involves utilizing prior knowledge, collected through activity aimed at achieving required goals, while exploration focuses on searching for modes of operation with potential future gains. The optimal balance between exploration and exploitation occupies a basic place in the areas of optimal control and reinforcement learning since the early 1960s, with increasing importance in recent years. In spite of this, except for restricted cases, there is limited understanding of how to balance the two. In this course we will characterize this balance in different learning systems, aiming at the extraction of general principles, opening the door to the development of effective exploration-exploitation schemes in challenging problems in machine learning.

Learning outcomes: Understanding the balance between exploration and exploitation in learning stems; understanding the basic theory for simple systems; designing effective an exploration-exploitation balance in more complex systems; reading the current literature.

Sources:

1. Reinforcement Learning, Sutton & Barto, MIT Press 2018.
2. Bandit algorithms, Lattimore & Szepesvári, Cambridge University Press 2020.
3. Papers from the current literature

048846 **נושאים ברשתות תקשורת בין מחשבים 1** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בו יידונו נושאי מחקר שוטפים בנושאי תקשורת בין מחשבים. הקורס ישמש גם כבסיס למשתלמים המעונינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור. סמסט א' תשע"ח: היבטים מערכתיים ברשתות תקשורת. סמסטר ב' תשע"ט: למידה חישובית ברשתות מחשבים. סמסטר ב' תש"ף: למידה חישובית ברשתות מחשבים.

Will not be given the year

Advanced Course in Which Current Topics in Computer Communication Networks Will Be Discussed. the Course Will Also Serve as a Basis for Student Interested in Carrying Out Thesis Research in the Field. Winter Semester 2017/2018: System Aspects of Communication Networks.

048848 **נושאים מתקדמים אלקטרואופטיקה 1** **מ. אורנשטיין** 2 ה'
(2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ"ב: תופעות והתקנים מבוססי הקשרים בין מכניקה קוונטית ופוטוניקה

שם עברי מקוצר: הקשרי קוונטים פוטוניקה

דרישות קדם: קורס במכניקה קוונטית וקורס באלקטרומגנטיות

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות ---

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)
לעולם הקוונטי המיוצג על ידי משוואות שרדינגר ולעולם הפוטוני-אלקטרומגנטי המיוצג על ידי משוואות מקסוול הקשרים רבים המאפשרים הבנת תופעות פיסיקליות ותכנון התקנים חדשניים בשני התחומים. נדון בהקשרים אלו ובישומיהם החל במשוואות שטרום ליוביל, הולכת גלים ובורות קוונטיים ומרחבי הילברט מחוזקים, מכניקה קוונטית ואלקטרומגנטיות לא הרמיטית, סימטרית זוגיות-זמן (PT), הדדיות (reciprocity) ומצבים טופולוגיים.

מקורות: מאמרים

תוצאות למידה:

7. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל להסביר ולתח מערכות קוונטיות ופוטוניות מורכבות.
8. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל לתכנן רכיבים ומערכות המבוססות על הקשרים מתורת הקוונטים והאלקטרומגנטיות
9. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יכיר בצורה עמוקה את הספרות המתקדמת הקשורה בהתקנים ותופעות שקושרות בין מכניקה קוונטית לאלקטרומגנטיות.

הרכב הציון: 2 סטים של תרגילי בית

שם הקורס באנגלית (עד 40 אותיות כולל רווחים - תרגום מדויק של השם העברי המלא אם אפשר)
Phenomena and devices based on quantum mechanics- photonics analogies.

English syllabus: עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד
Quantum mechanics – Shrodinger equation and photonics-electromagnetics – Maxwell equations, exhibit analogies the pave the way for novel physical effects and related devices. We will study rigorously those analogies and implications, strting from the Sturm Liouville equation, wave guiding and quantum wells, riggied Hilbert spaces, nonhermitian quantm mecanics- electromagnetics, paitiy ime symmetry, causality, reciprocity and topological states.

References: scientific articles

Study resuls:
1. The student will be able to explain and analyze complex related quantum/ photonics systems
2. The student will be able to design devices/ systems based on the analoges of Quntum mechanics and photonics.
3. The student will have familiarity of the literaure related to devices and phenomena based on quantum mechanics – photonics analogies.

Grade: 2 sets of homework questionairs.

048852 **מעבדה בהמרת אנרגיה** **י. לברון** 4מ', (2 נקודות)

חקר פעולת מקורות אנרגיה חדשים. בדיקת שדות מגנטיים וכוחות משיכה ודחיה הנוצרים על ידי מגנטים תמידיים. חקר ומפוי שדות מגנטיים. מדידות מיקרופרוססוריות במערכות הספק. הגנות מיקרופרוססוריות. בקרים ובקרה על תהליכים. בקרת מנועי זרם ישר וזרם חלופין באמצעות מישרים מווסתים. דמוי ספרתי של מערכות אלקטרומכניות.

048860 **עיבוד תמונות** **מ. פורת** 2 ה' (2 נקודות)

מקצוע קדם:
046200 - עיבוד וניתוח תמונות.
קורס רקע מומלץ:
046332 - מערכות ראייה ושמיעה.
מקצוע דומה:
236860 - עיבוד תמונות דיגיטלי

נושאי הלימוד:
1. מבוא, תכונות מערכת הראייה.
2. איפיון תמונות ואותות דו-מימדיים: יצוג, דגימה, כימוי.
3. התמרות (Karhunen-Loeve, DCT, DFT) ושימושיהן.
4. שיפור תמונות: טיפול בהיסטוגרמות, החלקה וחידוד.
5. שיטות שיחזור וסינון לתיקון אפקטים של חוסר מיקוד ותנועה (Motion Blur).
6. קידוד ודחיסת תמונות.
7. מבוא לאנליזה של תמונות וראייה ממוחשבת.

מקורות:

1. Jain A.K.: "Fundamental of Digital Image Processing" Englewood Cliffs, 1989. rec. 2065704.
2. Rosenfeld, A. and Kak, A.C.: "Digital Picture Processing". Academic .Press, 1976. rec. 2011772, 2nd ed. (1982). rec. 211293.
3. Pratt, W.K.: "Digital Image Processing". 2nd. ed. Wiley, 1991. rec. 217922.
4. Gonzalez, R.C. and Wintz, P.: "Digital Picture Processing". Addison-Wesley. 1977. rec. 217923, 2nd.ed. 1987. rec. 2032777.

048864 **נושאים מתקדמים בהנדסת מחשבים** — 2 ה'
בנושא: ארכיטקטורות ותכנון מאיצי רשתות נוירונים עמוקות — (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס הדן בנושאים מתקדמים במבנה, תכנון ואנליזה של מערכות מחשבים. הקורס ישמש גם כבסיס למשתמשים המעוניינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור. סמסטר ב' תש"ף: ארכיטקטורות ותכנון מאיצי רשתות נוירונים עמוקות.

Will not be given the year

Course Addressing Advanced Topics in Architecture, Design and Analysis of Computer Systems. the Course Will Also Serve as a Basis for Student Interested in Carrying Out Thesis Research in the Field.

048865 **נושאים מתקדמים בעיבוד אותות 2** — **ר. טלמון** — 2 ה'
(2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ"ב: למידה גאומטרית

דרישות קדם:
אין

סילבוס בעברית

מטרת הקורס היא להציג את ההיבטים האלגוריתמים והמתמטיים של למידה גאומטרית. דגש מיוחד יושם על תיאור אחוד של למידה גאומטרית רציפה ובדידה. לקורס שני חלקים עיקריים. החלק הראשון כולל את היסודות התיארטיים של למידה גאומטרית. החלק השני מתמקד באלגוריתמים ויישומים כגון אישכול, עיבוד אותות על גרפים, וניתוח צורות.

נושאי הלימוד:

ראה רשימת נושאים באנגלית.

מקורות:

1. *Numerical Geometry of Non-Rigid Shapes*, by A M Bronstein, M M Bronstein, R Kimmel, Springer, ISBN: 0387733000
2. *Numerical geometry of images: Theory, Algorithms, and Applications,* by R Kimmel Springer ISBN: 0387955623
3. *Differential Geometry of Curves and Surfaces* (2nd edition 2016), by M do Carmo, Prentice Hall, ISBN: 0132125897
4. *A Course in Metric Geometry*, by D Burago , Y Burago, and S Ivanov AMS
5. *Algebraic Graph Theory,* by Chris Godsil and Gordon Royle
6. *Networks: An Introduction,* by M. E. J. Newman
7. *Spectral Graph Theory,* by Fan Chung
8. Dan Spielman's "spectral graph theory" and "networks and graphs" course notes given at Yale University
9. Sandryhaila, Aliaksei, and José MF Moura. "Discrete signal processing on graphs." *IEEE transactions on signal processing* 61.7 (2013): 1644-1656.
10. Shuman, David I., et al. "The emerging field of signal processing on graphs: Extending high-dimensional data analysis to networks and other irregular domains." *IEEE signal processing magazine* 30.3 (2013): 83-98.
11. Y Aflalo, H Brezis, A Bruckstein, R Kimmel, N Sochen. "Best bases for signal spaces." *Comptes Rendus Mathematique* 354 (12), 1155-1167
12. H Brezis, D Gómez-Castro. "Rigidity of optimal bases for signal spaces." *Comptes Rendus Mathematique*, 2017, Elsevier
13. רשימת מאמרים עדכניים מהספרות השוטפת

תוצאות למידה:

10. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל להגדיר מושגי יסוד באנליזה ספקטרלית של גרפים ובגאומטריה דיפרנציאלית, ולהוכיח תכונות בסיסיות.
11. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל ליישם שיטות ללמידה גאומטרית.
12. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנט יהיה מסוגל לממש במטלב או פייתון אלגוריתמים מבוססי למידה גאומטרית לסינון, אשכול, פעפוע מידע, זיהוי אנומליות וניתוח מידע וצורות.

הרכב הציון:

הציון יקבע על סמך תרגילי בית ופרויקט.

נושא הקורס באנגלית

Geometric Learning

English syllabus:

Geometric learning is a fast-growing field in data analysis, computer vision and computer graphics. Its roots spread in classical areas such as differential geometry and harmonic analysis, while current applications involve contemporary topics such as deep learning, dimensionality reduction, and signal processing on graphs. The main purpose of this course is to introduce the fundamental theory of geometric learning, with special emphasis put on a unified perspective on both continuous and discrete analysis, as well as the emerging related applications.

Topics:

Part I - Theory

1. Continuous geometric learning:
    1. Differential geometry (curvature, 1st and 2nd fundamental forms)
    2. Metric geometry and intrinsic operators (gradient, divergence, Laplacian, geodesic distances)
    3. The Laplace-Beltrami operator (spectral analysis and geometry, heat equation, optimal basis for signals with bounded Dirichlet energy)
    4. Deep learning of geometric structures
2. Discrete geometric learning:
    1. The graph Laplacian
    2. Random walks and diffusion on graphs
    3. Spectral analysis of Laplacians and random walks (Rayleigh quotient, spectral gap, power method)
    4. Discretization (meshing, triangulation, Cotangent Laplacian, farthest point sampling)
3. Analogy between discrete and continuous geometric learning (convergence of Laplacians)

Part II - Applications

1. Signal processing on graphs
2. Spectral clustering (Fiedler's vector, Cheeger's inequality, conductance, NormalizedCut and RatioCut)
3. Embedding methods, dimensionality reduction, and manifold learning (MDS and (spectral) variants, ISOMAP, Laplacian eigenmaps, Generalized MDS)
4. Diffusion geometry (discrete and continuous) - diffusion maps, diffusion distance, heat kernel signature (shape signatures)
5. Metric learning and deep metric learning
6. Functional maps
7. PointNet, functional maps net, unsupervised and semi-supervised deep learning of unstructured (geometric) data.

Learning Outcomes:
Each student will be able to: 1. Define fundamental terms in spectral graph theory and differential geometry; 2. Apply geometric learning techniques to problems in high-dimensional data analysis and shape analysis; 3. Implement (in MATLAB/Python) algorithms for data embedding and dimensionality reduction and deep learning.

048866 236819	**נושאים מתקדמים ברשתות בין מחשבים**	**א. רוטנשטרייך**	2 ה' (2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ"ב: אתגרים אלגוריתמים ברשתות מחשבים ובלוקצ'יין

שם עברי מקוצר : אלגוריתמים ברשתות מחשבים ובלוקצ'יין

רקע: הקורס דן בבעיות מרכזיות ברשתות מחשבים ובלוקצ'יין בדגש על אלגוריתמים וכלים מתורת הגרפים.

דרישות קדם:
מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים (044268) או מבני נתונים 1 (234218) מומלץ
)לא (לא חובה(: רשתות מחשבים ואינטרנט 1 (044334) או מבוא לרשתות מחשבים (236334)

סילבוס בעברית
תכנון וניתוח אלגוריתמים לרשתות מחשבים. נדון בבעיות כמו : סיווג חבילות, ניתוב, שרידות, טופולוגיות רשת, בקרה ואיזון עמוסים, עדכונים עקביים, הדמיה והשמת פונקציות, שיתוף משאבים, מבני נתונים ושיטות קידוד, שימוש בלמידה לרשתות מחשבים. עקרונות רשתות בלוקציין, הוגנות, שבירות וערוצים משניים. נתמקד בכלים מתורת הגרפים כגון : זרימה וניתוב, צביעה, קיבוץ ותכנון טופולוגיות.
הקורס יועבר במתכונת משולבת של הרצאות וברובו כסמינר. סטודנטים יתבקשו להגיש פרויקטון גמר.

מקורות:
מאמרים מהספרות העדכנית

Varghese, George. Network Algorithmics. Elsevier, 2005. Narayanan, Arvind

et al. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction, 2016.

תוצאות למידה:
עם השלמת הסמינר בהצלחה, לסטודנט תהיה הכרות עם מגוון בעיות מרכזיות בתחום רשתות המחשבים והבלוקציין וכן כלים לתכנון אלגוריתמים להתמודדות איתן. הסטודנט יהיה מסוגל לנתח ולהבין את היתרונות והחסרונות של גישה מסוימת. הסטודנט יחשף בקורס לאבני בנין שיכולות לשמש בעתיד למענה לאתגרים חדשים.

הרכב הציון:
נוכחות והשתתפות 20%, מצגת 40%, פרויקטון 40%, ללא בחינה סופית

שם הקורס באנגלית

Algorithmic Challenges in Computer Networks and Blockchain

English Syllabus:
Design and analysis of algorithms for computer networks and blockchain. Topics: Packet classification, Routing, Survivability, Topologies, Congestion control and load balancing, Consistent updates, Virtualization and function assignment, Resource sharing, Data structures and coding methods, ML applications in computer networks. Fundamentals of blockchain networks. Fairness, Sharding and Off-chain channels. Focus on graph theory tools: Flow, routing, coloring, clustering and topology design.

Learning Outcomes:
Following the seminar, a student will be familiar with various major challenges in the area of computer networks and blockchain and will have tools for dealing with such challenges. The student will be able to analyze and understand the pros and cons of a particular approach. The student will be exposed to tools that can help in the future with new challenges in the field.

048867 **נושאים מתקדמים באלקטרו-אופטיקה 2** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה
קורס מתקדם באלקטרואופטיקה העוסק בנושאי מחקר מתחום מחקרו של המרצה.

Will not be given the year

Advanced Course in Electro-Optics. the Topics Will Be Chosen According to the Interest of the Instructor.

048870 **פיתוח נושאים בהנדסת חשמל 1, 2** (1 נקודה)
048871

לא יינתן השנה

044870 דרישות קדם: אישור המנחה ומרכז המקצוע. במסגרת המקצוע יפותחו נושאים מתקדמים בכל אחד מהשטחים המתפתחים והחדשניים של הפקולטה בהנחיתו האישית של חבר סגל. סטודנט במסלול מחקרי יוכל ללמוד את הקורס לכל היותר פעם אחת. סטודנט במסלול ללא תזה יוכל לקחת את הקורס יותר מפעם אחת ובלבד שיהיה מדובר בחברי סגל שונים.

044871 פיתוח נושאים בהנדסת חשמל״ 2,1. במסגרת המקצוע יפותחו נושאים מתקדמים בכל אחד מהשטחים המתפתחים והחדשניים של הפקולטה בהנחיתו האישית של חבר סגל.סטודנט במסלול מחקרי יוכל ללמוד את הקורס לכל היותר פעם אחת. סטודנט במסלול ללא תזה יוכל לקחת את הקורס יותר פעם אחת ובלבד שיהיה מדובר בחברי סגל שונים.

Will not be given the year

In This Course, Advanced Topics in Novel Areas in the the Department Will Be Developed Under the Individual Supervision of a Staff Member. the Course Is Intended for Students Who Are in the Initial Phases of Searching for a Research Subject and Do Not Yet Have a Research Thesis Supervisor. the Course Can Be Taken for One Semester Only in Each of the M.Sc. and D.Sc Study Programs.

048873 **<u>ראייה ממוחשבת</u>** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה.

הקורס ידון בנושאים הבאים: א. תאור יחסים בין אזורים ומבנה סימבולי של תמונה. ב. חלוקת התמונה בשיטות המבוססות על מציאת שפות וגידול אזורים. ג. תאור שפות ואזורים. ד. חישוב מאפייני oשל אזורים: מאפיינים גאומטריים, מאפייני בהירות, מאפייני מרקם. ה. סיווג והכרת צורות. ו. מיצוי מידע תלת-מימדי מתמונות ע"י שמוש בשקולים גיאומטריים פוטומטריים ואחרים

Will not be given the year

1. Introduction to Image Analysis and Computer Vision.
2. Segmentation and Edge Detection, Region Description and Shape Analysis. Texture.
3. Extraction of 3-D Information from Images by Geometric and Photometric Methods.

לא יינתן השנה

מערכות מחשבים מקבילים ומרובי מעבדים, רשתות קישור במחשבים, אלגוריתמים מקבילים, חקר ביצועים של מערכות - אנליזה וסימולציה, רשתות תורים. שפות למחשבים מקביליים. מצוי מקביליות מתכניות סדרתיות.

Will not be given the year

Parallel and Multiprocessors, Interconnection Networks, Parallel Algorithms, Performance Evaluation - Analysis, Simulation, Queueing Networks.

048876	**נושאים ברשתות תקשורת בין מחשבים 3**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בו יידונו נושאי מחקר שוטפים בנושאי תקשורת בין מחשבים. הקורס ישמש גם כבסיס למשתלמים המעונינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור. סמסטר א׳ תשע״ט: ספירה הסתברותית ברשתות. סמסטר א׳ תש״ף: ספירה הסתברותית ברשתות.

Will not be given the year

Advanced Course in Which Current Topics in Computer Communication Networks Will Be Discussed. the Course Will Also Serve as a Basis for Student Interested in Carrying Out Thesis Research in the Field.

048877	**מעבדה לתכנה וחומרה**	**מורי השטח**	4 מ׳ (2 נקודות)

מקצועות קדם:

234218 - מבני נתונים.
046267 - מבנה מחשבים ספרתיים.
236315 - מערכות הפעלה או הסכמת המורה.

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לבצע פרוייקטים בתחום של מחשבים לאחר למוד מקצועות הקדם ומקצועות אחרים (בלימודי הסמכה/מוסמכים) אשר יקבעו על פי הנושאים שיוצעו. הפרוייקטים יהיו הן בתחום של מערכות חמרה (Hardware) ו/או מערכות תכנה.

048878	**ארכיטקטורות VLSI**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

השפעת טכנולוגית ה vlsi-על ארכיטקטורה של מחשבים. תכנון בעזרת מחשב של מערכות .vlsi ארכיטקטורות חדשות עבור מעבד יחיד ורב מעבדים, מערכים של מעבדים ושימושיהם, אריכטקטורות לשימושים מיוחדים, שאלות אמינות ו.yield-

Will not be given the year

The Impact of Vlsi Technology on Computer Architecture, Computer-Aided Design of Vlsi Systems, New Architectures for Single and Multiple Processor Systems, Processor Arrays and Applications, Special-Purpose Architectures, Fault-Tolerance and Yield Issues.

048879	**סמינר בארכיטקטורות VLSI**	**ש. קוטינסקי**	2 ה׳ (2 נקודות)

דרישות קדם:

046265 - ארכיטקטורות ומעגלים בשילוב ממריסטורים
או
048864 – נושאים מתקדמים בתכנון מחשבים 2 (תכן מעגלים וארכיטקטורות מבוססי ממריסטור)

נושא הקורס בתשפ"ב: ארכיטקטורות מתקדמות בשילוב עם ממריסטורים.

סילבוס

במסגרת הקורס יוצגו מאמרים הנוגעים לארכיטקטורות VLSI המשלבים טכנולוגיות שונות ובפרט CMOS וממריסטורים. ארכיטקטורות זיכרון ועיבוד והשילוב ביניהן בארכיטקטורות פון נוימן ובמכונות שאינן פון נוימן, רשתות נוירונים ומחשבים אנלוגיים.

מקורות:

מאמרים מהספרות השוטפת.

048884 סמינר בארכיטקטורות לחישוב מקבילי — 2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

סקירה ביקורתית והשוואתית של פרסומים עדכניים בתחום של ארכיטקטורות לחישוב מקבילי. התמקדות במעבדים מרובי-ליבות על שבב. במסגרת הסמינר יכין כל משתתף שתי הרצאות סמינריוניות של סקירת מאמרים וביקורת עליהם.

תוצאות למידה

בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:

1. לחפש ולמצוא מאמרים רלבנטיים מהספרות השוטפת.
2. לסקור מאמרים באופן ביקורת והשוואתי.
3. לגבש דעה לגבי חדשנות במאמר, שאלות המחקר, שיטות המחקר והתאמתן לשאלות המחקר, דרך הצגת המחקר במאמר, שימוש נכון בגרפים ושרטוטים, בהירות ההצגה, השוואה לעבודות קודמות, וחוסרים במאמר.

Will not be given the year

Survey and Criticism of Recently Published Scientific Papers in the Area of Parallel Computing Architecture, Focusing on Many Cores. Each Student Will Prepare and Present Two Seminar Lectures Describing, Comparing and Criticizing Several Papers. Upon Completion of This Course the Student Will Be Able to:

1. Search and Find Relevant Papers in Current Literature.
2. Study Papers in Critical and Comparative Manners.
3. Form Opinions About Novel Resrarch Questions, Proper Use of Figures and Charts, Clarity, Comparison to Previous Work, and Defficiencies in Papers.

048885 נושאים מתקדמים בהנדסת מחשבים — 2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס הדן בנושאים מתקדמים בהנדסת מחשבים סמסטר א' תשע"ח: ארכיטקטורות חומרה ותכנה בעידן ללא cmos scaling. סמסטר א' תש"ף: מושג הזמן ושימושיו ברשתות מחשבים ובמערכות מבוזרות. סמסטר ב' תש"ף: אמינות של תוכנה המבוססת על למידה עמוקה.

Will not be given the year

The Course Will Survey the Main Technological Developments in Computer Engineering.

048886	**סמינר במערכות מחשב**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

הקורס יסקור מאמרים נבחרים בתחום הנדסת מערכות מחשב, הן כאלה מחזית המחקר והן כאלה הנחשבים קלאסיים. דגש יושם על התייחסות למחשב כמערכת הכוללת רכיבי חומרה ותוכנה רבים ועל יחסי הגומלין ביניהם. ייקראו, ינתחו ויציגו מאמרים מהכנסים המובילים בתחום כגון sosp,osdi,pldi,pact,hpca micro,isca

תוצאות למידה
עם השלמת הקורס בהצלחה:
1. הסטודנט יחשף למאמרים בחזית המחקר בתחום.
2. הסטודנט יתנסה מלמידת מאמר מחקרי לעומק והצגתו בפני קהל.
3. הסטודנט יתנסה בקריאה ביקורתית של מאמרים.

Will not be given the year

The Course Will Explore Both Cutting Edge and Classic Research in Computer Systems Design. the Course Will Focus on Both Hardware and Software Components and Their Interplay. the Students Will Read Analyze and Present Research Papers from the Leading Venues in the Outcomes: at the End of the Course the Students:
1. Will Be Exposed to Cutting Edge Research Papers in the Field.
2. the Students Will Experience Studying a Research Paper and Presenting It in Class.
3. the Students Will Experience a Critique Read of Research Papers.

048887	**מבוא למחקר הפקולטי**	1 ה׳, 0 ת׳ (1 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס להכיר לסטודנטים השוקלים תואר מחקרי את תחומי המחקר בפקולטה ולעזור להם לבחור תחום מחקר עתידי. במסגרת הקורס יינתנו בכל שבוע שתי הרצאות קצרות ע״י חברי סגל מהפקולטה. ההרצאות יסקרו נושאים בחזית המחקר של חברי הסגל. הקורס מיועד לסטודנטים בשנה הראשונה של התואר השני שטרם הגישו הצעת מחקר, ולסטודנטים מצטיינים בשנה האחרונה של התואר הראשון.
לאחר ההרצאות יתקיים מפגש שאלות ותשובות עם חברי הסגל שהרצו באותו שבוע, לתארים גבוהים בתחום יוזמנו להצטרף למפגש.

תוצאות למידה
הקורס יחשוף את הסטודנטים למגוון תחומי המחקר בפקולטה.

Will not be given the year

The Class Objective Is to Introduce the Departmental Researchelds Fields to Students Who Consider a MSc Degree in the Electricalering Engineering Department, and Help Them Choose Their Own Futureeld. Research Field. Every Week, Two Departmental Faculty Members Willures Give Short Lectures Overviewing the Topics at the Forefront of Theire Research Fields. the Lectures Will Be Followed by a Q-a Session with the Lecturers. the Course Is Intended for Students in the First Year of Their MSc, Before Submitting a Research Proposal, as Well as Excellent Students in the Last Year of Their BSc.

The Class Will Introduce Students to the Variety of Research Topics in the Electrical Engineering Department.

048888	**פרוטוקולי בלוקצ׳יין ומטבעות קריפטוגרפיים**	**א. אייל**	2 ה׳ (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: בלוקצ׳יין ומטבעות קריפטוגרפיים

דרישות קדם:

מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים או

מבני נתונים (מדמ״ח)

סילבוס בעברית

מטבעות קריפטורגפיים ממומשים בדרך כלל על ידי רשת p2p בעזרת פרוטוקולי בלוקצ׳יין. התכונות וההבטחות של פרוטוקולים אלה משיגות אבטחה חסרת תקדים על ידי שילוב טכניקות מתורת המשחקים, מערכות מבוזרות, וקריפטוגרפיה. הארכיטקטורה שלהם מעלה מגוון שאלות וחושפת אתגרים בתחום האבטחה, הפרטיות והביצועים. בקורס יילמדו כלים לתכן וניתוח פרוטוקולי בלוקצ׳יין וכן תוצאות קלאסיות ועכשוויות בתחום: פונקציות ערבול, סכמות חתימה והצפנה, קונצנזוס במודל סינכרוני/אסינכרוני, שרשראות מרקוב, תכן מערכת, סימולציה מבוססת אירועים, בלוקצ׳יין בסיסי, טרנזקציות וחוזים חכמים, הוכחת עבודה (PoW), הוכחת השקעה (PoS), מטבעות קריפטוגרפיים קלאסיים, בלוקצ׳יין מהיר, התקפה והגנה בבלוקצ׳יין, פרטיות.

תוכנית הלימוד לפי שבועות (לא מחייב):

1. מבוא –בלוקצ׳יין ומטבעות קריפטוגרפיים
2. סימולציה מבוססת אירועים (event-driven) – עקרונות ומימוש (לטובת תרגיל רטוב)
3. פונקציות ערבול (hash) – מודל random oracle, מימוש, מבני נתונים, אופטימיזציה ב-PoW.
4. סכמות חתימה והצפנה – RSA, EC
5. –״–
6. חוזים חכמים – טרנזקציות Bitcoin ומודל UTXO
7. חוזים חכמים – Ethereum Virtual
8. קונצנזוס בבלוקצ׳יין עם PoW – מודל נקמוטו לעומת מודלים קלאסיים
9. תמריצים והתקפות בבלוקצ׳יין
10. אלגורתמי בלוקצ׳יין מתקדמים – NG, Hybrid, Byzcoin, Solida
11. בלוקצ׳יין ללא PoW – PoS, Permacoin
12. בלוקצ׳יין מורשה Hyperledger Fabric (permissioned)
13. פרטיות – מערבלים והוכחות zero-knowledge

מקורות:

6. Narayanan, Bonneau, Felten, Miller, Goldfeder, Clark. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies. Princeton. 2016
7. Antonopoulos. Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies. O'Reilly Media. 2014

8. מאמרים מן הספרות המקצועית

תוצאות למידה:
הכרות עם הכלים הדרושים לתכן ולניתוח פרוטוקולי בלוקצ'יין ומטבעות קריפטוגרפיים והיכרות עם חזית הטכנולוגיה בתחום. לאחר הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:

1. לנתח אבטחה ופרטיות של פרוטוקול בלוקצ'יין
2. לנתח ולדמות ביצועים של פרוטוקולי בלוקצ'יין בפרט וקונצנזוס בכלל
3. לתכנן מערכת בלוקצ'יין, על כל שכבותיה

הרכב הציון: תרגילי בית יבשים ורטובים.

שם הקורס באנגלית: Blockchain and Cryptocurrency Protocols

English syllabus:

Sources:

6. Narayanan, Bonneau, Felten, Miller, Goldfeder, Clark. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies. Princeton. 2016
7. Antonopoulos. Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies. O'Reilly Media. 2014
8. Recent academic publications

Learning Outcomes:
...

Grading:
Dry and wet assignments.

048889 סמינר בלמידה חישובית ברשתות מחשבים י. קסלסי 2 ה' (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: למידה ברשתות

מקצועות קדם:
044334 רשתות מחשבים ואינטרנט 1 ו-
046195 מערכות לומדות
או קורסים דומים.

סילבוס בעברית:
קורס מתקדם בנושאי מחקר עדכניים הקשורים ללמידה חישובית ברשתות מחשבים. הקורס יכסה מאמרים חדשים בכנסים של רשתות ולמידה.
הנושאים כוללים למידה ואופטימיזציה למגוון יישומים ברשתות, כגון ניתוב, בקרת עומסים, תיזמון חבילות, ערבול, ומסנני בלום.
הקורס מתאים גם לסטודנטים בהסמכה השוקלים לימודים לתארים מתקדמים ברשתות ובלמידה חישובית.

מקורות:
מאמרים נבחרים חדשים בכנסים של רשתות ולמידה.

תוצאות למידה:
(א) הבנת יסודות המחקר בלמידה חישובית ואופטימיזציה לרשתות מחשבים ; (ב) היכרות עם ספרות עדכנית ; ו-(ג) רכישת מיומנויות הרצאה מדעית.

הרכב הציון:
הציון יהיה מבוסס על הצגת מאמר בכיתה, על פרויקט מחקרי עם מימוש של אלגוריתם למידה, ועל השתתפות פעילה.

שם הקורס באנגלית:

Machine Learning for Computer Networks

English syllabus:
Advanced course dealing with current research topics in machine learning for computer networks. The course will cover recent papers in networking and machine-learning conferences.

The topics include machine learning and optimization for a wide range of networking applications, such as routing, congestion control, packet scheduling, hashing, and Bloom filters.

The course also fits undergrad students who are considering grad studies in networking and in machine learning.

Learning Outcomes:
(a) Familiarity with the research approach in machine learning and optimization for computer networks; (b) Familiarity with the current literature; and (c) Acquisition of scientific presentation skills.

048890 **סמינר בהבטחת נכונות של למידה עמוקה** **ד. דרקסלר כהן** 2 ה' (2 נקודות)

שם מקוצר: נכונות של למידה עמוקה

מקצועות קדם:
אין

סילבוס בעברית:
רשתות נוירונים הראו הצלחות מסחררות במגוון תחומים. במקביל, השנים האחרונות הראו את הקלות בה ניתן לשטות ברשתות נוירונים על ידי מתקפות שיוצרות דוגמאות אדברסליות. התקפות כאלו חותרות תחת האמינות של מערכות המבוססות למידה עמוקה. בסמינר זה נלמד על מתקפות אלו ועל דרכי ההתמודדות איתן. בפרט נלמד:

- שיטות להוכחת עמידות (רובסטיות) של רשתות נוירונים בפני התקפות אדברסליות.
- שיטות אימון של רשתות נוירונים שמתבססות על שיטות הוכחה פורמליות במטרה לשפר את רמת העמידות של רשת נוירונים.
- שיטות להבנת העמידות של רשתות נוירונים.

אנו נתרכז בשיטות מעשיות, נלמד על כלים המממשים אותן, ועל המגבלות הנדרשות משיטות אלו על מנת לנתח רשתות נוירונים עמוקות. כמו כן נדון בבעיות מחקריות פתוחות. הסמינר יתבסס על מאמרים מכנסים מובילים.

מקורות:
מאמרים מכנסים מובילים בתחום של הבטחת נכונות של למידה עמוקה.

דוגמאות למאמרים שיכוסו בסמינר:

1. AI2: Safety and Robustness Certification of Neural Networks with Abstract Interpretation. Timon Gehr, Matthew Mirman, Dana Drachsler-Cohen, Petar Tsankov, Swarat Chaudhuri, Martin T. Vechev. IEEE S&P 2018.
2. Certify or Predict: Boosting Certified Robustness with Compositional Architectures. Mark Niklas Müller, Mislav Balunovic, Martin Vechev. ICLR 2021.
3. DL2: Training and Querying Neural Networks with Logic. Marc Fischer, Mislav Balunovic, Dana Drachsler-Cohen, Timon Gehr, Ce Zhang, Martin Vechev. ICML 2019.

תוצאות למידה:
3. למידת שיטות מעשיות להבטחת נכונות של למידה עמוקה.
4. הכרת האתגרים המחקריים כיום בהבטחת נכונות של למידה עמוקה.

הרכב הציון:
הציון יתבסס על הצגת המאמר והשתתפות פעילה.

שם הקורס באנגלית:

Seminar in Correctness Guarantees for Deep Learning

English Syllabus:
Neural networks have shown tremendous success in many domains. At the same time, recent years have shown the simplicity in fooling neural networks by adversarial example attacks. These attacks undermine the reliability of deep learning-based systems. In this seminar, we will learn about these attacks and how to deal with them. In particular, we will learn:

- Methods for proving robustness of neural networks to adversarial attacks.
- Training methods that leverage formal methods with the goal of improving the neural network's robustness.
- Methods for understanding the robustness behavior of neural networks.

We will focus on practical methods, will study tools that implement them, and learn the limitations required to make these methods capable of analyzing deep networks. We will also discuss open research questions. The seminar will cover papers from leading conferences.

Learning Outcomes:
1. Learning practical methodologies to guarantee correctness of deep networks.
2. Familiarity with the current research challenges in guaranteeing correctness of deep networks.

048891	**אבטחת מערכות חומרה- מתיאוריה להתנסות**	**א.מנדלסון**	2 ה' (2 נקודות)

דרישות קדם:

- **046267 - מבנה מחשבים או 234267 - מבנה מחשבים ספרתי.**
- **044147 - מעגלי מיתוג אלקטרוניים (מומלץ)**
- **104034 - מבוא להסתברות ח**

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)

בשנים באחרונות , עם חדירת השימוש במחשב לכל תחומי חיינו (גם ללא רצוננו) הופך נושא הבטחת המערכות לנושא חשוב הן מהבחינה המחקרית והן מהבחינה היישומית. הקורס המוצע נועד ללמד

ולחקור היבטים שונים של אבטחת מערכות באמצעות חומרה ייחודית החל מהאספקטים התאורטיים שלהם וכלה בהתנסות שיטות הגנה והתקפה שונות.
דגש מיוחד יינתן בקורס על שימוש של התקפות מסוג ערוצי צד. לצורך לימוד הנושא, נשתמש בערכות התנסות ייחודיות אשר יאפשרו לסטודנטים לבחון את שיטות התקפה והגנה שונות ומתקדמות באופן מעשי.
מטרת הקורס להסביר את הצדדים התאורטיים והמעשים של טכניקות התקפה והגנה מתקדמות. הקורס יעמיק גם באמצעים עדכניים של הגנת מערכות מחשוב באופן שגורמים לא מורשים לא יוכלו, או יקשה מאוד עליהם, לשלוף מידע או להשפיע על התנהגות המערכת

פרקי לימוד מפורטים מצויים בחלק באנגלית

<u>מקורות:</u>

Textbooks

- Paar C, Pelzl J. Understanding cryptography: a textbook for students and practitioners. Springer Science & Business Media; 2009 Nov 27. Debdeep Mukhopadhyay and Rajat Subhra Chakraborty: "Hardware Security: Design, Threats, and Safeguards", 2014
- Mukhopadhyay D, Chakraborty RS. Hardware security: Design, threats, and safeguards. CRC Press; 2014 Oct 29.
- Bhunia S, Tehranipoor M. Hardware security: a hands-on learning approach. Morgan Kaufmann; 2018 Oct 30.
- Papers

<u>תוצאות למידה:</u>

בסוף הקורס תבין הסטודנטית את הסכנות והאפשרויות לגנבת סודות ממערכות אשר אינן מוגנות היטב, מה הם אמצעי החומרה הקיימים אשר נועדו לעזור במיגון מערכות מחשב, כיצד לנצל אותם באופן המיטבי. הקורס יאפשר לסטודנטים לתרגל באופן מעשי שיטות התקפה מסוג "שימוש בערוצי צד" ולהיחשף לנושאי מחקר עדכניים הנמצאים בחזית המחקר בתחום ובכך לעודד משתלמים לחקור את התחום במסגרת עבודת מגיסטר או דוקטור.

<u>הרכב הציון:</u>

60% -- 2-3 עבודות בית, לפחות אחת מהן עבודה מעשית
40% -- הרצאה סמינריונית + עבודה מחקרית קטנה המתאימה להיקף הקורס

<u>שם הקורס באנגלית</u>

Hardware Security – from theory to practice

<u>English syllabus:</u>

The course focuses on Hardware methods for building secure system and of attacking them. A special emphasus is given to "side channel attacks"; we will learn the theory of uing such attachs as well as experiencing how these methods work, using a dedicated education kits. The course will also cover recent research results of protecting advanced sysems as well as attacking them. We will cover the following subjects:

	Class	Tirgul	Homework	comments

1	**Introduction**	Basics of Statistics		
2	**Cryptography – basic notations**	Galua fields and Polynomial calculations	Implementation of AES	
3	**Side Channel attacks -- timing and SPA attacks**	How to measure timing (and performance counters at runtime		
4	**DPA + countermeasures**	DPA of AES	Synthetic DPA attack	
5	**Template attacks**	Noise		
6	**Fault Injection**	Example	DPA on real-systems	Based on traces that we will provide
7	**Architecture related attacks**	Cache structure		
8	**Memory related issues**	Rehash Verilog	Cache attack on real system	
9	**Hardware Trojan**	Hardware development		
10	**Reverse Engineering and Hardware Security**	HAL tool	Simple example on HAL (and maybe Dana)	HAL is a tool that "convert" Verilog to graphs and allow doing reverse engineering to that graph
11	**AI and Graph similarities and reverse engineering**	Dana		Dana is a plug-in to HAL that uses finding "structures" such as registers out of netlist
12	**PUFs and TRNG**	countermeasures	Selection of final project	I think that for this kind of courses, it is better to give a final project to replace the final example
13	**Secure boot and system**	Summary		

046xxx Hands-on Hardware Security --- Course proposal
Prof. Avi Medelson

Since other courses in the department are already covering different aspects of system level of security, this course aims to focus the hardware design and implementation level.
I built the course as an hands-on course so I think that a final project will serve the purpose of the course better, although a final test (40-50%) is possible

Learning Outcomes:
The main goal of the course is to teach the students and to allow them hands-on experience of

- What is Hardware security and why it is needed.
- The use of side channel attacks and how to protect against it
- The best known methods of implementing Hardware security technique
- The use of existing means; e,g., SGX (Intel), TrustZone (ARM)

The course also aims to motivate students to do research in this important area

במסגרת הקורס יועברו נושאים מתקדמים במיקרואלקטרוניקה, לפי בחירת המרצה. סמסטר א׳ תשע״ח: תחמוצות פונקציונאלית למיקרואלקטרוניקה.

Will not be given the year

The Course Will Include Advanced Topics in Microelectronics, According to the Instructor׳S Choice.

048905 אופטיקה לא-לינארית ושימושיה — 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קיטוב וסוספטיבליות לא לינאריים (בעיקר תיאור מקרוסקופי) התפשטות גלים ומשוואות הגל הצמודות בתווך לא ליניארי, ערור-הרמוניה שניה וגבוהות יותר באופטיקה. בעית תיאום הפאזה ופתרונות שונים, מיקוד עצמי, האפקטים האקוסטו, מגנטו ואלקטרו אופטיים, פיזורי רמן וברילואן (מאולצים), הגברה ואוסילציה פרמטריים, אי-לינאריות במנחי גל, סיבים אופטיים ולייזרים, מושגים של אופטיקת צימוד המופע ושימושיה בתיקון מעוותי פאזה ובלייזרים.

Will not be given the year

Nonlinear Susceptibility and Polarization, Wave Propagation in Nonlinear Media, Coupled Wave Equations, Second and Higher Harmonics Generation in Optics, the Problem and Solutions of Phase Matching, Self-Focusing the Acousto, Magneto and Electro-Optic Effects, Raman and Brilloin Stimulated Scattering, Parametric Amplification and Oscillation, Nonlinearities in Wave Guides, Fibers and Lasers. Basic Concepts of Phase Conjugate Optics and Its Applications in Correction of Phase Distortion and in Lasers.

048907 אופטיקה דיפוסיבית ויישומיה בדימות ביו-רפואי — **א. רוזנטל** — 2 ה׳, 0 ת׳ (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: אופטיקה דיפוסיבית

דרישות קדם:

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות

114210 אופטיקה

או

336533 יסודות אופטיקה ופוטוניקה ביו-רפואית

או

044246 גלים ומערכות מפולגות.

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)

הקורס יציג את היסודות הפיסיקליים של התפשטות אור ברקמה ויסקור שיטות עדכניות אשר מאפשרות דימות אופטי בסקלות עומק שונות. הדגש יינתן בעיקר על שיטות דימות טומוגרפיות בסקלות עומק בהן האור דיפוסיפי לחלוטין. הקורס יסקור יישומים עדכניים בעיקר בתחומי הביולוגיה והרפואה.

רשימת נושאים:

1) פיזור אור מחקלקיקים קטנים
2) התקדמות אור ברקמה: מודלים וכלי סימולציה
3) שיטות בליסטיות לדימות אופטי

4) שיטות דיפוסיביות לדימות אופטי

5) שיטות משולבות לדימות אופטי

מקורות:

1) L. V. Wang, "Biomedical optics: Principles and imaging," Wiley-Interscience (May 29, 2007).

2) A. Mandelis, "Diffusion-wave fields: Mathematical methods and green functions," Springer (June 27, 2001).

3) J. R. Lorenzo, "Principles of Diffuse Light Propagation: Light Propagation in Tissues with Applications in Biology and Medicine," World Scientific Publishing Company; 1 edition (March 26, 2012).
4) A. Rosenthal *et al.,* "Acoustic inversion in optoacoustic tomography: a review," Current Medical Imaging Reviews, Vol. 9, 2013.
5) P. Mohajerani, *et al*., "Optical and optoacoustic model-based tomography: theory and current challenges for deep tissue imaging of optical contrast," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 32, 2015.

תוצאות למידה:
בסיום הקורס הסטודנט ידע:

1. את העקרונות הפיסיקליים של התפשטות אור ברקמה
2. מודלים האנליטיים והנומריים הנפוצים בתחום.
3. לנתח את היתרונות והחסרונות של שיטות הדימות השונות ויוכל להסביר את מקור ההבדלים.

שם הקורס באנגלית

Diffuse optics and its application in biomedical imaging

English syllabus:

The course will present the foundations of light propagation in tissue and review current optical imaging techniques which enable tissue visualization at several scales of depth. Special attention will be given to tomographic approaches for imaging depths in which light is completely diffusive. The course will review current applications of diffuse light mostly in the fields of biology and medicine.

Specific topics:

1) Light scattering by small particles
2) Light propagation in biological tissue: Models and simulation tools
3) Baslistic techniques in optical imaging
4) Diffusive techniques in optical imaging
5) Hybrid techniques in optical imaging

Learning Outcomes:

At the end of the course the students will be
1. familiar with the physical underpinnings of light propagation in biological tissue
2. familiar with the analytical and numerical techniques used in the field.
3.capable of analyze the advantages and disadvantages of the various imaging techniques and will know how to the origin of the differents .

048908	**נושאים מתקדמים במיקרואלקטרוניקה 2**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

במסגרת הקורס יועברו נושאים מתקדמים במיקרואלקטרוניקה, לפי בחירת המרצה. סמסטר א׳ תשע״ח: חיישני תמונה תכן והתקנים.
סמסטר ב׳ תשע״ט: תחמוצות מפיזיקה להתקנים.
סמסטר ב׳ תש״ף: צינוריות פחמן, גרפן וחומרי ואן דר-ואלס דו מימדיים.

Will not be given the year

The Course Will Include Advanced Topics in Microelectronics, According to the Instructor'S Choice.

048912	**תכן מודרני של מערכות בקרה**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס זה מסכם את השיטות החדשות לתכנון בקרה למערכות לינאריות. נציג ונבקר את השיטות הבאות:
1. סקירה של תכנון ו- lqg/ltr lqg lqr - h2.:
2. h וסינתזה u - h עם אילוצים.:
3. l 1 וסינתזה 1 l למערכות עם אי-ודאות.:

Will not be given the year

In This Course Some New Techniques for the Design of Controllers for Linear Systems Are Summarized. the Following Methods Are Introduced and Criticized:
1. Review of Design Lqg, Lqr and Lqg/Ltr - H .
2. Hand - Synthesis - H with Constraints.
3. and Synthesis for Uncertain Systems.

048918	**אלגוריתמים לעריכת ובדיקת מעגלים משולבים**	2 ה׳ (2 נקודות)

הקורס הוחלף בקורס מספר 046918.

048921	**נושאים מתקדמים בראיה, מבנה תמונות וראיה ממוחשבת 1**	2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בתחום מדעי התמונה והראייה העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה.
סמסטר א׳ תשע״ח: אתגרים בראייה ממוחשבת לצורך מציאות מדומה ורבודה. סמסטר א׳ תשע״ט: צילום חישובי. סמסטר א׳ תש״ף: צילום חישובי.

Will not be given the year

An Advanced Course in Image and Vision Sciences Which Deals with Topics in the Area of Interest of the Instructor.

048922	**מעבדה בראייה, מבנה תמונות וראייה ממוחשבת**	**מורי השטח**	4מ׳ (2 נקודות)

מקצועות קדם:
048860 - עיבוד תמונות.
046326 - מבוא לאותות ביולוגיים.
מקצועות מומלצים:
048873 - ראייה ממוחשבת.
236501 - מבוא לאינטליגנציה מלאכותית.
236502 - זיהוי צורות.
046332 - מערכות ראייה ושמיעה.
044345 - עיבודים גרפיים במחשב
048921 - נושאים נבחרים בראייה מבנה תמונות וראייה ממוחשבת.

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לבצע פרוייקטים בעלי זיקה למערכת הראייה, מבנה תמונות זיהוי צורות ולהבטים שונים של ראייה ממוחשבת. הפרוייקטים יבוצעו בהדרכת חבר סגל בכיר ויהוו צעד ראשון לקראת עבודות מגיסטר בתחום.

מקורות:
1. Ballard, D.H. and Brown, C.M.: "Computer Vision". Prentice-Hall, 1982. rec. 213034.
2. Marr, D.: "Vision". Freeman, 1982. rec. 211377.
3. Serra, J.: "Image Analysis and Mathematical Morphology". Academic Press, 1982, 1984. rec. 208825.

מאמרים מהספרות השוטפת במיוחד בעיתונים: IEEE PAMI. Biological Cybernetics ו- J. Opt. Soc. Am.

048923	**סמינר במיקרואלקטרוניקה**	2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

במסגרת זו יינתנו סמינרים בנושאים שונים מתחום המחקר של המרצה.

Will not be given the year

In This Course Various Seminars Will Be Given According to the Interest of the Instructor.

048926 **(חדש)**	**נושאים מתקדמים בעיבוד תמונות**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בתחום עיבוד תמונות העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה.

Will not be given the year

An Advanced Course in Image Processing Which Deals with Topics in the Area of Interest of the Instructor.

048929	**עיבוד אותות מסתגל (אדפטיבי)**	**א.פוייאר**	2ה׳ (2 נקודות)

מקצועות קדם:
044202 – אותות אקראיים.
044198 - מבוא לעיבוד ספרתי של אותות.

הנושאים שיידונו בקורס זה הם: אלגוריתמים אדפטיביים עבור מסננים עם תגובת הלם באורך סופי, אלגוריתם ה -RLS ומבנה ה -Lattice וסינון אדפטיבי במישור התדר..
דגש יושם על אלגוריתם ה -LMS, ניתוח ביצועיו ותנאים להתכנסותו כאשר התוצאות שיוצגו הן החדישות ביותר בספרות. חלק ניכר בקורס יוקדש לתיאור יישומים של המסננים האדפטיביים בשטחים שונים בתקשורת ועיבוד אותות.

מקורות:

1. Haykin, S. Adaptive Filter Theory. 4th ed. Prentice-Hall, 2002.
   s.n. 2239459 – 4th ed., 2002.
   s.n. 2169895 – 3rd ed., 1996.
2. Adaptive Filters. Edited by Cowan, C.F.N. and Grant, P.M. Prentice-Hall, 1985.
   s.n. 2000227
3. Widrow, B. Adaptive Signal Processing. Prentice-Hall, 1985. s.n. 2001139.
4. Honig, M.L. Adaptive Filters: Structures, Algorithms, and Applications. Kluwer Academic Publishers, 1984. s.n. 52620.
5. Sayed, Ali H. Fundamentals of Adaptive Filtering. Wiley, 2003. s.n. 2279866.

048930	**נושאים מתקדמים באלקטרואופטיקה**	(3 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם באלקטרואופטיקה העוסק בנושאי מחקר מתחום מחקרו של המרצה. סמסטר א׳ תשע״ט: אלקטרודינמיקה קוונטית ויישומיה באינטרקציות אור - חומר ואלקטרואופטיקה.

Will not be given the year

Advanced Course in Electro-Optics. the Topics Will Be Chosen According to the Interest of the Instructor.

048931	**מידות אינפורמציה ושימושיהן**	**י.ששון**	2 ה׳ (2 נקודות)

הקורס התפתח במסגרת מתן קורס ״נושאים מתקדמים בתקשורת ותורת האינפורמציה״ בסמסטר אביב 2015-2016 ובסמסטר אביב 2016-2017.

מקצועות קדם:
046733- תורת האינפורמציה

סילבוס:
הקורס המוצע הינו קורס העוסק בהעמקה במידות אינפורמציה מוכללים, הדגמת שימושיהן במגוון בעיות בתורת האינפורמציה, וההסקה הסטטיסטית.

נושאי הלימוד: הנושאים שיכוסו בקורס הם:

1- מידות אינפורמציוניות ואי-שיוויונים בתורת האינפורמציה: חזרה על מידות אינפורמציה ואי-שיוויונים בסיסיים, הכרת מידות אינפורמציוניות מוכללות וטכניקות הוכחה חדשות, הכרת שימושי מידות אינפורמציה אלו במגוון בעיות בתחום תורת האינפורמציה והתקשורת.
2- אי-שיוויונים של ריכוז מידות (concentration of measure inequalities) - שיטת האנטרופיה, אי-שיוויונים מסוג log-Sobolev ו transportation-cost המוכחים עם כלים אינפורמציוניים, ושימושים בתורת האינפורמציה.

תוצאות למידה: העמקת לימוד של מידות אינפורמציה, ושימושיהן המגוונים בתורת האינפורמציה ובתורת ההסקה הסטטיסטית. לימוד אי- שיוויונים של ריכוז מידות, גישות הוכחה שמבוססות על תכונותיהן של מידות אינפורמציה, והכרת שימושיהן בתורת האינפורמציה.

מקורות:

1) T. M. Cover and J. A. Thomas, *Elements of Information Theory*, John Wiley & Sons, second edition, 2006.

2) I. Csiszar and P. C. Shields, *Information Theory and Statistics*, Foundations and Trends in Communications and Information Theory, vol. 1, no. 4, 2004.

3) S. Boucheron, G. Lugosi, and P. Massart, *Concentration Inequalities – A Nonasymptotic Theory of Independence*, Oxford University Press, 2013

4) M. Raginsky and I. Sason, *Concentration of Measure Inequalities in Information Theory, Communications and Coding*, Foundations and Trends in Communications and Information Theory, vol. 10, no. 1-2, pp. 1-249, second edition, October 2014.

S. Verdu, *Information Theory*, Princeton Press, to appear in 2019

048933 מעבדה בתקשורת **ש. שמאי(שיץ)** 4 מ' (2 נקודות)

הערה: ההרשמה למעבדה דורשת אישור מוקדם של האחראי על המעבדה.

מקצועות קדם: לפחות שלושה מקצועות משרשרות התקשורת בלימודי הסמכה. דרישות מפורטות למקצועות קדם או למקצועות מקבילים יקבעו עבור כל פרוייקט בנפרד.

המעבדה מיועדת לסטודנטים המתעניינים בלימוד שטח התקשורת בלימודי המוסמכים ומבקשים לבצע פרוייקטים בתחום התקשורת האנלוגית או הספרתית. הפרוייקטים הראשונים יהיו בתחום מימוש אלגוריתמי צפינה מתקדמים ושילובם בערוצים סיפרתיים שונים, או בתחום של הערכת הביצועים של האלגוריתמים הנ"ל, או בתחום של חיפוש צפנים אופטימליים.

פרוייקטים בנושאים נוספים יוגדרו בהמשך. ביצוע פרוייקט במעבדה עשוי לעזור לסטודנט בגיבוש נושא למחקר בתחום התקשורת.

048934 **תקשורת מקודדת** **ש. שמאי (שיץ)** 2ה'
(2 נקודות)

מקצוע קדם:
046206 - תקשורת ספרתית.

מושגים בסיסיים ופרמטרים של מערכות תקשורת ספרתיות. מודלים חשובים של ערוצים. צופני בלוק, צופני קונוולוציה ומדדים לביצועיהם במובן תוחלת אנסמבל. צופני טרליס.

מקורות:

1. Viterbi, A.J. and Omura, J.K.: "Principles of Digital Communication and Coding". McGraw-Hill, 1979, 1985. rec. 2014844.
2. Wozencraft, J.M. and Jacobs, I.M., "Principles of Communication Engineering". Wiley, 1965. .rec. 215864.

048937 **בקרה של מערכות בתנאי אי-ודאות** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

קריטריונים ליציבות ו "יציבות יחסית" של מערכות לינאריות רציפות ודיסקרטיות בעלות פרמטרים עם אי ודאות. משפט חריטונוב. משפט הצלעות. משפט קבוצת האפס תכן של מערכות ליניאריות רובוסטיות ביחס לאי-ודאות של המודל, בעזרת משוב מצב או משוב יציאה. אנליזה ותכן של מערכות רציפות ודיסקרטיות לא ליניאריות מטפוס לוריא עם אי-ודאות בפרמטרים.

Will not be given the year

Stability and "Nice" Stability Criteria for Linear Continuous and Discrete Systems with Uncertain Parameters. Kharitonov Theorem. Edge Theorem. Zero-Set Theorem. Design of Robust Linear Systems with Respect to Model Uncertainties, by State Or Output Feedback. Analysis and Design of Nonlinear Continuous and Discrete Systems of the Lurie Type, in the Presence of Uncertain Parameters.

048938 **לייזרי מל"מ ננומטריים** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מקצוע קדם מומלץ: 046216 א. תכונות אפנון של לייזרי הזרקה בתדרים גבוהים:
1. תכונות אפנון אנלוגי בתדרי מיקרוגל.
2. אפנון דיגיטלי בקצבים של gbits/sec.
3. אפנון תדר.
4. השפעת אפנון דיגיטלי מהיר על תכונות ספקטרליות. ב. ייצור הבזקי אור קצרים (picosecond) בעזרת לייזרי הזרקה.
1. שיטות יצור הבזקי אור קצרים (picosecond (gain switchiing ו- mode-locking.
2. אפיון ומדידה של הבזקי אור קצרים.

Will not be given the year

High-Frequency Modulation Characteristic of Diode Lasers: Analog Modulation Characteristics at Microwave Frequencies. Digital Modulation at Gbits/Sec Rates. Frequency Modulation. Spectral Properties Under Digital Modulation Conditions. Generation of Short Optical Pulses (Picosecond Pulses) Using Laser Diodes: Gain Switching, Mode-Locking. Characterization and Measurements of Short Pulses.

048939 **נושאים מתקדמים בעבוד אותות 3** 2ה׳, (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בתחום עיבוד אותות העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה. סמסטר א׳ תשע״ח: עיבוד אותות מרחבי. סמסטר א׳ תשע״ט: עיבוד אותות מרחבי.

Will not be given the year

An Advanced Course in Signal Processing Which Deals with Research Topics in the Over of Interest of the Instructor.

048940 **נושאים מתקדמים בעיבוד אותות 4** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בתחום עיבוד אותות העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה.

Will not be given the year

An Advanced Course in Signal Processing Which Deals with Research Topics in the Over of Interest of the Instructor.

048942 **נושאים מתקדמים בתקשורת ואינפורמציה 3** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים מתקדמים בתורת התקשורת.

Will not be given the year

Advanced Topics in Communication Theory Will Be Discussed.

048944 **תנודות רחבות משווי משקל ושמושיהן** 3ה׳ (3 נקודות)

לא יינתן השנה

מקצוע קדם מומלץ: 108324. הגדרת תנודות רחבות משווי משקל (תרש״ם). משפט קרמר במימד אחד וב-n מימדים. טרנספורם לז׳נדר. משפט שילדר. משפט קרמר אבסטרקטי. משפט סנוב. תרש״ם עבור תהליכי מרקוב. תרש״ם ברמה
3. שימושים: בעיות היציאה מתחום. איבוד נעילה בחוגי עקיבה רועשים. משפטי צפינה. משפט שנון מקמילן. שימושים בבדיקת השערות יוניברסלית ובתורת האינפורמציה.

Will not be given the year

Definition of Large Deviations. Cramer׳S Theorem in One and N Dimensions. Legendre Transform. Sanov׳S Theorem. Large Deviations for Markov Processes. Large Deviations in Level

3. Applications: the Problem of Exit from a Domain. Lock Loss in Noisy Loops. Coding Theorems. Shanon-Mcmillan'S Theorem. Applications to Universal Hypotheses Testing and Informatiom Theory.

048949 פרקים בתקשורת ספרתית 3 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

הערה: מקצוע מומלץ: 048934.
גילוי אותות רצופי פאזה בעזרת גלי מפלא, תקשורת באות מאופנן דופק אמפליטודה (pam) בערוץ גאוסי עם הפרעה בינסימנית, חסמים לביצועים של אלגוריתם ויטרבי בבעיות גילוי ושערוך, אותות רצופי פאזה (cpm).

Will not be given the year

Detection of M-Ary Cpfsk by a Limiter Discriminator, Pulse Amplitude Modulated (Pam) Signalling Via Dispersive Gaussian Channels, Bounds on the Performance of the Viterbi Algorithm in Detection and Estimation, Continuous Phase Modulated Signals (Cpm).

Comment: Recommended Background Course: 048934.

048951 תקשורת וחישה פוטוניות **מ. נצרתי** 2ה'
(2 נקודות)

מקצוע קדם:
046206 - מבוא לתקשורת ספרתית.

ניתוח מעגלים פוטוניים משולבים לאיפנון וקדם-גילוי פאזה, אמפליטודה, קיטוב ותדר אור. סטטיסטיקת פוטונים מתקדמת: גילוי והגברה אופטית. גילוי אופטי קוהרנטי: עקרונות, גבולות-ביצועים, תת-מערכות (פוטוניקה משולבת .dsp, יישומים: קישוריות פוטונית אולטרה-מהירה בגילוי ישיר\קוהרנטי. חישה-מרחוק קוהרנטית, lidar :חישה-מפולגת-על-סיב.

תוצאות למידה:
בסיום הקורס הסטודנט ידע:
1. להעריך את המנעד הרחב של עקרון הגילוי האופטי הקוהרנטי ביישומים מגוונים החל מקישוריות פוטונית של הדור-הבא וכלה בחישה-מרחוק, הן על-גבי תווכי התפשטות בסיב והן במרחב חפשי
2. לרכוש הבנה במערכות גילוי-ישיר וקוהרנטי לתקשורת אופטית ולחישה אופטית במסגרת מאוחדת המשלבת אופטיקה פיסיקלית, ניתוח מתימטי של אות ורעש, עקרונות של הנדסה אופטית חדישה(כגון שימוש בפוטוניקת סיליקון משולבת).
3. יכולות ניתוח, מדידה, תכן ובדיקה של תקציב-הקו האלקטרו-אופטי עבור מגוון מערכות אשר נענות לאותם עקרונות: מערכות אופטיות להעברת נתונים, מערכות מכ"ם אופטי וראיה תלת-מימדית ומערכות מטרולוגיות על גבי סיב-אופטי.

מקורות:

1. Karp, Sh. [et al.] Optical Channels: Fibers, Clouds, Water, and the Atmosphere. Plenum, 1988. s.n. 2055788.
2. Okoshi, T., Kikuchi, K. Coherent Optical Fiber Communications. KTK Scientific, 1988. s.n. 2061877.
3. מאמרים מהספרות המקצועית השוטפת.

Course name: Phtonic Communication and sensing
English syllabus: Photonic integrated circuits for modulation, pre-detection of light phase, amplitude, polarization, frequency.

Advanced photon statistics: photodetection, optical amplification.
Coherent Optical Detection: Principles, performance limits, sub-systems (integrated photonics, DSP).
Applications: Ultra-high-speed photonic interconnects with direct/coherent detection.
Coherent remote sensing: LIDAR, Distributed-Fiber-Sensing

Learning outcomes: Photonic Communication and Sensing

- Appreciate the wide applicability of the coherent detection paradigm in use cases ranging from next-gen data interconnects to remote optical sensing over both fiber-optics and free-space optical propagation media.
- Comprehend direct-detection/coherent photonic communication and sensing systems under a unified framework, combining physical optics, mathematical signal and noise analysis, and modern optical engineering principles
  (such as the use of silicon integrated photonics).
- Ability to analyze, design, measure, validate the opto-electronic link budget of optical systems subject to common principles: data transmission systems, LIDAR and 3D vision systems, fiber optic metrology systems.

048954	**שיטות סטטיסטיות בעבוד תמונה**	**ת.מיכאלי**	2 ה' (2 נקודות)

דרישות קדם:
046200 – עיבוד וניתוח תמונות
046202 – אותות אקראיים

סילבוס
מטרת הקורס היא הכרת מגוון גישות סטטיסטיות עדכניות לפתרון בעיות בעיבוד תמונה. הקורס יסקור מבוא לשערוך לא פרמטרי. שיטות הורדת מימד לא פרמטריות. תכונות סטטיסטיות של תמונות טבעיות. מודלים פרמטריים ולא פרמטריים לייצוג תמונות. שדות מרקוב אקראיים. יישומים להסרת רעש, הסרת טשטוש, הגדלת רזולוציה, שערוך גרעין הטשטוש של המצלמה.

מקורות:
מאמרים מהספרות השוטפת.

תוצאות למידה:
הכרת שיטות סטטיסטיות בסיסיות ושימושן בעיבוד תמונה. בפרט, סטודנטים אשר ישלימו את הקורס בהצלחה יוכלו להתאים מודלים סטטיסטיים למגוון בעיות עיבוד אות וכן לממש אלגוריתמי שערוך לפתרון אותן בעיות.

הרכב הציון:

100% פרויקט סופי

Course name: Statistical methods in image processing

English syllabus:
The goal of this class is to expose the students to a variety of statistical methods for solving image processing problems. The course will cover an introduction to nonparametric estimation. Nonparametric dimensionality reduction methods. Statistical properties of

natural images. Parametric and nonparametric models for images. Markov random fields. Applications to denoising, deblurring, super-resolution, blur-kernel estimation.

Learning Outcomes:

Gaining familiarity with basic statistical methods and their use in image processing. In particular, students that will have completed the course successfully will be able to fit the statistical models learned in class to a variety of signal processing problems, as well as to implement estimation algorithms for solving these problems.

Grade:

100% final project

048955 **קידוד ספרתי של אותות דיבור ותמונות** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קידוד ״צורת גל״ של אותות דיבור ותמונות. קוונטיזציה סקלרית ותכן קוונטייזרים אופטימלים, קידוד pcm, קוונטיזציה אדפטיבית (apcm), קומפנדרים, קידוד פרדיקטיבי (dpcm, adpcm), קוונטיזציה וקטורית (vq), קידוד אנטרופיה, קידוד בפסי תדר נפרדים (sbc), קידוד פירמידלי, קידוד התמרה (tc), מערכות אנליזה וסינטזה לקידוד דיבור: חיזוי לינארי, ווקודורים (lpc), מקודדי שארית (mpe-lpc, celp, vselp), מקודדי עירור מעורב (mbe, melp).

Will not be given the year

Waveform Coding of Speech and Images: Scalar Quantization and Design of Optimal Quantizers, Adaptive Quantization (Apcm), Companders, Predictive Coding (Dpcm, Adpcm), Vector Quantization. Entropy Coding, Subband Coding (Sbc), Pyramidal Coding, Transform Coding, Analysis and Synthesis Systems for Speech Coding: Linear Prediction, Vocoders (Lpc) Residual Coders (Mpe-Lpc, Celp, Vselp), Mixed-Excitation Coders (Mbe, Melp).

048958 **התקני מוליכים למחצה עם צמתים-מעורבים** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

צמתים הומוגניים ולא-הומוגניים. דיאגרמת פסים של צמתים במוליכים למחצה, אי רציפות הפסים במגע. תכונות תובלה של צמתים p-n הומוגניים וצמתים n-n- לא הומוגניים. מחסומי שוטקי, אפקט מנהרה, מגעים אוהמיים. קבול הצומת ומדידת הפרופיל בעזרת cv. טרנזיסטורים במבנים לא הומוגניים. mesfet, hemt, והתקנים של בורות קוונטיים.

Will not be given the year

Homogenous and Inhomogenous Junctions. Band Diagrams of Semiconductor Junctions, Band Discontinuities. Transport of Homogenous P-N Junctions and Inhomogenous N-N Junctions. Schottky Barriers, Tunneling, and Ohmic-Contacts. Junction Capacitance, Cv Profiling of Junctions. Transistors with Inhomogenous Structures. Mesfet, Hemt, and Quantum Well Devices.

048959 **נושאים מתקדמים ברשתות עצביות** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בתחום רשתות עצביות העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה.

Will not be given the year

An Advanced Course Neural Networks Which Deals with Topics in the Area of Interest of the Instructor.

048961 **נושאים מתקדמים במחשוב 1** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בנושאים שונים הקשורים בתכנון ויישום מערכות חישוב. הקורס ישמש גם כבסיס למשתלמים המעונינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור בתחום. סמסטר א׳ תשע״ח: מערכות הפעלה נמוכות תקורה. סמסטר א׳ תשע״ט: מערכות הפעלה נמוכות תקורה. סמסטר ב׳ תשע״ט: מערכות הפעלה נמוכות תקורה. סמסטר א׳ תש״ף: מערכות הפעלה נמוכות תקורה.

Will not be given the year

Advanced Course Dealing with a Variety of Topics in Design and Implementation of Computing Systems. The Course Will Also Serve as a Basis for Student Interested in Carrying Out Thesis Reserch in the

---

048962 **נושאים ברשתות תקשורת בין מחשבים 4** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בו יידונו נושאי מחקר שוטפים בנושאי תקשורת בין מחשבים. הקורס ישמש גם כבסיס למשתלמים המעונינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור.

Will not be given the year

Advanced Course in Which Current Topics in Computer Communication Networks Will Be Discussed. the Course Will Also Serve as a Basis for Student Interested in Carrying Out Thesis Research in the Field.

048963 **מערכות תקשורת פורסות ספקטרום** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

הקורס יעסוק ביסודות ובמגוון היבטים של מערכות תקשורת פורסות ספקטרום כאשר יושם דגש על חסינותם בפני הפרעות מסוגים שונים. פרקי הקורס העקריים הינם: מבוא וסקירה הסטורית של מערכות תקשורת פורסות ספקטרום, מושגים בסיסיים ומודלי מערכת, ניתוח חסינות וביצועים של מערכות מקודדות ולא מקודדות מסוג פריסת ספקטרום ישירה, דילוגי תדר, דילוגי זמן ומערכות

מעורבות, שיטות גילוי קוהרנטיות ולא קוהרנטיות, החלטה קשה ורכה, ומקלט יחסי סף, השפעת דעיכות ערוץ על חסינות המערכות וביצועי המערכת, מבוא וניתוח בסיסי של מערכות מרובות משתמשים, מבוא למחוללי סדרות פסאדו אקראיות (סדרת פריסה או דילוג) ויסודות מערכות סינכרון ועקיבה (אופציונלי).

Will not be given the year

The Course Will Encompass the Fundamentals of Spread Spectrum Communication Systems with Emphasis on Their Interference Immunity. the Main Chapters Are: Introduction and Short Historical Overview of Spread Spectrum Communication Systems, Basic Concepts and System Models, General Analysis of Anti-Jam Uncoded and Coded Systems.
Direct Sequence Spread Spectrum, Frequency Hopping, Time Hopping, Hybrid Systems. Coherent and Noncoherent Detection Methods, Hard and Soft Decisions, Ratio Threshold Detectors. Effect of Channel Fading on Systems Immunity and Performance. Introduction to and Basic Concepts of Multi User Spread-Spectrum Systems. Elements of Pseudonoise Generators (Spreading Or Hopping Sequences) and Fundamentals of Synchronization and Tracking Systems (Optional).

048964 **הצגות משולבות ויישומיהן 1** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

אנליזת פורייה - חזרה והרחבות. מרחבים לינאריים. אותות לא סטטציונריים ומערכות שאינן קבועות זמן. סיווג שיטות זמן-תדר. התמרת פורייה קצרת זמן (stft) רציפה ובדידה. ריצוף המישור תדר-זמן. התמרת wavelets רציפה והסקלוגרמה. התמרת wavelets בדידה ותורת המסגרות (frame theory). מסגרות wavelets ומסגרות גאבור. בסיס haar. בסיסי wavelets אורתונורמליים ו- multiresolution. פונקציות קרקטריסטיות שאינן אורתונורמליות spline-wavelets. רגולריות של בסיסי wavelets אורתונורמליים. wavelets, מסנני subband והאלגוריתם של malat. בסיסי wavelets אורתונורמליים בעלי תחום תמיכה סופי. סימטריה של wavelets בעלי תחום תמיכה סופי. בסיסים ביאורתוגונליים ושיקולי סימטריה. הצגות אדפטיביות: ספריות בסיסים, בחירת בסיס אופטימלי ותהליכי החיפוש. הצגות אדפטיביות אינווריאנטיות להזזה. הצגות wavelets והצגות אדפטיביות דו-מימדיות.

Will not be given the year

Results from Fourier Analysis and the Theory of Linear Spaces. Non-Stationarity and Time-Varying Systems. Time-Frequency (T-F) Methods: a Classification. Continous and Discrete Short-Time Fourier Transforms (Stft). Tiling of T-F Plane. the Continuous Wavelet-Transform and the Scalogram. Discrete Wavelet-Transform and Frame Theory. Wavelet and Gabor Frames. the Haar Basis. Orthonormal Wavelet Bases and Multiresolution. Relaxing the Orthogonality Constraint. Regularity of Orthonormal Wavelet Bases. Wavelets, Subband Filtering and Malat'S Algorithm. Orthonormal Bases with Compact Support. Symmetry and Bi-Orthogonal Wavelet Bases. Adaptive, Waveform Analysis: Base Libraries Search Procedures for An Optimal Basis. Adaptive, Shift-Invariant Decompositions. Two-Dimensional Wavelet Expansions.

048966 **מעבדה במיקרואלקטרוניקה** **מורי השטח** 4 מ',
(2 נקודות)

מקצועות קדם:

לפחות שלושה מקצועות משרשרות המיקרואלקטרוניקה בלימודי הסמכה.

המעבדה מיועדת לסטודנטים המתעניינים בלימוד שטח במיקרואלקטרוניקה בלימודי המוסמכים ומבקשים לבצע פרויקטים בתחומי המיקרואלקטרוניקה.
הפרוייקטים יבחרו מתוך התחומים הבאים: תכנון ו/או אפיון מעגל משולב אפיון התקנים אלקטרונים ואלקטרואופטיים, תהליכים במיקרואלקטרוניקה.

048967 מעבדה לרשתות מחשבים — **מורי השטח** — 4 מ' (2 נקודות)

מקצועות קדם:
046335 - תכן רשתות מחשבים

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לבצע פרויקטים בתחום של רשתות מחשבים לאחר מקצוע הקדם ומקצועות אחרים (בלמודי הסמכה/מוסמכים), אשר יקבעו על פי הנושאים שיוצעו. הפרויקטים יהיו הן בתחום של חמרה מיוחדת לרשתות מחשבים והן בתחום של חקר אלגוריתמים ותכנה לתקשורת מחשבים באמצעות הציוד שבמעבדה. המעבדה יכולה להוות שלב ראשון לגיבוש נושא מחקר בתחום.

048969 עיבוד אותות לא לינארי בעזרת שיטות גאומטריות — 2ה', (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרת הקורס הינה להקנות הבנה וביסוס מתמטי לבניית מודלים אינטרינסיים ועיבוד לא לינארי של אותות בעזרת שיטות גאומטריות. בקורס יוצגו גישות חדשניות לייצוג אותות שמרחיבות את אנליזת פורייה הקלאסית ומאפשרות פרמטריזציה מונחת תצפיות של אותות מתוך שיקולים גאומטריים אלו. בקורס יוצגו כלים מתחומים של אנליזה הורמונית, תורת הגרפים, גאומטריה דיפרנציאלית, סינון לא לינארי, ותהליכי דיפוזיה אקראיים. במהלך הקורס יוצגו אפליקציות לאנליזה של אותות ביו רפואיים, עיבוד אותות שמע ודיבור, ובניית מודלים למערכות דינמיות רבות ממדים.

תוצאות למידה
בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:
1. להגדיר מושגי יסוד ובכללם "ייצוג אינטרינסי"
2. לנתח אותות ומערכות כמקריים פרטיים באופן אנליטי, ולבנות עבורם מטריקה אינטריסית, כולל הוכחת תכונותיה העיקריות.
3. ליישם ולממש ב baltam אלגוריתם לבניית מודל אינטרסי עבור אותות מדומים ומדידות אמת.

Will not be given the year

The Goal of This Course Is to Understand the Mathematical Foundation of Many Recent Methods for Interinsic Modeling and Geometry-Assisted Signal Processing. Novel Methods That Extend the Classical Fourier Analysis and Enable Natural Data-Driven Parameterization of Signals Without Prior Knowledge of Models. in Addition, Recent Nonlinear Filtering Methods Based on Data-Driven Geometric Models Will Be Presented. the Course Will Cover Topics from Harmonic Analysis, Graph Theory, Differential Geometry, Nonlinear Filtering, and Stochastic Diffusion Processes. Applications to Biomedical Signal Analysis, Audio and Speech Processing, and High Outcomes: at the End of the Course the Student Eill Be Able:
1. to Define Fundamental Terms, Including "Intrinsic Modeling"
2. to Analyze Special Cases of Signals and Systems Analytically, Build Intrinsic Metrics, and Prove Their Main Properties
3. to Implement (in Matlab) An Algorithm for Building Intrinsic Models of Synthetic and Real Signals.

048972	**נושאים מתקדמים בראייה, מבנה תמונות וראייה ממוחשבת 2**	**ל. צלניק מנור**	2 ה' (2 נקודות)

קורס סמינריוני מתקדם בתחום מדעי התמונה והראייה העוסק בנושאי מחקר מתחום עיסוקו של המרצה.

נושא הקורס בתשפ"ב: שאלות פתוחות בראייה ממוחשבת.

מקצועות קדם מומלצים:

046746 – אלגוריתמים ואפליקציות בראייה ממוחשבת

236873 –ראייה ממוחשבת

או הסכמת המרצה.

קורס סמינריוני שיעסוק בנושאים מתקדמים בתחום הראייה ממוחשבת. כיום יש מגוון רחב של הצלחות פרקטיות בתחום הראייה הממוחשבת, למשל בתחום זיהוי פנים או נהיגה אוטונומית, עם זאת עדיין המימוש והיישום של מוצרים מבוססי ניתוח תמונה או וידיאו הינו קשה, סבוך ודורש מומחיות גבוהה. קיימות עדיין הרבה שאלות פתוחות, מצד אחד בתיאוריה שתסביר מדוע אלגוריתמים קיימים עובדים בפועל, ומצד שני ביישום הפרקטי של אלגוריתמים שהופך אותם לשמישים באפליקציות אמיתיות. בקורס הזה נבחר נושאים הנוגעים לשאלות הפתוחות וביחד ננסה לזהות כיווני פתרון רלוונטיים.

Course topics in 2021: The course will be a seminar dealing with advanced topics of computer vision. To date, there is a wide range of practical success cases of computer vision, e.g., in face recognition or autonomous driving. At the same time, the implementation and deployment of products based on image and video analysis, is complex and required very high expertise. There are still many open questions, on one hand in the theory explaining why existing algorithms work in practice, and on the other hand, on the practical aspects that make those algorithms useful in real applications. In this course we will choose a number of topics relate to the main open questions, and together will try to identify relevant directions to solve them.

מקורות:

מאמרים נבחרים

048976	**מעבדה במערכות מקביליות**	**מורי השטח**	4 מ' (2 נקודות)

מקצועות קדם:

046267 - מבנה מחשבים

046209 - מערכות הפעלה

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לבצע פרויקטים בתחום מערכות ותת-מערכות של מחשבים בכלל, ומערכות מקביליות בפרט. מקצועות קדם נוספים ומקצועות צמודים (בלימודי הסמכה/מוסמכים) ייקבעו על פי הנושא. הפרוייקטים יהיו בתחומים של תכן מערכות מחשבים, יצירת כלי פיתוח למערכות מתקדמות, וכן חקר ביצועי מערכות ע"י מדידות וסימולציה. הפרוייקטים יכללו פיתוח חומרה ו/או תוכנה על פי הצורך, תוך שימת דגש מיוחד על ביצועים והגורמים להם. המעבדה יכולה להוות שלב ראשון בגיבוש נושא למחקר בתחום.

048978	**מקורות קרינה מבוססים על אלומות אלקטרוניים**	**ל.שכטר**	2 ה' (2 נקודות)

מקצוע קדם:

044148 - גלים ומערכות מפולגות

דינמיקה של אלקטרונים (יצירתם והובלתם) אינטראקציה של אלקטרונים עם גלים במשטר קומפטון בהספק נמוך ; אינטראקציה עם גלים מהירים ואיטיים. גלי מטען מרחבי. משטר קומפטון בהספק גבוה. אפנון אלומה על ידי מהודים : הקלייסטרון. מבני גל איטי : דיאלקטרי ומחזורי ; משפט Floquet. מגבר גל נע ומתנד גל חוזר. לייזר של אלקטרונים חופשיים. גירוטרון. מגניקון.

מקורות:

1. Liao, S.: "Microwave Electrton-Tube Devices", Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1988.
2. Gilmour, A. S., Jr., "Microwave Tubes". Artech House 1986. rec. 2105597.
3. "High Power Microwave Sources", Ed. By V.L. Granatstein and I. Alexeff, Artech House 1987. rec. 2105598.
4. Benford, J. and Swegle J.: "High Power Microwaves", Artech House, 1992. rec. 2159756.
5. Recent literature.

048979 **נושאים מתקדמים בתהליכים אקראיים** **רמי אתר** 2 ה', (2 נקודות)

נושא הקורס בשנת תשפ"ב : תהליכי דיפוזיה מוחזרים ומתגים

דרישות קדם: אותות אקראיים

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות

סילבוס בעברית (עד 50 מילים, ניתן להוסיף בנוסף נושאי לימוד)

המטרה של סמינר זה היא להקנות הבנה טובה בתפקיד התחום המתמטי של דיפוזיות מוחזרות באנליזה של מתגים, במיוחד ההתפתחות המתוארת במאמרים [1-3]. גישה אחרת המשתמשת בכלים אלה לאנליזה של מתגים [4] תכוסה אף היא, וכמו כן התפתחות חדשה בנושא של דיפוזיות בתחומים דמויי שן [5].

מקורות:

[1] Kang, W. and R. J. Williams. "Diffusion approximation for an input-queued switch operating under a maximum weight matching policy." *Stochastic Systems* 2.2 (2012): 277-321.

[2] Kang, W. and R. J. Williams. "An invariance principle for semimartingale reflecting Brownian motions in domains with piecewise smooth boundaries." *The Annals of Applied Probability* 17.2 (2007): 741-779.

[3] Shah, D. and D. Wischik. "Switched networks with maximum weight policies: Fluid approximation and multiplicative state space collapse." *The Annals of Applied Probability* 22.1 (2012): 70-127.

[4] Stolyar, A. L. "Maxweight scheduling in a generalized switch: State space collapse and workload minimization in heavy traffic." *The Annals of Applied Probability* 14.1 (2004): 1-53.

[5] Costantini, C. and T. G. Kurtz. "Existence and uniqueness of reflecting diffusions in cusps." *Electronic Journal of Probability* 23 (2018).

תוצאות למידה: המשתתפים יפתחו מומחיות ברמה המתאימה לבצע מחקר בתחום.

הרכב הציון: הרצאה סמינריונית ועבודה (כ- 50% כ"א).
שם הקורס באנגלית : Reflected diffusions and switches

English syllabus:
The goal of this seminar is to get a good understanding of the role played by the mathematics of reflected diffusions in the analysis of switches, especially in the development around papers [1—3]. Another approach of using related tools for analysis of swithes [4] will also be covered, as well as recent mathematical progress is reflecting diffusions in cusps [5].

Learning Outcomes: The participants are expected to develop expertise at a level needed to do research in the field.

048980 **תיכנון וניהול רשתות תקשורת לא שיתופיות** **א.אורדע** 2 ה'
(2 נקודות)

מקצועות קדם:
046335 - תכן רשתות מחשבים או אישור המרצה.
שיתוף ותחרות ברשתות גדולות ורחבות סרט: מוטיבציה ודוגמאות. מושגי יסוד בתורת המשחקים. משחקי בקרת זרימה, משחקי ניתוב, תחרות על רוחב סרט .תכנון רשתות לא-שיתופיות: הפרדוקס של בראס, תכנון טופולוגי והקצאת קיבולים, תכנון gateway. ניהול רשתות תקשורת לא-שיתופיות: אסטרטגיות סטקלברג, גביית אגרות.

מקורות:
Myerson, R. B. Game Theory: Analysis of Conflict. Harvard Univ. Press, 1991.s.n. 2151703

048982 **גילוי וספירה ברשתות מהירות** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

תכנון וניתוח של גילוי וספירה ברשתות מהירות. גישה דטרמיניסטית. ספירה אקראית. ספירה קבוצתית. דגימה. גיבוב. מסנן בלום. צמת מונים. כוח הבחירה.

Will not be given the year

Design and Analysis of Detection and Counting Algorithms in High-Speed Networks. Deterministic Approach. Randomized Counting. Aggregate Counting. Sampling. Hashing. Bloom Filters. Counter Braids. Power of Choice.

048983 **אנליזה וזיהוי תוכן בתמונות וידאו** 2 ה'

(2 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים: שיטות אנליזה והבנת תוכן של מידע וידאו באמצעות הגישות והאלגוריתמים המובילים בתחום. כגון, יישום שיטות ניווט אוטומטי של רכב או רובוט, סיכום ויזואלי של סרטוני וידאו, אפקטים ויזואלים בסרטים חיפוש במאגרי מידע ויזואלים (כגון you tube). זיהוי מאפיינים בוידאו, חישוב תנועה, מוזאיקות של וידאו, סינתזה של וידאו, זיהוי עצמים, זיהוי אנשים וזיהוי הפעולות שהם מבצעים.

will not be given the year

Methods for Analyzing and Interpreting the Contents of Video Data, by Reviewing Existing State-of-the-Art Approaches and Algorithms. the Methods Will Be Explored through Their Usage in Real-World Applications Such as Automatic Navigation of Vehicles Or Robots, Visual Summarization of Video Clips, Special Effects in Movies Or Search in Visual Data Bases Such as Youtube. Topics That Will Be Explored: Feature Detection in Video, Motion Estimation, Video Mosaics, Video Synthesis, Recognizing Objects, Detecting People and Action Recognition.

2 ה'
(2 נקודות)

048984 אפקטי רעש וסינכרון במתנדים

לא יינתן השנה

מטרת הקורס הינה ליצור הבנה ובסיס מתמטי לניתוח רעשים, תופעות דינמיות וצימוד בין מתנדים. נושאי הקורס: סוגי רעש במתנדים ודרכים למדידתם, מודל leeson לחישוב ספקטרום הרעש ורעש במתנדים בעלי השהיה. מודל van der pol מודלים לניתוח הדינמיקה של תנודה עצמית ולסינכרון מתנדים לכוח חיצוני, תחומי נעילה, אי יציבות. מודלים ותופעות דינמיות בסנכרון של שני מתנדים ויותר, צימוד חלש וחזק, תחומי נעילה, ביצועים של מערכות נעולות. מודל kuramoto לניתוח רשתות של מתנדים מצומדים. יובאו דוגמאות של מתנד אופטו אלקטרוני, המיצר אותות מיקרוגל בעלי רעש פאזה נמוך במיוחד ושל לייזרים.

תוצאות למידה

1. הבנה של רעש במתנדים.2. הבנה של מודלים לניתוח תופעות דינאמיות במתנדים.
3. הבנה של צימוד בין שני מתנדים.
4. הבנה של תופעות צימוד ברשתות של מתנדים מצומדים.

Will not be given the year

The Course Deals with Noise, Dynamic Effects, and Coupling Between Oscillators. the Course Covers Different Topics: Noise in Oscillators and Methods How to Measure It, Leeson Model, and Noise in Delay-Line Oscillators. Van Der Pol Model, Self Sustained Oscillators and Synchronization by External Force, Locking Range, and Instability. Models and Dynamic Effects in Coupling of Two and More Ocsillators. Weak and Strong Coupling Regimes, Loking Range, and Performance of the Coupled Oscillators. Kuramoto Model for Studying Large Networs of Oscillators. Examples on Optoelectronic Oscillators That Generate Rf Signals with Ultra-Low Phase Noise Will Be Given.
1. Understanding of Noise in Oscillators.
2. Understanding of Models to Analyze Dynamic Effects in Oscillators.
3. Understanding of Coupling and Dynamic Effects in Oscillators.
4. Understanding of Coupling Effects and Models to Analyze Large Networks of Coupled Oscillators.

048985	**שיטות טופולוגיות בהנדסה, רשתות, ניתוח נתונים**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מבוא לטופולוגיה אלגברית. כלים טופולוגיים חדשניים לניתוח נתונים גדולים ובעיות הנדסיות שונות. יישומים הנדסיים של כלים טופולוגיים בניתוח רשתות, עיבוד אותות, מערכות ביולוגיות ועוד. ניתוח הסתברותי- סטטיסטי של שיטות טופולוגיות.

תוצאות למידה
1. הסטודנט יכיר את הרעיונות הבסיסיים בטופולוגיה יישומית ואת דרכי השימוש בהם.
2. הסטודנט יהיה מסוגל ליישם את הכלים הנלמדים בבעיות הנדסיות.

Will not be given the year

Introduction to Algebric Topology. Modern Topological Tools for Big Data Analysis and Various Engineering Problems. Applications of Topological Methods in Various Areas Such as Network Analysis, Signal Processing, Biological Systems, Etc. Probabilistic and Statistical Analysis of Topological Systems.

Learning Outcomes
1. the Student Will Get Familiar with the Fundamentals of Applied Topology Their Advantages and Applications in Engineering
2. the Student Will Be Able to Implement These Topological Metods.

048986	**שיטות ומודלים סטוכסטיים**	2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מטרות הקורס הן להכיר מודלים מרכזיים בהנדסת חשמל בעלי אופי סטוכסטי, וכן כלים לניתוח הסתברותי, וכלים הסתברותיים אלגוריתמיים. הנושאים: מושגים בסיסיים בתורת התורים המרקוביים, פרופיל סטטיסטי של רוחב סרט, load balancing, חוג נעול פאזה ברעש לבן, shot noise. כלים אנליטיים: שרשרות רברסיביליות, משפט פרון-פרובניוס, קצבי התכנסות, טכניקת הצימוד, משפט קרמר לתנודות רחבות משיווי משקל, שימוש בפונ ליאפונוב לניתוח יציבות. כלים אלגוריתמיים: markov chain monte carlo, מניה מקורבת, סימולציה מדויקת, simulated annealing.

תוצאות למידה
בסיום הקורס הסטודנט יהיה מסוגל:
1. להכיר מודלים מרכזיים בעלי אופי סטוכסטי
2. לשלוט בכלים האנליטיים והאלגוריתמיים.

Will not be given the year

The Course Introduces Central Models in Electrical Engineering of Stochastic Nature, Extends the Toolbox for Probabilistic Analysis and Exposes Algorithmic Probabilistic Tools. Topics: Basics of Markovian Queueing Theory, Effective Statistical Bandwidth, Load Balancing, Phase Locked Loop in White Noise, Shot Noise. Analytical Tools: Reversible Chains, Perron-Frobenius Theorem, Rates to Ergodicity, the Coupling Method, Cramer'S Theorem on Large Deviations, Lyapunov Functions in Stability Analysis. Algorithmic Tools: Maekov Chain Monte Carlo, Approximate Counting, Exact Simulation, Simulated Annealing.

Learning Outcomes
The Student Will Learn About Central Stochastic Models and Gain Control Over Relevant Analytic and Algorithmic Tools.

048987 **נושאים מתקדמים באנרגיה 1** 2 נקודות

לא יינתן השנה

הקורס ידון בנושאים מתקדמים בתחומי המחקר המתקדמים של נושא האנרגיה הרלבנטיים להנדסת חשמל. סמסטר א׳ תשע״ח: דינאמיקה ובקרה של מערכות הספק מודרניות. סמסטר ב׳ תשע״ט: דינאמיקה ובקרה של מערכות הספק מודרניות.

Will not be given the year

The Course Will Survey the Main Topics in Energy for Electrical Engineering.

048989 **דינאמיקה ובקרה של מערכות הספק מודרניות** **י. לברון** 2 נקודות

מקצועות קדם:

044195 – מבוא למערכות הספק ורשת חכמה

(קורס בסיסי בבקרה יכול לעזור, אבל הרקע הנדרש בבקרה יועבר במהלך הקורס)

מערכות הספק כוללות כיום עומסים מורכבים ומקורות אנרגיה קטנים ומתחדשים, אשר יוצרים דינאמיקה מורכבת. שני אתגרים מרכזיים בהתפתחות מערכות הספק מודרניות הם הבנה של תופעות דינאמיות מורכבות בקנה מידה גדול, והיכולת לתכנן שיטות בקרה יעילות. בקורס זה נציג כלים לניתוח הדינאמיקה של מקורות אנרגיה ושל מערכות הספק. לקורס שלושה חלקים מרכזיים: הקירוב הקוואזי-סטטי ומגבלותיו, השימוש בהתמרת dq0, והשימוש בבקרה מבוזרת במערכות הספק. הסטודנטים יתנסו בניתוח ובתכנון בעזרת תוכנת Simulink.

רשימת נושאים:

1. דינאמיקה של מערכות הספק – הקירוב הקוואזי-סטטי
2. פאזורים משתנים בזמן
3. התמרת dq0 ושימושיה במערכות הספק
4. ייצוג דינאמי של אלמנטים פאסיביים ורשתות
5. ייצוג דינאמי של מקורות אנרגיה ועומסים
6. בקרה של מקורות הספק קלאסיים, ומקורות מתחדשים
7. בקרה מבוזרת במערכות הספק
8. הכרות עם כלים נומריים לניתוח ותכנון

תוצאות למידה: הסטודנט יכיר שיטות מודרניות לניתוח הדינאמיקה של מקורות אנרגיה מגוונים ושל מערכות הספק גדולות, וידע להפעיל כלים נומריים לביצוע אנליזה ותכן.

מקורות:

1. P. W. Sauer, M. A. Pai, Power System Dynamics and Stability, University of Illinois at Urbana-Champaign

Topic: Dynamics and Control of Modern Power Systems

Prerequisites:

044195 – An Introduction to Power Systems and Smart Grids

(Background in control may help but is not required. Necessary results from control theory are provided as part of the course material)

Outline: Modern power systems include complex loads and small distributed energy sources that give rise to complex dynamic behavior. Two main challenges in power systems today are to analyze large-scale dynamic phenomena, and to design efficient controllers. This course presents core techniques for analyzing the dynamics of energy sources and power systems. It is divided to three main parts: the quasi-static approximation and its limitations, the dq0 transformation, and applications of distributed control techniques in power systems. Students will learn how to analyze systems and design specific controllers using Matlab-Simulink.

List of Topics:

1. Power system dynamics – the quasi-static approximation
2. Time-varying phasors
3. The dq0 transformation and its applications in power systems
4. Dynamic models of passive components and networks
5. Dynamic models of energy sources and loads
6. Control of energy sources – classic and renewables
7. Distributed control in power systems
8. Numeric tools for analysis and design

Learning Outcomes: The student will become familiar with techniques for analyzing the dynamics of various energy sources and large-scale power systems, and will learn how to use numeric tools to perform analysis and design.

Textbooks:

1. P. W. Sauer, M. A. Pai, Power System Dynamics and Stability, University of Illinois at Urbana-Champaign

048990 **סמינריון 1** **חברי הסגל** (3 נקודות)

במסגרת מקצוע זה יוכל הסטודנט לבצע פרוייקט לשם מילוי חלקי של הדרישות לתואר "מגיסטר בהנדסת חשמל" (מסטר ללא תיזה). במסגרת זו יעשו פרוייקטים כגון: סקירת ספרות מקפת, סימולציות בהיקף גדול, כתיבת תכנה מתאימה.

Within the Framework of This Course, the Students Can Undertake a Project Which Comprises Either a Literature Search and/Or Suitable Simulations and/Or Appropriate Computer Programming, and/Or Laboratory Project Implementation. the Project Can Serve as a Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master If Electrical Engineering (I.E. the Non-Thesis Master Program).

048991 **סמינריון 2** **חברי הסגל** (3 נקודות)

במסגרת מקצוע זה יוכל הסטודנט לבצע פרוייקט לשם מילוי חלקי של הדרישות לתואר "מגיסטר בהנדסת חשמל" (מסטר ללא תיזה). במסגרת זו יעשו פרוייקטים כגון :סקירת ספרות מקפת, סימולציות בהיקף גדול, כתיבת תכנה מתאימה.

Within the Framework of This Course, the Students Can Undertake a Project Which Comprises Either a Literature Search and/Or Suitable Simulations and/Or Appropriate Computer Programming, and/Or Laboratory Project Implementation. the Project Can Serve as a Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master If Electrical Engineering (I.E. the Non-Thesis Master Program).

048993 **שיטות אופטימיזציה בקומפילרים** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

1. אופטימיזציות מקומיות.
2. בנית גרף בקרת זרימת התוכנית ושימושיו.
3. אופטימיזציות על לולאות.
4. global data flow analysis.
5. שיטות תזמון הפקודות מקומיות וגלובליות.
6. שיטות ל- software pipelining.
7. הקצאת אוגרים גלובלית.
8. טכניקות לנצול זכרון מטמון מסוג instruction ו- data.
9. שיטות memory disambiguation.

Will not be given the year

1. Control Flow Analysis of Programs.
2. Global Data Flow Analysis.
3. Loop-Level and Global Optimization.
4. Local and Global Register Allocation Techniques.
5. Basic Block and Global Instruction Scheduling.

6. Interprocedural Optimization.
7. Memory Disambiguation Analysis.
8. Instruction and Data Cache Optimization.
9. Automatic Parallelization Techniques.

048995 זיהוי תבניות 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

גישות מתקדמות לזיהוי תבניות תוך שימת דגש על בסיס עיוני מוצק ואלגוריתמים מתקדמים.
הנושאים: תורת ההחלטות הסטטיסטית, סיווג פרמטרי ואפרמטרי, הערכת ביצועים - חסמים ושיטות נומריות, חילוץ מאפיינים, למידה מפוקחת ולא מפוקחת.

Will not be given the yeat
Modern Approaches to Statistical Pattern Recognition, Emphasizing a Solid Theoretical Foundation and Advanced Algorithms. Topics: Statistical Decision Theory, Parametric and Nonparametric Classification, Performance Assessment - Bounds and Numerical

---

048996 גלים במבנים מחזוריים 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מבנים מחזוריים בתחום גלי המיקרו, האופטיקה ומערכות קוונטיות. מבנים מחזוריים פתוחים וסגורים. בעיות פיזור והתפשטות. פונקציות גרין. תופעות מעבר. מבנים דו-ותלת-מימדיים. מערכות בעלות מספר סופי של תאים זהים. קרינה של אלקטרונים הנעים במבנים מחזוריים.

Will not be given the year

Periodic Structures in Microwave, Optical and Quantum Systems. Open and Closed Periodic Structures. Scattering and Propagation Problems. Green's Function. Transients. Two and Three Dimensional Structures. Systems of Finite Number of Identical Cells. Radiation from Electrons Moving in Periodic Structures.

049003 ויזואליזציה ואנימציה 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

שחזור משטחים, תאים תלת-מימדיים, ויזואליזציה מדעית, אנימציה של אלגוריתמים, ציור גרפים, ויזואליזציה של מידע, נושאים בגיאומטריה חישובית ושימושיהם באנימציה, תכנון מסלול, גילוי התנגשויות, מטה-מורפוזיס, חלוקת משטחים, אנימציה של פנים.

Will not be given the year

Surface Reconstruction, Volume Visulization (Voxels), Scientific Visulization, Algorithm Animation, Graph Drawing, Information Visualization, Topics in Computational Geometry and Their Uses in Animation, Path Planning, Collision Detection, Metamporphosis, Surface Decomposition, Facial Animation.

049004 **<u>למידה ע"י חיזוקים ובקרה מסתגלת</u>** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

הקורס מציג טכניקות ללימוד אסטרטגיות פעולה אופטימליות במערכות דינמיות, מורכבות, תוך התמקדות באלגוריתמים שפותחו לאחרונה בתחומים של בינה מלאכותית ולמידה ממוחשבת. נושאי הלימוד: בעיות החלטה חד-שלביות. מבוא לתכנות דינמי. בקרה אדפטיבית של תהליכים מרקוביים לימוד על ידי חיזוק - אלגוריתמי q-learning ו-td (lambda) קרוב בעזרת רשתות ניירונים. שימושים בעזרת רובוטיקה, רשתות תקשורת ומשחקי לוח

Will not be given the year

In Complex Dynamical Systems, Focusing on Algorithms That Were Recently Developed in the Fields of Artificial Intelligence and Single-Stage Decision Problems Dynamic Programming Adaptive Control of Markov Decision Processes Neural Networks for Value Function Approximation . Applications in Robrotics, Communication Networks and Board Games.

049005 **<u>מעבדה לנושאי בקרה</u>** **<u>מורי השטח</u>** 4 מ',
(2 נקודות)

<u>הערה:</u> ההרשמה למעבדה דורשת אישור מוקדם של האחראי על המעבדה.

<u>דרישות קדם:</u>
יקבעו באופן אינדיוידואלי לכל נרשם.

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לבצע פרוייקטים בתחום הבקרה, לאחר מקצועות הקדם ומקצועות אחרים (בלימודי הסמכה/מוסמכים), אשר יקבעו על פי הנושאים שיוצעו. הפרוייקטים יהיו בסימולציות וממושים של אלגוריתמים בנושאי בקרה מתקדמים, באמצעות הציוד שבמעבדה. המעבדה יכולה להוות שלב ראשון לגיבוש נושא מחקר בתחום.

049006 **<u>מעבדה לגלים אלקטרומגנטיים</u>** **<u>מורי השטח</u>** 4 מ'
(2 נקודות)

<u>מקצועות קדם</u>
044148 – גלים ומערכות מפולגות

המעבדה מיועדת לסטודנטים המעונינים לבצע פרוייקטים בתחום השדות או הגלים האלקטרומגנטיים. הפרוייקטים יהיו בנושא תכנון, מימוש ומדידה של התקנים שונים; המדידות תהיינה במישור התדר או במישור הזמן. קיימת אפשרות לבצע פרוייקטים נומריים באמצעות תוכנה קיימת. העבודה במעבדה עשויה להוות שלב ראשון בגיבוש נושא מחקר לקראת תואר גבוה.

049010 **קריפטוגרפיה: תאוריה ויישום** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

היסודות העיוניים של הקריפטוגרפיה המודרנית ותכנון כלים קריפטוגרפיים לפתרון של בעיות אבטחת מידע. הנושאים ייבחרו מתחומי הקריפטוגרפיה כגון, יסודות ההצפנה ומרחבים פסאודו-אקראיים, פונקציות אימות, פרוטוקולי אפס ידיעה, קריפטוגרפיה מבוזרת ויישומים באבטחת מידע ורשתות תקשורת.

Will not be given the year

Selected Topics in the Theoretical Foundations of Cryptography and the Design of Practical Schemes Used in Information Security Applications.
Particular Topics May Include: the Study of Formal Foundations of Encryption and Pseudorandomness, Authentication Algorithms, Zero- Knowledge Protocols, Distributed Cryptography and Applications to Network Security.

049011 **נושאים מתקדמים במחשוב 2** **ע. קידר** 2 ה'
(2 נקודות)

קורס מתקדם בנושאים שונים הקשורים בתכנון ויישום מערכות חישוב. הקורס ישמש גם כבסיס למשתלמים המעוניינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור בתחום.

נושא הקורס בתשפ"ב: נושאים בחישוב מקבילי ומבוזר

דרישות קדם:
046272– מערכות מבוזרות :עקרונות **או**
046001 – הנדסת מערכות תוכנה מבוזרות **או**
046273 – תכנות פונקציונלי מבוזר **או**
236357 – אלגוריתמים מבוזרים א' **או**
236755 – אלגוריתמים מבוזרים ב' **או**
236351 – מערכות מבוזרות

הקורס יעסוק בנושאים מתקדמים במערכות מבוזרות ומקביליות ומאמרים חדשים מהספרות בתחום. בסמסטר הנוכחי נדגיש שני כוונים עיקריים –

1. אבסטרקציות וניהול זיכרון במערכות מקביליות
2. הסכמה ביזנטית

הסילבוס יורכב כרשימת מאמרים, להלן רשימה טנטטיבית:

The Splay-List: A Distribution-Adaptive Concurrent Skip-List
Efficient Multi-Word Compare and Swap
LL/SC and Atomic Copy: Constant Time, Space Efficient Implementations Using Only Pointer-Width CAS
Efficient Algorithms for Persistent Transactional Memory
Constant-Time Snapshots with Applications to Concurrent Data Structures
OrcGC: Automatic Lock-Free Memory Reclamation
Efficiently Reclaiming Memory in Concurrent Search Data Structures While Bounding Wasted Memory
NBR: Neutralization Based Reclamation

Improved Extension Protocols for Byzantine Broadcast and Agreement
Dumbo-MVBA: Optimal Multi-Valued Validated Asynchronous Byzantine Agreement, Revisited
Scalable Byzantine Reliable Broadcast
Asynchronous Distributed Key Generation for Computationally-Secure Randomness, Consensus, and Threshold Signatures.

מטלות:
קריאת מאמרים, הגשת כ 10 דוח״ות סיכום ושיפוט על מאמרים, הצגה מקיפה של מאמר אחד, כולל רקע מהספרות.

מקורות:
מאמרים מהספרות.

תוצאות למידה:
הסטודנטים יחשפו לחזית המחקר בתחום המערכות המבוזרות ונושאים הנחקרים היום. בנוסף, הם יתרגלו קריאה ביקרותית, ילמדו למה מצפים במאמר מחקרי מוביל, ואיך להבין ולהציג את התרומה של מאמר בתוך ההקשר הרחב של עבודות בתחום.

The course will cover advanced topics in distributed and parallel systems and new research papers in the field. The course will emphasize persistent memory (NVRAM) and parallel algorithms that access it, as well as Byzantine Agreement and its applications in blockchains. The emphasis will be on critical reading of academic papers.

049014 **נושאים מתקדמים בהסתברות ותהליכים אקראיים 2** — 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

.סקירת ההתפתחויות בתורת ההסתברות ובתהליכים אקראיים בשנים האחרונות

Will not be given the year

Review of Updated Developments in Probability Theory and Random Processes.

049015 **עיבוד אותות וידאו** — 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

ייצוג אותות וידאו, אנליזת תדר ודגימה של אותות וידאו, מודלים של מצלמה ותנועה, שערוך תנועה וקיזוזה, סינון בציר הזמן להפחתת רעש ואינטרפולציה בין- תמונות, קידוד אותות וידאו בתחום הזמן- מרחב ובתחום ההתמרה, קידוד היברידי, עיבוד וידאו מקודד, עמידות לשגיאות ערוץ, קידוד וידאו מבוזר.

Will not be given the year

Video Representation,Frequency Domain Analysis and Sampling of Video Signals, Video Camera and Motion Models, Temporal Filtering for Noise Removal and Inter-Picture Interpolation, Video Coding in Temporal, Spatial, and Transform Domains. Hybrid Coding, Coded Video Processing, Error Resilience, Distributed Video Coding.

049016 **תכן ומודלים של מיקרומערכות אלקטרומכניות (MEMS)** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

מודלים של מיקרומערכות בתחומים הבאים: מכני (סטטי ודינמי), תרמי, אלקטרואופטי, פלואידי, אלקטרוסטטי ומגנטי. מודלים לרעש ב mems: רעש חשמלי) גונסון גנרציה-רקומבינציה (f, ktc/1, תרמו-מכני וטמפרטורה. שיטות נומריות ו memscad: שימוש בשיטת אלמנטים סופיים ובחבילות תוכנה מסחריות. דוגמאות ל mems: מצלמת cmos ir, חישנים אינרציליים, מיקרומערכות של חישנים כימים וביולוגים. סיכום דרישות מערכתיות לביצועים ומדדי ביצועים.

Will not be given the year
Modeling of Mems in the Following Domains: Mechanical (Statics and Dynamics), Thermal, Electro-Optical, Fluidics, Electrostatics and Magnetostatics. Modeling of Noise in Mems: Electrical Noise-Jhonson, G-R, 1/F, Ktc, Thermal-Mechanical Noise and Temperature Noise. Numerical Methods and Mems Modeling by Memscad: Fem, Commercial Packages Such as Memscad. Case Studies of Mems: Cmos Ir Camera, Inertial Sensors, Chemical and Bio-Medical Microsystems. Summary of System Performance Requirements and Figures of Merits.

049017 **נושאים מתקדמים במחשוב 3** 2 ה׳ + 1ת׳, (3 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם בנושאים שונים הקשורים בתכנון ויישום מערכות חישוב. נושאי הקורס יכולים להוות בסיס לעבודות מחקר בתחום. סמסטר א׳ תשע״ח: נושאים מתקדמים בחומרה. סמסטר א׳ תש״ף: נושאים מתקדמים באבטחת מערכות חומרה - מתאוריה להתנסות.

Will not be given the year

Advanced Course Dealing with a Variety of Topics in Design and Implementation of Computing Systems.

049018 **נושאים מתקדמים בתכנון מחשבים 3** **מ. זילברשטיין** 2 ה׳ (2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ״ב: נושאים במערכות הפעלה וחומרה בטוחות

מקצועות קדם:

046209 - מבנה מערכות הפעלה וגם 046210 - מעבדה במערכות הפעלה או
234123 - מערכות הפעלה
046267 – מבנה מחשבים או 236267 - מבנה מחשבים ספרתיים

סילבוס בעברית:

בקורס נתמקד בנושאים עכשוויים של במנגנונים חדשים בחומרה המבטיחים חישוב בטוח ופרטי, ובניית מערכות הפעלה שמנצלות חומרה זו ומערכות שמגנות מפני התקפות צד. הקורס יתבסס על המאמרים החשובים ביותר בתחום, וכן עבודות עכשויות עם דגש מיוחד על מערכות חומרה ותוכנה שמגנות מפני תוקפים חזקים.

מקורות:

מאמרים מהספרות.

תוצאות למידה:

הסטודנט:

1. ייחשף לנושאים ושיטות מחקר במערכות מחשבים
2. ייחשף לעקרונות של חומרה בטוחה.

שם הקורס באנגלית: Topics in Secure Hardware and Operating Systems

English Syllabus:

The course surveys main research topics on the hardware and software mechanisms that provide secure execution (specifically, Trusted Execution Environments), and Operating System design that leverages these mechanisms, as well as systems that protect against side channel attacks. It covers both classic papers and recent developments, with a special emphasis on software and hardware systems that protect against strong adversary.

Learning Outcomes:

The student

1. Will be exposed to the methods and important topics in systems research.
2. Will be exposed to Principles of secure hardware

049020 **פענוח רך של קודים לינאריים** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

צופני בלוק: מטריצה יוצרת, חלוקה לקוסטים, מרחקי הקוד, צופני reed muller. פענוח רך וקשה. דיאגרמת טרליס לקודי בלוק לינאריים: מרחב המצבים, תכונות מבניות, סימון המצבים. סיבוכיות, מינימליות. חיתוך למקטעים. (trellis sectionalization) בניית צופני בלוק: בניית צופנים מורכבים בעזרת צופנים פשוטים. צופני קונבולוציה: יצוג על ידי מטריצה יוצרת, שיטות לטרמינציה. פענוח למזעור הסתברות שגיאה למילת קוד: אלגוריתם ויטרבי, פענוח דיפרנציאלי, פענוח רקורסיבי לקודי בלוק. פענוח למזעור הסתברות שגיאה לסיבית: אלגוריתם map, sova. צופני מכפלה (product codes). פענוח איטרטיבי. מבוא לקודי טורבו וטורבו בלוק ldpc ופענוח איטרטיבי של קודים אלו. שילוב צפינה ואפנון (tcm). צופני סריג ותכונותיהם.

Will not be given the year

Linear Block Codes: Generator Matrix, Minimum Distance and Weight Distribution, Decoding - Hard and Soft Decision, Reed Muller Codes, Trellis Representation of Linear Block Codes, Bit Level Trellises for Binary Linear Codes, State Space Formulation, Structural Properties, Trellis Complexity, State Complexity, Minimal Trellises, Trellis Structure of Cyclic Codes, Methods for Constructing Codes and Trellises. Trellises for

Convolutional Codes and Their Related Linear Block Codes. the Viterbi and Differential Trellis Decoding Algorithms, Iterative Decoding: the Map and Sova Algirithms, Low Density Parity Check Codes, Modulation Codes: Trellis Coded Modulation, Lattice Codes.

049021	**רשתות תורים**	2 ה', (2 נקודות)

הקורס הוחלף בקורס מספר 046021.

049022	**נושאים מתקדמים באלקטרואופטיקה 3**	2 ה', (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס מתקדם באלקטרואופטיקה העוסק בנושאי מחקר מתחומו של המרצה. סמסטר א' תש"ף: אלקטרודינמיקה קוונטית מאקרוסקופית ויישומיה באינטראקציות אור-חומר ואלקטרואופטיקה.

Will not be given the year

Advanced Course in Electro-Optics. the Topics Will Be Chosen by the Lecturer.

049023	**תקשורת סלולרית ואלחוטית**	2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

דגש הקורס יהיה על physical interface של מערכות תקשורת סלולרית ואלחוטית. נושאי הקורס: מבוא לתקשורת סלולרית, ערוץ עם דעיכות, שיטות שונות (diversity techniques) במרחב (mimo, blast) בזמן ובתדר: שיטת גישה למערכות מרובות משתמשים (fdma, tdma) ובמיוחד דגש על (wcdma), cdma, ו-ofdm ממשק הרדיו (radio interface) של דור ראשון, שני ושלישי של מערכות סלולריות עם מבט לעתיד - דור רביעי.uwb, ofdm

Will not be given the year

The Emphasis in the Course Will Be on the Radio (Or Physical Interface) of Digital Cellular and Wireless Communication Systems. Main Topics of the Course: Introduction to Cellular and Wireless Communications, Multipath Fading Channel, Diversity Techniques - Antenna (Mimo, Blast), Time and Frequency. Multiple Access Techniques- Fdma, Tdma and a Special Emphasis on Cdma, Wcdma and Ofdm. Radio Interface of First, Second and Third Generation Cellular and Broadband Wireless Systems. a Look to the Future - Fourth Generation, Ofdm, Uwb.

049024	**התפשטות הבזקי אור בסיבים ובתווכים בעלי פיזור גבוה.**	2 ה', (2 נקודות)

לא יינתן השנה

פיתוח, המבוסס על תורת המידה של משוואת שרדינגר הלא ליניארית בייצוגה הווקטורי, לניתוח התפשטות הבזקי אור בסיב. הצגת פתרונות של המשוואה לניתוח מערכות לתקשורת אופטית ולייזרי סיב. מבוא לסוליטונים אופטיים ולתורת הפיזור ההפוך. ניתוח של התפשטות הבזקי אור קצרים בתווכים אופטיים בעלי פיזור גבוה, המבוסס על משוואת הטרנספורט ומשוואת הדיפוזיה. מערכות למיפוי אופטי של רקמות ביולוגיות לצרכים רפואיים.

Will not be given the year

Derivation of the Vectorial Nonlinear Schrodinger Equation, Based on the Multiple Scale Method, for Analyzing the Propagation of Short Pulses in Fibers. Solutions of the Equation for Analyzing Optical Communication Systems and Fiber Lasers. An Introduction to Soliton Theory and Inverse Scattering Theory. Analysis of Short Pulse Propagation in Highly Scattering Media, Based on the Transport and the Diffusion Equation. Techniques for Optical Interrogation of Biological Tissues for Medical Applications.

049026 **ידע ומשחקים במערכות מבוזרות** **י. מוזס** 2ה׳ (2 נקודות)

מקצועות קדם מומלצים: 044268- מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים א
234247- אלגוריתמים 1, או דומה
ו/או 234293- לוגיקה ותורת הקבוצות למ״מ או,
106156- לוגיקה מתמטית, או דומה

מקצוע דומה: 049017 – נושאים מתקדמים במיחשוב 3 שניתן בתשס״ב, או אישור המרצה

קורס זה מציג את תורת הידע במערכות מבוזרות וידגים את שימושיה בתכן וניתוח תכניות מחשב מבוזרות ומשחקים מרובי משתתפים. הכרת נושאים כגון לוגיקה מתמטית, ו/או אלגוריתמים מהווה יתרון. הנושאים הנלמדים יכללו: סמנטיקה של עולמות אפשריים, מידול מערכות מבוזרות, לוגיקות מודליות של ידע וזמן, ידע של סוכן יחיד, ידע משותף ומצבי ידע קבוצתיים אחרים, ידע במשחקים, שימושים בתכן וניתוח תכניות מחשב מבוזרות ומשחקים.

מקורות:

Reasoning about knowledge. Fagin R. et al. MIT Press, 2003. s.n. 2260116, s.n. 2195667.
Hintikka, J. Knowledge and belief: An introduction to the logic of the two notions. Cornell University Press, 1962. s.n. 2103268.
זמיר, ש., משלר,מ., סולן,א. תורת המשחקים. מאגנס, תשס״ח 2008. מ.מ. 2299306.
חפץ, א., גוגנהימר, י. חשיבה אסטרטגית: תורת המשחקים ושימושיה בכלכלה ובניהול. אוניברסיטה הפתוחה, תשס״ח , 2008. מ.מ. 2296800.

049027 **תורת האינפורמציה למערכות מרובות משתמשים** 2ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

ערוץ גאוסי וקטורי ומשפטי water pouring. ערוץ גאוסי מוגבל סרט. ערוץ משתמש יחיד התלוי במצב אקראי. קיבול עם מידע צד. הצגת המודלים הבסיסיים של ערוצים מרובי משתמשים. תחום קיבול ומשפט קידוד לערוץ מרובה גישות. ערוץ גאוסי מרובה גישות. מודל כללי לערוץ הפצה broadcast) channel(. ערוץ הפצה מדורג. (degraded) תחום קיבול ומשפט קידוד. ערוץ הפצה למקורות מתואמים. (slepian-wolf) קידוד מקור עם עיוות ומידע צד. בעית wyner-ziv. אופציונלי: דואליות בין בעיות קידוד עם מידע צד וקידוד מקור עם מידע צד.

Will not be given the year

Basic Results on Single-User Channel Coding. the Gaussian Channel. Vector Gaussian Channel and Water Pouring. Band Limited Gaussian Channel. Single-User Channels That Depend on Random States. Capacity with Side Information. the Basic Multi-User Channel Models. Coding Theorem and the Capacity Region of the Multiple Access Channel (Mac). the Gaussian Mac. the General Broadcast Channel. the Degraded Broadcast Channel (Dbc). the Gaussian Broadcast Channel. Overview of Basic Results on Single-User Source Coding. Lossless Coding for Correlated Sources (Slepian-Wolf). Lossy Source Coding with Side Information. the Wyner-Ziv Problem. Optional: Duality Between Channel Coding and Source Coding with Side Information.

049028 **<u>עיבוד תמונות מורפולוגי</u>** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מורפולוגיה מתמטית - הגדרות ומוטיבציה, מורפולוגיה בינרית (תיאוריה ושמושים), הרחבה לרמות אפור (תיאוריה ושמושים), יישום, אופרטורים קשירים, סינון מורפולוגי, ייצוג מורפולוגי של תמונות, סגמנטציה בעזרת אלגוריתמי ה watershed -מורפולוגיה בסריגים שלמים, היבטים מתקדמים.

Will not be given the year

Mathematical Morphology - Definitions and Motivation, Binary Morphology (Theory and Applications), Generalization to Grayscale (Theory and Applications), Implementation, Connected Operators, Morphological Filtering, Morphological Image Representation, Segmentation Using the Watershed Algorithm, Morphology of Complete Lattices, Advanced Topics.

049029 **<u>סמינריון בעיבוד אותות ותקשורת</u>** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

סקירת אלגוריתמים שונים לאופטימיזציה בעיבוד אותות ותקשורת מהספרות המדעית. בעיות דקונבולוציה, הפרדת מקורות בצורה עוורת, חסמים על שגיאות שערוך, משווני ערוץ בזמן ובתדר, כולל משוונים עוורים ותקשורת קוונטית

Will not be given the year

Survey of Algorithms for Optimization in Signal Processing and Communications That Have Been Published in the Current Professional Literature. Topics Will Include Blind Deconvolution, Blind Source Separation, Bounds on Error in Parameter Estimation, Channel, Equalization in Time and Frequency Including Blind Equalization and Quantum Communication.

049030 **<u>נושאים במערכות אחסון</u>** **<u>י. בירק</u>** 2ה'
(2 נקודות)

<u>מקצוע קדם:</u>
044334 – מבוא לרשתות מחשבים (או מקצוע דומה)
046209 – מבנה מערכות הפעלה (או מקצוע דומה)
046267- מבנה מחשבים (או מקצוע דומה)

<u>מקצוע דומה:</u>
048750- נושאים מתקדמים בתכנון מחשבים 1- שניתן בתשס"ג, תשס"ד

המקצוע יעסוק במערכות אחסון מתקדמות ועתירות תקשורת, במטרה להקנות לסטודנט יכולת לחשיבה ביקורתית בתחום ואף לקידומו בהמשך הדרך. במקצוע ידונו ארכיטקטורות של מערכות אחסון מודרניות מבוססות רשת (SAN, NAS, Object Store) וכן מערכות ופרוטוקולי תקשורת רלבנטיים (iSCSI, Fibre Channel Architecture, ו- Infiniband). כמו-כן יבחן הקשר בין צרכי פונקציות אחסון עיקריות והארכיטקטורות השונות.

מקורות:

1. Clark, T. IP SANs: A Guide to iSCSI, iFCP, and FCIP Protocols for Storage Area Networks. Addison-Wesley, 2002. s.n. 2242516.
2. Hufferd, J. L. ISCSI: The Universal Storage Connection. Addison Wesley, 2003. s.n. 2258399

049031 **מודלים ואופטימיזציה של קווי חיבור ב-VLSI** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

החשיבות הגוברת של החיבורים במערכות vlsi בעקבות התפתחות הטכנולוגיה, מבחינת מהירות, הספק, רעש, שטח ומאמץ התכנון. מגבלות הנובעות מרשתות- חיבורים בשבבים. שיקולים בתכנון vlsi להספק נמוך. בזבוז הספק הנובע מקווי חיבור. מודלים לחישוב שיהוי בקווים ובעצי- חיבור. תכונות מודל elmore לשיהוי. שימוש בחוצצים לאופטימיזציה של מהירות בקווים ובעצי חיבורים. חישובים וקירובים של רעש ספרתי וצימוד בין קוים ברמת השבב. אנליזה סטטית של שיהוי ושל רעש במסלולים לוגיים. ניתוב אוטומטי : מינימיזציה של אורך קוים, מסלולים והשהיות. השראות קווי חיבור בשבבים. הפצת אותות שעון. אספקת מתחים. רשת תקשורת על שבב.

Will not be given the year

The Growing Importance of Interconnect Due to Technology Advancement, in Terms of Speed, Power, Noise, Area and Design Effort. Limitations of on- Chip Interconnects. Low Power Vlsi Design . Interconnect Power. Delay Models for Interconnect Lines and Trees. Properties of the Elmore Delay Model. Repeater Insertion for Speed Optimization in Interconnect Lines and Trees. Calculation and Approximation of Digital Crosstalk Noise at the Chip Level. Static Analysis of Delay and Noise in Logical Paths. Routing for Minimal Wire- Length, Path- Length, Or Path Delay. Interconnect Inductance. Clock Distribution Networks. Power Distribution Networks. Networks of Chip.

049032 **נושאים מתקדמים בתקשורת ואינפורמציה 4** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

התפתחויות בתחום התקשורת מההיבט של תורת האינפורמציה ותורת התקשורת הסטטיסטית.

Will not be given the year

Updated Developments in the Communication Field from the Aspects of Information Theory and Statistical Communication Theory.

049033 **שיטות דגימה מוכללות** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מרחבי הילברט, מכפלות פנימיות, טרנספורמציות לינאריות, בסיסי ריס (riesz bases), הטלות אורתוגונליות ומלוכסנות (oblique projections) תורת המסגרות (frame theory).הצגת אותות במרחבי הילברט כללים, שחזור אופטימלי של אותות במרחבים כלליים, שחזור עקבי של אות ממדידות נתונות, דגימת יתר באמצעות מסגרות מלוכסנות (oblique frames). שיטות אינטרפולציה אופטימליות. הצגה גאומטרית של הדגימה והשחזור באמצעות הטלות מלוכסנות.

Will not be given the year

Hilbert Spaces, Inner Products, Linear Transformations, Riesz Bases, Orthogonal and Oblique Projections, Frame Theory. Signal Representations in General Hilbert Spaces, Optimal Reconstruction of Signals in General Spaces. Consistent Reconstruction of a Signal from Given Measurements, Over- Sampling Using Oblique Frames. Optimal Interpolation Methods. Geometric Representation of Sampling and Reconstruction Using Oblique Projections.

049034 **מערכות דימות לראייה ממוחשבת** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

הנושאים: האפקטים הפיזיקלים המתרחשים בסצינה ובמערכת ההדמייה, חיישנים ואלגוריתמים לניתוח תמונות המסייעים לראייה ממוחשבת וראייה אנושית. כלים מתקדמים לעיבוד תמונות והשלכותיהם. ראייה כלל-כיוונית, תחום דינאמי וקיזוז חוסר לינאריות של מצלמות, מיזוג תמונות (image fusion), תרומתם של רצפי-וידאו ומוזיאקות של תמונות, הדמייה מולטי-ספקטרלית, ראייה בתנאי תאורה כלליים ולא ידועים, ראייה דרך תווך מפזר, ניצול האופי הגלי של האור, מיקרוסקופיה אופטית, עקיבה.

Will not be given the year

Topics: Physical Effects Happening in the Scene and in the Imaging System. Imaging Sensors and Image Analysis Algirithms That Help Computer and Human Vision, Advanced Image Processing Tools for the Imaging Communities.Omnidirectional Vision, High-Dyamic-Range and Compensation for Camera Nonlinerities, Image Fusion, Contribution of Video Sequences and Image Mosaics, Multispectral Imaging, Vision in General and Unknown Lighting, Imaging through Scattering Media, Explotation of the Wave-Nature of Light, Optical Microscopy,Tracking.

049035 **עיבוד אותות דיבור בסביבה רועשת** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

יצירה והבנה של דיבור, עיבוד דיבור בחלונות זמן, אנליזה וסינתזה בזמן- תדר, התמרת wavelet, אנליזה רב- רזולוציות, מודיפיקציה בזמן- סקלה, שיערוך תדר- יסודי, שיערוך פורמנטים, מודל החיזוי הלינארי, שיפור אות דיבור בתנאי רעש, הפחתה ספקטראלית, שיחזור איטרטיבי, עיבוד מבוסס מודל, שיערוך אמפליטודה ספקטראלית, שיערוך ספקטרום רעש, תופעת המיסוך במערכת השמיעה, מדדי איכות של דיבור, מערך מיקרופונים, סינון רעש מסתגל ,(anc)עיבוד מרחבי ,(beamforming) סינון רעש במערך מיקרופונים, הפרדת מקורות.(bss)

Will not be given the year

Speech Production and Perception, Short- Term Processing of Speech, Short- Time Fourier Analysis/ Synthesis, Wavelet Transform, Multiresolution Analysis, Time- Scale Modification, Pitch and Formant Estimation, Linear Prediction Analysis, All- Pole Modeling, Speech Enhancement, Spectral Subtraction, Iterative Enhancement, Model Based Processing, Optimal Spectral Magnitude Estimation, Noise Spectrum Estimation, Auditroy Masking, Speech Quality Assessment, Microphone Arrays, Adaptive Noise Canceling, Beamforming, Post- Filtering Techniques, Blind Source Separation.

049036	**נושאים מתקדמים ב-VLSI 1**	**ר. גינוסר / ל. יביץ**	2 ה' (2 נקודות)

נושא הקורס בתשפ"ב ארכיטקטורות VLSI לריצוף DNA ואנליזה גנומית

שם עברי מקוצר: ארכיטקטורות VLSI לריצוף DNA

דרישות קדם:

מקצועות קדם/מקצוע זהה/מקצועות ללא זיכוי נוסף/דרישות צמידות

אין כל צורך ברקע בביולוגיה או גנומיקה

מתאים לכל בעלי / מסיימי תואר ראשון בהנדסת חשמל או מחשבים

סילבוס בעברית

ריצוף DNA הביא למהפך במחקר ביולוגי, ברפואה, בפתוח תרופות וביכולת שלנו להבין, ולימים אף לשלוט באבולוציה אנושית. המדע הגנומי מתקדם במהירות ממצב של הבנת הקוד הגנטי שלנו, למצב של עריכתו שליטה בו, מה שיאפשר בתקווה לרפא מחלות קשות ולעצור מגיפות. ריצוף ואנליזה מהוות משימות חישוב כבדות ולכן נעסוק בארכיטקטורות להאצת החישוב

מקורות:

תוצאות למידה:

13. עם השלמת הקורס בהצלחה, הסטודנטים ילמדו יסודות של ריצוף DNA ויכירו שרשרת אנליזה גנומית
14. הסטודנטים יכירו באופן פרטני את אבני היסוד ואלגוריתמים של אנליזה גנומית.
15. הסטודנטים יכירו את התחום של האצת אנליזה גנומית ויעקרונות התכנון של מאיצי גנומיקה.

הרכב הציון: הציון יתבסס על הרצאה של הסטודנט/ית בקורס, ועל תרגילים קצרים המתייחסים להרצאות של אחרים

נושא הקורס באנגלית: VLSI Architectures for **DNA sequencing and Genome Analysis**

English syllabus:

DNA sequencing has opened the door to most significant developments in biological research, in healthcare, in pharmaceutics and, eventually, in our ability to control our own evolution, heritage and species. Science is progressing fast from mere understanding of our genetic code to being able to manipulate it, e.g. in order to cure major diseases such as cancer and eliminate major pandemics.

The course will cover the following topics:

- The challenges of, and algorithms for, DNA sequencing, genome analysis pipeline and toolchain.
- The reasons for, and the purpose of, accelerating bioinformatics computations.
- A short intro into high-throughput DNA sequencing
- Recently developed bioinformatics and genome analysis techniques such as
    - Conversion of electrical signals into DNA basepairs (basecalling) using Recurrent Neural Networks
    - A variety of genome analysis "building blocks" such as Smith-Waterman DNA sequence alignment, suffix arrays, kmers and minimizers, seed and extend techniques, De-Bruijn graphs etc.
    - Short and long DNA read alignment
    - Reference based genome assembly
    - De-novo genome assembly
    - Variant calling using Convolutional Neural Networks.
- VLSI accelerators for bioinformatics, and their software-hardware co-design.

The course will combine lectures and student seminars for presenting and criticizing leading papers about the topic.

Learning Outcomes:

1. At the end of the course, students will learn the basics of DNA sequencing and gain an understanding of genome analysis pipeline and toolchain.
2. Students will gain specific knowledge of most commonly used genome analysis techniques and algorithms.
3. Students will get familiar with the field of hardware acceleration of genome analysis, and gain an understanding of the design principles of genomic accelerators

---

049037	**נושאים מתקדמים ב- VLSI 2**	2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים מתקדמים במבנה, תכנון וניתוח של מערכות vlsi. הקורס ישמש כבסיס למשתלמים המעוניינים לבצע עבודת מגיסטר או דוקטור.

Will not be given the year

Advanced Topics in Design and Analysis of Vlsi Systems. the Course Will Also Serve as a Basis for Students Interested in Carrying Out Thesis Research in the Field.

049040	**קודי גרף ואלגוריתמי פענוח איטרטיביים**	2ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים: תיאור קודי- גרף מסוג ldpc ו ra -בתקשורת מקודדת. ניתוח קודי ldpc בערוץ מחיקה בינארי. ניתוח ביצועים מול סיבוכיות הקידוד ופענוח קודי ldpc וקודי ra בערוץ מחיקה. אלגוריתמי פענוח איטרטיביים מסוג העברת הודעות (message- passing) ואלגוריתם sum- product. ניתוח קודי ldpc בערוצים בינאריים, סימטריים וחסרי זכרון ופיתוח משוואות density evolution. אלגוריתם bcjr ופענוח איטרטיבי מסוג map של קודי טורבו. עקומות exit לבחינת קצב ההתכנסות של אלגוריתם פענוח איטרטיבי factor graphs. ושימושיהם לפיתוח אלגוריתמי פענוח איטרטיביים בתקשורת ספרתית.

Will not be given the year

Topics: Coded Communications Ldpc and Ra Codes. Asymptotic Anlysis of Ldpc Ensembles on the Binary Erasure Channel. Performance Vs. Complexity of Ldpc and Ra Codes on the Binary Erasure Channel. Iterative Message-Passing Decoding Algorithms and the Sum-Product Algorithm. Asymptotic Analysis of Ldpc Ensembles on Binary-Input Output - Symmetric Memoryless Channels and the Derivation of Density Evolution Equations. the Bcjr Algorithm and Log-Map Iterative Decoding of Turbo Codes. Exit Charts for the Examination of the Convergence Behavior of Iterative Decoding Algorithms. Facotr Graphs and Their General Appllications in Digital Communications.

049041	**רשתות עצביות ביולוגיות : עיבוד מידע, חישוביות ולמידה**	2ה' (2 נקודות)

הוחלף בקורס: 046041- רשתות עצביות ביולוגיות: עיבוד מידע ולמידה.

049042	**מעגלים פוטוניים מתקדמים**	2ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

הבסיס הפיסיקלי והכלים המתמטיים להבנה ולתכנון מעגלים פוטוניים הממומשים כשבבים אופטיים. נושאים: סקירת תחום השבבים האופטיים ויישומיהם והבסיס הפיסיקלי לגלי- שטח אופטיים. אופני מבנים להולכת גלים אופטיים (במיוחד בתווכים מורכבים ומבנים ננו-פוטוניים). האלמנטים הבסיסיים של השבבים האופטיים (כגון, מצמדים ומתגים אופטיים, מבנים מחזוריים המשולבים במוליכי גל, אלמנטים לסינון וניתוב פוטוני). פלסמוניקה- הולכת אור במבנים ננו מתכתיים.

Will not be given the year

The Physical Foundation and the Mathematical Tools for the Comprehension and Design of Photonics Circuits on An Optical Chip. Topics: Overview of Optical Chips and Application - the Physical Foundation of Optical Surface Waves. the Modes of Optical Structures Based on Complex Media and Especially Nano-Sized. Basic Photonic Circuit Elements (Including Optical Couplers, Switcher, Periodic Structures, Filtering and Routing Elements). Plasmonics - Light Guiding in Nano - Metalic Structures.

049043 **דחיסת מידע אוניברסלית** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

לאורך משתנה , (f-v) ומאורך משתנה לאורך קבוע , (v-f) מודלים הסתברותיים למקורות אינפורמציה בעלי זיכרון, צפינה אוניברסלית למחלקות של מקורות הסתברותיים, אלגוריתם למפל- זיו, יישומים של צפינה אוניברסלית לבעיות שונות.

Will not be given the year

Basic Concepts and Elementary Results in Lossless Compression, Fixed- to- Variable (F-V) and Variable- to- Fixed (V- F) Length Coding Techniques, Probabilistic Models for Information Sources with Memory, Universal Coding for Probabilistic Sources, the Lempel-Ziv Algorithm, Applications of Universal Coding to Various Problems.

049044 **דחיסת מידע עם עיוותים** 2ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

בסיסיות של פונקצית קצב- עוות, יצוגים חלופיים לפונקצית קצב- עוות, אלגוריתם arimoto- blahut. פונקצית קצב- עוות למקורות עם זיכרון : המקור הגאוסי, חסמים על פונקצית קצב- עוות, קוונטיזציה וקטורית, השפעת מידע צד, קידוד פרוגרסיבי, מעריכי שגיאה בדחיסה עם עוותים, מקודדים סיבתיים לדחיסת מידע, טכניקות קידוד ברזולוציה גבוהה.

Will not be given the year

Basic Concepts and Fundamental Results in Information Theory, Basic Properties of the Rate- Distortion Function, Alternative Representations of the Rate- Distortion Function, the Arimoto- Blahut Algorithm, the Rate- Distortion Function for Sources with Memory, the Gaussian Source, Bounds on the Rate- Distortion Function, Vector Quantization, the Effect of Side Information, Progressive (Scalable) Coding, Error Exponents in Source Coding, Casual, Source Coding, High- Resolution Source Coding Techniques.

049045 **ארכיטקטורות נתבים** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

049047 **מבוא לאלקטרוניקה מולקולרית** 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

שימושי האלקטרוניקה המולקולרית, תורת לנדאואר, מחסום שוטקי, הולכה חשמלית דרך מולקולה בודדת, נקודות קוונטיות ומחסום קולומב, מערכות אלקטרו- מכאניות בסקלה ננומטרית, צינוריות פחמן- תכונות אופטיות, חשמליות ומכאניות ושימושים.

Will not be given the year

Applications to Molecular Electronics, Landauer Theory, Schottky Barrier, Electrical Transport through Single Molecule, Quantum Dots and Coulomb Blockade, Nano- Electro-Mechanical Systems, Carbon Nanotubes- Electrical, Mechanical and Optical Properties and Their Applications.

049049 **גישות מידול ושיטות חישוביות בתורת הגלים** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

ניסוח בעיות באמצעות משוואות אינטגרליות, במישור הזמן והתדר. היבטי יחידות, הפתרון והבטחתו בעזרת ניסוחים אלטרנטיביים. פיזור מגופים סגורים ופתוחים העשויים ממוליך מושלם. פיזור מגופים דיאלטריים המוגנים ולא- המוגנים. מעבר דרך מפתחים. פיזור ממבנים מחזוריים וסריגים פוטוניים. ניתוח אופני התפשטות במובילי גלים מתכתיים ודיאלקטריים. שיטת המומנטים. שיטת המקורות הפיקטיביים. התכנסות ויציבות הפתרון הנומרי. היבטי סיבוכיות וגישות להאצת פתרונות. שיטות פרטורבציה. שיטות קירוב ואריאציוניות.

Will not be given the year

Integral Equation Formulations in Electromagnetics. Issues of Solution Uniqueness. Scattering by Perfect Electric Conductors, Open and Closed. Scattering by Homogeneous and Inhomogenenous Dielectric Bodies. Electromagnetic Transmission through Apertures. Scattering by Periodic Structures and Photonic Crystals. Modal Field Determination in Metallic and Dielectric Waveguides. the Method of Moments. the Fictitious Source Model Technique. Convergence and Stability. Various Aspects of Problem Complexity and Fast Solution Methods. Perturbation and Variational Techniques.

049050 **נושאים מתקדמים בננו אלקטרוניקה 1** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

נושאים מתקדמים בננו אלקטרוניקה מתחום עיסוקו של המרצה. סילבוס מפורט יקבע ע״י המרצה והוועדה ללימודי מוסמכים לפני הסמסטר בו יינתן הקורס. סמסטר א׳ תשע״ט: מערכות הפעלה נמוכות תקורה. סמסטר ב׳ תשע״ט: פיזור אנרגיה בהתקנים אלקטרוניים. סמסטר ב׳ תש״ף: ננו אופטו-אלקטרוניקה אינטגרטיבית עם חומרים דו-ממדים

Will not be given the year

Topics in Nano-Electronics, to Be Determined According to the Research Interests of the Teacher. a Detailed Outline Will Be Provided by the Teacher and the Graduate Studies Committee Prior to the Semester in Which the Course Is Taught.

049051 **נושאים מתקדמים בגרפיקה ממוחשבת** 2 ה׳ (2 נקודות)

לא יינתן השנה

קורס סמינריוני שיעסוק בנושאים מתקדמים בתחום הגרפיקה הממוחשבת. סילבוס מפורט יקבע ע״י המרצה והוועדה ללימודי מוסמכים לפני הסמסטר בו יינתן הקורס.

Will not be given the year

ASeminer That Will Address Advanced Topics in the Area of Computer Graphics. a Detailed Outline Will Be Provided by the Lecturer and the Graduate Studies Committee Prior to the Semester in Which the Course Is Given.

049052	**אופטו-אלקטרוניקה קוואנטית**	2 ה', 1ת' (3 נקודות)

הוחלף בקורס:
046052 - אופטו-אלקטרוניקה קוואנטית.

049053	**מעבדה בלמידה חישובית**	**מורי השטח**	4מ' (2 נקודות)

מקצועות קדם:
046195- מערכות לומדות

המעבדה מיועדת לסטודנטים המבקשים לערוך פרוייקטים בעלי זיקה ללמידה חישובית וישומיה בתחומים כגון, עיבוד שפה טבעית, זיהוי בתחומים כגון אודיו ותמונות ולמידה מחוזקת. הפרוייקטים יערכו בהדרכת חבר סגל בכיר. עריכת פרוייקט במעבדה עשויה להוות שלב ראשון בגיבוש נושא מחקר בתחום הלמידה.

אנא פנו לחבר סגל בתחום

מקורות:

1. Mitchell, T.M. Machine learning. Mcgraw-hill,1997.
2. Alpaydin, E. Introduction to machine learning. MIT Press.2004.
3. Duda. Hart and stork, pattern classification. Wiley. 2001.
4. Bishop, C.Pattern recognition and machine learning. Springer. 2007.
5. Hastie. The elements of statistical learning. Springer. 2001.

049054	**פיסיקה סטטיסטית ותורת האינפורמציה**	2ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

פיסיקה סטטיסטית בסיסית והקשר בינה לבין מדדי אינפורמציה: כלים אנליטיים ושיטות אסימפטוטיות בפיסיקה סטטיסטית-שיטת נקודת האוכף,שימוש בהתמרות הפוכות,שיטת הרפליקות: מערכות מרובות חלקיקים עם אינטראקציות ומעברי פאזה: אנלוגיות במערכות תקשורת מקודדות: מודל האנרגיות האקראיות ומעברי פאזה במערכות מקודדות: מעריכי שגיאה מנקודת ראות של פיסיקה סטטיסטית: נושאים אופציונאליים נוספים.

Will not be given the year

Elementary Statistical Physics and Its Relation to Information Measures: Analytical Tools and Asymptotic Methods in Statistical Physics-the Saddle-Point Method, Inverse Transforms, the Replica Methods: Many-Particle Systems with Interactions and Phase Transitions: Analogies in Coded Communication Systems: the Random Energy Model (Rem) and Phase Transitions in Coded Systems: Error Exponents from the Statistical Physics Perspective: Additional Optional Topics.

049055	**ננו-פוטוניקה**	**ג. ברטל**	2 ה' (2 נקודות)

הוחלף בקורס
046055 - ננו-פוטוניקה ומטא-חומרים אופטיים

049056	**נושאים בראייה ממוחשבת: ניתוח צורה**	**א.טל**	2 ה' (2 נקודות)

מקצועות דומים:
049051 - נושאים מתקדמים בגרפיקה ממוחשבת.

נלמד מאמרים עכשוויים בתחום של ניתוח צורה בתלת-מימד – רשימת המאמרים תעודכן כל שנה.

רשימת הנושאים:
דמיון, סגמנטציה, חילוץ האזורים החשובים, הבנת אוסף צורות, השלמת צורה, מציאת עקומות מאפיינות וכו'.

מקורות:
מאמרים מהספרות.

049057	**תכן זכרונות בלתי-נדיפים משולבים**	2ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

עקרונות ושיקולי תכנון של מעגלי זכרון בלתי נדיפים משולבים. תכונות פיסיקליות של התקני זכרון בסיסיים בטכנולוגיות שונות, מבנה אבני הבניין הבסיסיות של הזכרון וניתוחן. מעגלים ואלגוריתמים לקריאה ולכתיבה, שיקולי תכן לצפיפות אחסון, אמינות, ביצועים וצריכת הספק. עקרון תא מרובה, רמות, טכניקות לתיקון שגיאות ושיקולים מערכתיים וארכיטקטוניים

Will not be given the year

Principles and Design Considerations of High-Density Non-Volatile Memory Devices. Physical Properties of Basic Memory Elements in Different Technologies, the Structure of Memory Building Blocks and Their Analysis. Circuits and Algorithms for Read and Write, Design Consideration for Density,Reliability, Performance and Power Consumption. the Multi Level Cell (Mlc) Principle, Techniques for Error Correction, and High Level System and Architecture Consideration.

049058	**למידה ממוחשבת לבעיות מורכבות**	2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

תאוריה ואלגוריתמים של בעיות מורכבות ומעשיות בלמידה ממוחשבת (כגון סווג מסמכים, זיהוי דיבור ותיוג שמות ישויות). כלים מתקדמים לבעיות למידה מרובות מחלקות ובעלות מבנה, העתקת-למידה ולמידה של מספר בעיות במקביל, וכן למידה מודרכת למחצה ולמידה עם דגימה סלקטיבית.

Will not be given the year

Theory and Algorithms for Complex Real-World Problems, in Machine

049059	**תורת הגרפים ושימושיה בהנדסת מחשבים**	2 ה' (2 נקודות)

לא יינתן השנה

הצגות, איזומורפיזם, מבנה של גרפים, עצים, זרימה, חיבוריות, גרפים 3-חיבוריים. גרפים טרנזיטיביים: טרנזיטיביות בקדקודים, טרנזיטיביות בקשתות, מסלולי ומחזורי המילטון,

טרנספוזיציה. גרפים ומטריצות: שכנות ומפגש, ווקטורים עצמיים, דרגה, גרפים סימטריים. גרפים מישוריים: עקומי ג'ורדן, דואליות, נוסחת אוילר, גשרים, זהוי מישוריות, בעית ארבעת הצבעים. השיטה ההסתברותית: גרפים אקראיים, תוחלת, שונות, התפתחות גרפים אקראיים. צביעת גרפים: צביעת קודקודים, המספר הכרומטי, גרפים מושלמים, צביעת מפות, צביעת צלעות. התאמות: התאמות מקסימליות, גרפים דו צדדיים, התאמה מושלמת, אלגוריתמי התאמה.

Will not be given the year

Introduction: Representations, Isomorphism, Graph Structures, Trees, Flows, Connectivity, Transitivity, 3-Connected Graphs. Transitive Graphs: Vertex Transitivity, Edge Transitivity, Hamiltonian Paths and Cycles, Transposition. Graphs and Matrices: Adjacency and Incidence, Eigenvectors, Ranks, Symmetric Graphs. Planar Graphs: Jordan Curve, Duality, Euler Formula, Bridges, Planarity Recognition, the Four Color Problem. the Probabilistic Method: Random Graphs, Expectation, Variance, Evolution of Random Graphs. Graph Coloring: Vertex Coloring, the Chromatic Number, Perfect Graphs, Map Coloring, Edge Coloring. Matching: Maximum Matching, Bipartite Graphs, Perfect Maching, Matching Algorithms.

049060 היבטים מערכתיים של רשתות תקשורת 2 ה'
(2 נקודות)

לא יינתן השנה

מערכות של רשתות תקשורת. נושאי מחקר מתקדמים במערכות של רשתות,כגון מרכזי מידע, רשתות ענן, רשתות אלחוטיות/סלולריות, רשתות חיישנים, ופרוטוקולים מתקדמים של שכבות ה networks ו transport.

תוצאות למידה

בסיום הקורס הסטודנט

1. ירכוש הבנה של יסודות מחקר במערכות של רשתות.
2. יכיר ספרות עדכנית.
3. ירכוש מיומנויות הרצאה מדעית.

Will not be given the year

Networking Systems Research. Current Topics in Networking Systems, Such as Data Centers, Cloud Networks, Wireless/Cellular Networks, Sensor Networks, and Advanced Network/Transport Layer Protocols.

Learning Outcomes

At the End of the Course the Student

1. Acquire Understanding of the Fundamentals of Networking Systems Research.
2. Familiar with Current Literature.
3. Acquire Technical Presentation Skills.

049061 צפני קיטוב **ע. טל** 2ה'
(2 נקודות)

מקצוע צמד/מקצוע קדם:

046733 - תורת האינפורמציה.

צפני קיטוב הינם משפחה חדשה של קודים מתקני שגיאות. הם משיגים קיבול ערוץ, מפורשים (אין צורך לבחור צופן מתוך צבר) ובעלי אלגוריתמי הצפנה ופענוח יעילים. בקורס נלמד על קיטוב ערוץ,

פענוח ביטול עוקב, אקספוננטי שגיאה, אלגוריתמי בניית קודים, הרחבות למטריצת הקיטוב המקורית, דחיסה בעזרת קיטוב ונושאים נוספים ככל שיותיר הזמן.

מקורות:

[1] E. Arikan, "Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 55, pp. 3051-3073, 2009.

[2] E. Arikan and E. Telatar, "On the rate of channel polarization," in Proc. IEEE Int'l Symp. Inform. Theory (ISIT'2009), Seoul, South Korea, 2009, pp. 1493-1495.

[3] E. Sasoglu, "Polarization and polar codes," in Found. and Trends in Commun. and Inform. Theory, vol. 8, no. 4, 2012, pp. 259-381.

[4] I. Tal and A. Vardy, "How to construct polar codes," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 59, pp. 6562-6582, 2013.

תוצאות למידה:

הסטודנט יוכל לתכנן, להצפין ולפענח קוד קיטוב.

שם באנגלית: Polar Codes

סילבוס באנגלית:

Polar codes are a new family of error correcting codes. They are capacity achieving, explicit (there is no ensemble to pick a code from), and have efficient encoding and decoding algorithms. We will study the following topics: channel polarization, successive cancellation decoding, error exponents, code construction algorithms, generalizations of the original polarizing matrix, compression via polarization, and related subjects as time permits.

Learning outcomes:

The student will be able to design, encode, and decode a polar code.

049062 דימות ושחזור תלת-מימדי **י. שכנר** 2ה', (2 נקודות)

מקצועות קדם מומלצים:

046200 – עיבוד וניתוח תמונות או
236873 – ראייה ממוחשבת או
114210 – אופטיקה או בהתייעצות עם המרצה

מקצוע דומה:

048972- נושאים מתקדמים בראייה ממוחשבת 2- שניתן בתשע"ג ובתשע"ד.

הקורס מכסה גישות פיזיקליות למיפוי תלת מימדי של עצמים וסצינות, בעיקר על ידי אור. הגישות מבוססות על: טריאנגולציה גאומטרית, עומק שדה, תאורה מובנית, קוהרנטיות, פיזור, ניתוח של עקיפת

אור, הצללה, צל, קיטוב, הנדסה של מפתחים, פלואורוסנציה, זמן החזרה, וטומוגרפיה. הסצנות פורשות קני מידה: מיקרוסקופיים, מאקרוסקופיים ועד אסטרונומיים. בנוסף, הקורס סוקר גישות לתצוגה תלת ממדית.

מקורות:
מאמרים נבחרים

תוצאות למידה
בעקבות הקורס, הסטודנטים

1. יכירו עקרונות וגישות פאסיביות ואקטיביות למדידת מרחקי עצמים
2. יכירו עקרונות וגישות פאסיביות ואקטיביות למדידת שיפועים וצורות תלת ממדיים
3. יכירו עקרונות וגישות חישה לגופים נפחיים המעבירים קרינה (כגון טומוגרפיה)
4. יכירו עקרונות וגישות ליצירת אשליות אופטיות המנוצלות לתצוגה תלת-ממדית
5. יבינו את מגבלות ויתרונות הגישות השונות

Three-Dimensional Imaging and Reconstruction

The course covers physical approaches for three dimensional mapping of objects and scenes, mainly by light. The approaches are based on triangulation, depth of field, structured light, coherence, scattering, diffraction analysis, shading, shadows, polarization, aperture engineering, fluorescence, time of flight and tomography. The scenes span scales: microscopic, through macroscopic, to astronomic. In addition, the course reviews approaches for three-dimensional display.

References:
Selected papers

learning outcomes:

Following the course, the students will

1) Know principles and approaches for passive and active measurements of object range.

2) Know principles and approaches for passive and active measurements of object slopes (gradients) and three dimensional shapes.

3) Know principles and approaches for sensing volumetric objects (e.g., tomography).

4) Know principles and approaches for creating visual effects exploited for three-dimensional display.

5) Understand the limitations and advantages of the different approaches.

049063 **מידע בהתקני אחסון** **י. קסוטו** 2 ה' (2 נקודות)

מקצועות קדם:
044268- מבוא למבני נתונים ואלגוריתמים (או קורס דומה)
046267- מבנה מחשבים- (פטור אפשרי באישור המרצה)

מקצוע דומה:
048864-נושאים מתקדמים במערכות מחשוב 2 שניתן בשנת תשע"ב ותשע"ג.

סילבוס:

1. בעיות קומבינטוריות ואלגוריתמיות באחסון מידע

א. אלגוריתמי גישה: תורי פקודות ואופטימיזציה של מיקום ראש הקריאה/כתיבה

ב. השמה מאולצת של מידע

2. טיפול אנליטי במערכות תרגום כתובות
   א. מודלים קומבינטוריים
   ב. אופטימיזציה לשחיקה אחידה
   ג. אלגוריתמי גרפים להשמה מקובצת
3. יצוג מידע לגישה יעילה
   א. זכרונות כתיבה יחידה
   ב. קידוד מרובה כתיבות
4. אמינות מידע
   א. מודלי שגיאות
   ב. יסודות קודים לתיקון שגיאות
   ג. שגיאות חד- כיווניות
   ד. קודי מערך
   ה. אמינות מערכות אחסון
5. בעיות פתוחות
   א. תאוריה קומבינטורית
   ב. בעיות אלגוריתמיות
6. משימות הלימוד : הצגת מאמרים, פרויקטי סיום או בחינה – יוחלט בהתאם למספר נרשמים.

מקורות:
מאמרים ופרקים נבחרים.

Memory Systems, B. Jacob, S. Ng, D. Wang, Morgan Kaufmann Publishers, 1st edition (2007)

תוצאות למידה:
בסיום מוצלח של הקורס הסטודנט יכיר את הטכניקות האלגוריתמיות והאנליטיות המאפשרות תכן של התקני אחסון מודרניים, לרבות זכרונות לא נדיפים ומערכות אחסון מרובות משתמשים. שילוב של מודלים מתמטיים ומשימות מימוש יעניק סט כלים מקיף המאפשר תרומות מחקריות עמוקות ואפקטיביות.

שם הקורס באנגלית: Information in Storage Devices

Sylibus :

1. Algorithmic problems related to data access
   a. Command queues and rotational-position optimization
   b. Constrained data placement
2. Analytical treatment of indirection systems
   a. Combinatorial modeling of indirection systems
   b. Optimal wear leveling
   c. Data placement via graph algorithms

3. Data representation - Coding data for optimized access
    a. Write Once Memories
    b. Re-write codes
4. Data reliability
    a. Errors, faults and their models
    b. Basic elements in combinatorial and algebraic coding theory
    c. Asymmetric and unidirectional errors
    d. Array codes for storage systems
    e. Reliability analysis of coded storage systems
5. Open problems
    a. Combinatorial theory problems
    b. Algorithmic problems

6. Student participation: paper presentations, student projects and/or final exam: to be decided based on class size.

Learning outcomes:

Upon successful completion of the course, the student will know the algorithmic and analytical techniques that enable the design of modern storage devices, including non-volatile memories and large-scale storage systems. A combination of mathematical models and implementation assignments will provide a comprehensive set of tools laying the foundation for deep and effective research contributions in the area of data storage.

049064	**שיטות וריאציוניות בעיבוד תמונה**	**ג. גלבוע**	2 ה' (2 נקודות)

שם עברי מקוצר: שיטות וריאציוניות

דרישות קדם:

מקצועות קדם 046200 – עיבוד וניתוח תמונות

סילבוס בעברית

עקרונות במינימיזציית אנרגיה קמורה ולא קמורה. דיפוזיה לא לינארית (פרונה-מאליק) ולא איזוטרופית (וייקרט). אבולוציה של קוי מתאר אקטיבים לסגמנטציה. שיטות נומריות למימוש משוואות דיפרנציאליות חלקיות. Total variation denoising. פונקציונלים מסדר גבוה. אבולוציה של יריעות. אופרטורים ואנרגיות לא לוקאלים. יישומים – הורדת רעש, דקונבולוציה, חידוד תמונה, סגמנטציה, optical flow, רגיסטרציה.

מקורות:

1. G. Aubert and P. Kornprobst. *Mathematical problems in image processing: partial differential equations and the calculus of variations*. Vol. 147. Springer Science & Business Media, 2006.
2. T. Chan and J. Shen. *Image processing and analysis: variational, PDE, wavelet, and stochastic methods*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005.
3. J. Weickert. *Anisotropic diffusion in image processing*. Vol. 1. Stuttgart: Teubner, 1998.
4. Recent research papers.

תוצאות למידה:

בסיום הקורס הסטודנט:

1. יהיה מסוגל להשתמש בידע מתמתי ולהשתמש בכלים של אופטימיזציה קמורה.
2. יהיה בעל יכולת לממש נומרית קוד הפותר משוואות דיפרציאליות חלקיות לא לינאריות.
3. יכיר אלגוריתמים בעיבוד תמונה .

הרכב הציון: 50% עבודת בית, 50% פרויקט סופי.

שם הקורס באנגלית: Variational methods in image processing

English syllabus:

Basic principles in energy minimization methods (convex and non-convex). Nonlinear diffusion (Perona-Malik) and anisotropic diffusion (Weickert). Contour evolutions using level sets. Active-contours segmentation. Numerical implementation of nonlinear PDE's. Total variation denoising. Higher order functionals. Evolution of manifolds – Beltrami flow. Nonlocal operators and energies. Applications – denoising, deconvolution, image-enhancement, segmentation, optical-flow, image-registration.

Learning Outcomes:

1. Be able to use mathematical knowledge and will be familiar with convex optimization tools.
2. Be able to implement code for numerical solvers of nonlinear partial differential equations.

know advanced image processing algorithms which are based on these methods

---

108324 **יסודות האנליזה המודרנית להנדסת חשמל** **נ. וולנסקי** 2ה', 1ת' (2.5 נקודות)

מקצועות קדם:

104004 - חדו"א 2

מושגים מתורת הקבוצות. קבוצות קומפקטיות, פרפקטיות וקשירות. מרחבים מטריים. סדרות וטורים במרחבים מטריים. השלמה של מרחב מטרי. רציפות, קומפקטיות וקשירות. אינטגרל רימן – סטילטס. מידת לבג, אינטגרל לבג ומשפטי התכנסות. משפט Ascoli-Arzela ומשפט סטון – וירשטראס.

מקורות:

1. Rudin, W.: "Principles of Mathematical Analysis". 3rd ed., McGraw-Hill, 1976, 1986, 1989. .rec. 214679.
2. Dieudonne, J.: "Foundations of Modern Analysis". Academic Press, 1960. rec. 210664.

108327 **אנליזה פונקציונלית להנדסת חשמל** **ב. סולל** 2ה', 1ת' (2.5 נקודות)

מרחב מטרי. מרחב הילברט .אופרטור לינארי. אופרטור צמוד. אלמנטים של תורה ספקטרלית. במרחבי הילברט. שימושים.

מקורות:

1. Vulikh, B.Z.: "Introduction to Functional Analysis for Scientists and Technologists". Pergamon Press, 1963. rec. 33605.
2. Liusternik, L. and Sobolev, V.J.: "Elements of Functional Analysis". Gordon and Breach, 1968. .rec. 213393.
3. Bachman, G. and Narici, L.: "Functional Analysis". Academic Press .1966. rec. 209816.