

פרויקט בבינה מלאכותית

"המומלצת המומלצת"

תוכנית לימודים בהתאמה אישית

מגשים:

cohen.efrat@campus.technion.ac.il - אפרת כהן

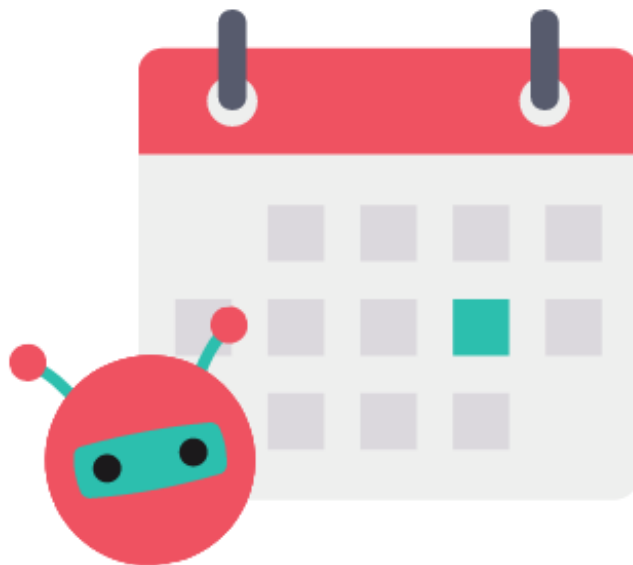
silfinrotem@campus.technion.ac.il - רותם סילפין

Avivsasson@campus@technion.ac.il - אביב ששון

מנחה:

deanzadok@cs.technion.ac.il - דין צדוק

תאריך: 15.08.23



המומלצת

המומלצת

מערכת מומלצת בהתאמה אישית

תוכן עניינים:

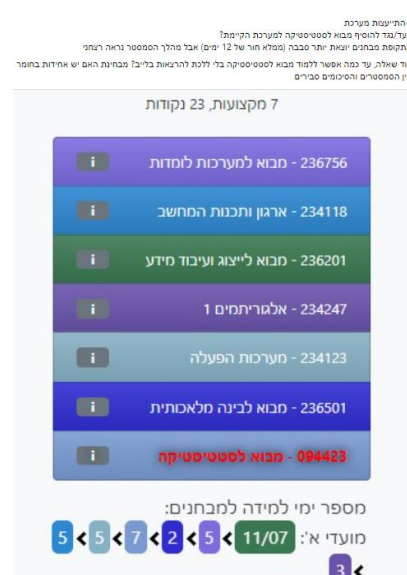
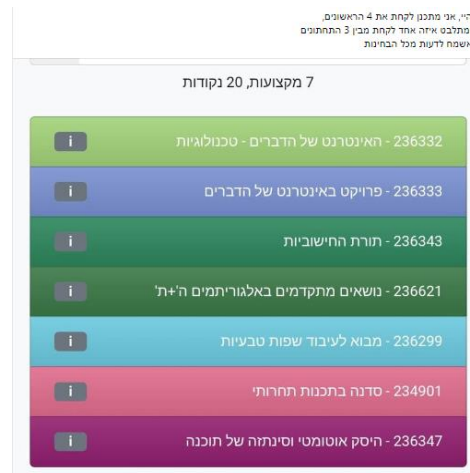
3	הקדמה
4	תיאור הבעיה והפתרון
5	מבנה המערכת
6	תרשים המערכת
7	גירוד המידע (Data Scraping)
8	גרף הקורסים
10	גרף האפשרויות
11	אופטימיזציות בבניית גרף האפשרויות
14	חיפוש בגרף האפשרויות
14	היוריסטיקות
14	קבילות ועקביות היוריסטיקות
16	ניסויים למערכת
16	מטרות הניסויים
16	תשתית ניסויים
16	שלב 1 – MAX_AVAILABLE_COURSES Tuning
18	שלב 2 – ניסוי אופטימיזציות
18	מהלך הניסוי
18	תוצאות הניסויים
26	מסקנות
27	סיכום
27	הצעות להמשך הפרויקט
28	נספחים
28	מאגר דוגמאות הסטודנטים

הקדמה

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל הוא אוניברסיטת מחקר ציבורית בחיפה המתמקדת בלימודי הנדסה ובמדעים מדויקים אך מלמדת גם רפואה ואדריכלות. הקמפוס הראשי של הטכניון ממוקם בנווה שאנן. בטכניון 18 פקולטות ויחידות אקדמיות. הטכניון הוא המוסד הוותיק בתחום המחקר הטכנולוגי בישראל ונחשב למוביל בתחום זה.

בטכניון הסטודנטים מחויבים לתוכנית הלימודים של המסלול אותו בחרו. חלק מהקורסים במסלול מוגדרים כקורסי חובה וחלקם ניתנים לבחירה חופשית של הסטודנט מתוך רשימה של קורסים אפשריים. סטודנט רשאי להרכיב לעצמו תוכנית לימודים סמסטריאלית כמעט ללא הגבלות, בתנאי שעומד בדרישות לקורסים אותם הוא מתכנן ללמוד. הפקולטות מציעות תוכנית "מומלצת" שהיא למעשה המלצה לחלוקת הקורסים לפי סמסטרים על מנת שהסטודנטים יעמדו בדרישות השונות, תוך עמידה בתקופת הזמן שהוקצבה לתואר. הסטודנטים אינם חייבים ללמוד לפי סדר התוכנית המומלצת, ויכולים להשתמש בחלקה בלבד.

דעתם הרווחת של הסטודנטים היא שהמערכת המומלצת אינה "המומלצת ביותר" ולפעמים בהתאם לנסיבות (עומס, תרגילים רטובים, תרגילים יבשים וכו') כדאי לשנותה. בתקופת ההרשמה לקורסים קבוצת הפייסבוק של הפקולטות מתמלאת בפוסטים המבקשים המלצות על קומבינציות קורסים שונות עם הנסיבות השונות (עבודה, קושי גדול יותר מול רטובים וכו'). להלן דוגמאות:



מקור: קבוצת "מדעי המחשב טכניון" בפייסבוק.

תיאור הבעיה והפתרון

בעיה:

רבים מהסטודנטים מאמינים שקיימת מערכת מומלצת טובה יותר עבורם מהמערכת המומלצת ע"י הפקולטה, דבר שמוביל אותם לבניה עצמאית של סילבוס הסמסטר. הסטודנטים נתקלים בקושי בבניית מערכת השעות הסמסטריאלית ותכנון תוכנית הלימודים עד לסוף התואר. הפתרון הקיים הוא ריבוי בהתייעצויות עם חברים לתואר, פוסטים רבים בקבוצת הפייסבוק של הפקולטה המבקשים את דעתם של סטודנטים אחרים ופתרונות נוספים. פעמים רבות ניתן להרכיב מערכת "טובה יותר" עבור הסטודנט ולהקל בקושי במהלך הסמסטר, מערכת שלא בנויה נכון לסטודנט לפי העדפות, חוזקות והחולשות שלו יכולה לגרום לחוסר איזון בין תרגילי בית יבשים \ רטובים, קושי בקורסים ומבחנים, רמת עניין נמוכה ועוד וכל אלו יכולים להוביל לקושי רב. לעיתים קרובות אף עלול להוביל למצב של אי תקינות אקדמית, וכתוצאה מכך להביא לקושי נפשי, מנטלי, ואף פיזי. במקרה הטוב מצב של אי תקינות מביא למעקב של יועץ אקדמי ואזהרות חוזרות ונשנות בנוגע להמשך הלימודים של הסטודנט ובמקרה הגרוע הדחת הסטודנט ונשירה מהלימודים. נוסף על כל אלו, קיימים קשיים נוספים בבניית מסלול אופטימלי לסיום התואר: מורכבות הדרישות במסלולים השונים - עולה קושי ב"ניתוב" ושיוך כל אחד מהקורסים השונים, דבר שמביא לקושי בהבנה בבניית מסלול נכון שיכול לסגור לסטודנט את התואר. למשל: סטודנט השלים מעל ל-18 נק"ז ברשימה א', עודף הנקודות "יעבור" לרשימה ב'. באופן דומה קורה עבור עודף בנק"ז עבור שרשרת מדעית. חשיבות סדר לקיחת הקורסים בפקולטה – קיימים קורסים שהם קורסי קדם "בסיסיים" לקורסים רבים אחרים כך שיש להם חשיבות גדולה על מנת להתקדם, ולמנוע הארכה של התואר. בנוסף, קורסים אלה חשובים על מנת לאפשר לסטודנט ללמוד קורסי בחירה לאורך התואר. ישנם סטודנטים שאינם מודעים לחשיבות של סדר לקיחת הקורסים, דבר שלעיתים קרובות מוביל אותם להארכת התואר ולאי עמידה בקורסי קדם של קורסי בחירה ו"התפשרות" על קורסים שאינם מעניינים אותם, ולמעשה מצמצם את האפשרויות בחירה שלהם.

פתרון:

מערכת מבוססת בינה מלאכותית, שתמליץ לסטודנט על המסלול הטוב ביותר בהתאמה אישית עד לסיום התואר שיוביל להצלחה אופטימלית של הסטודנט בלימודים ולסיום התואר בהצלחה רבה.

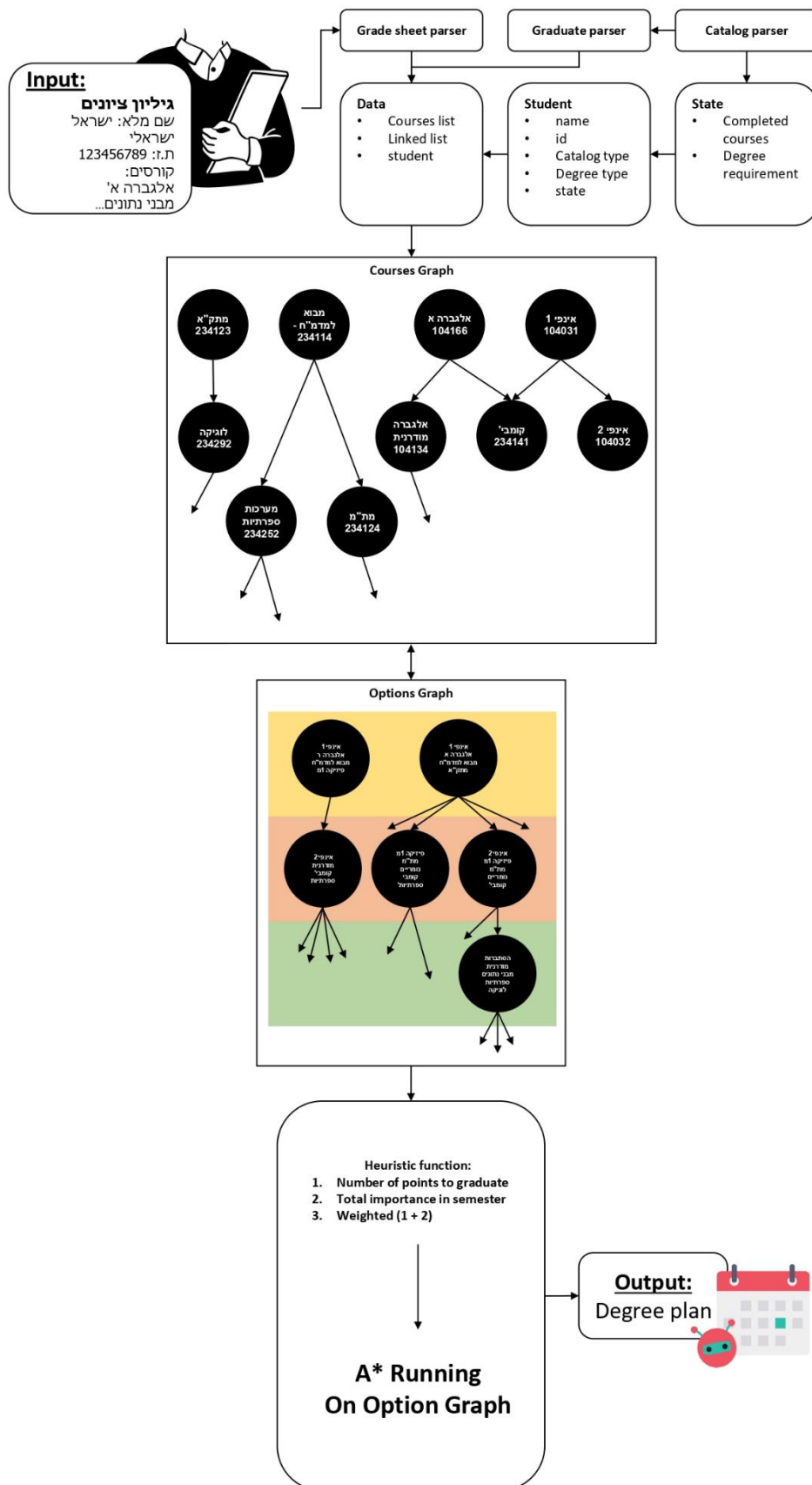
מבנה המערכת

המערכת מורכבת מרכיבי הבסיס הבאים:

1. Course – אובייקט של קורס בפקולטה, מכיל את שם הקורס, כמות נק"ז, דרישות קדם ול"ז הרצאות, תרגולים ועוד.
2. State – מייצג את מצבו האקדמי של הסטודנט ביחס לתוכנית הלימודים.
3. Student – פרופיל סטודנט הקלט.

בנוסף ישנם ארבעה חלקים עיקריים:

1. **יצירת תשתית המידע Data** – אובייקט גלובלי, המרכז בתוכו את המידע הדרוש לאורך כל ריצת התוכנית. פירסור קורסי הפקולטה מאתר הטכניון, יצירת כלל אובייקטי הקורסים ואחסונם במילון הקורסים - כאשר המפתח הוא מספר הקורס והערך הוא אובייקט הקורס. בנוסף נשמרים מסלול הלימודים של הסטודנט, החובות בתואר, סיווג הקורסים לפי דרישות וכו'.
 2. **יצירת גרף הקורסים** – לאחר איסוף המידע, גרף הקורסים מייצג את כל הקורסים השונים במערכת והקשרים השונים ביניהם. זהו גרף מכון חסר מעגלים (DAG): הצמתים בגרף הם הקורסים, וקשת בין קורס א' לקורס ב' מעידה שקורס א' הוא קדם או צמוד של קורס ב'. כאשר משמעותו של קדם היא שעל הסטודנט ללמוד את קורס א' לפני קורס ב', ושל צמוד שעל סטודנט ללמוד את קורס א' לפני או במקביל ללמידת קורס ב'. ניתן לתשאל את גרף הקורסים בעזרת הפונקציה `get_valid_courses`. פונקציה זו מקבלת כקלט רשימה של קורסים שהסטודנט השלים ומחזירה רשימה של קורסים שהסטודנט יכול ללמוד בסמסטר הקרוב, בהתאם לדרישות הקדם והצמוד. בעת בניית גרף האפשרויות פונקציה זו נקראת ומעדכנת אלו קורסים זמינים ליצירת כל האפשרויות השונות לסמסטרים חוקיים בהתאם לדרישות.
 3. **יצירת גרף האפשרויות** – לאחר יצירת גרף הקורסים, נבנה גרף האפשרויות שבו כל צומת היא סמסטר ומסלול מייצג תוכנית חוקית לסיום התואר. הגרף נבנה בשלושה שלבים מרכזיים:
 - a. בשלב הראשון, נעשה שימוש בפונקציה `get_valid_courses` השייכת לגרף הקורסים שכאמור מחזירה את רשימת הקורסים הזמינים לסטודנט בהתחשב בקורסים שכבר למד. הרשימה המתקבלת עוברת סינון להורדת קורסים לא רלוונטיים, לדוגמא: הורדת קורסים מדעיים אם הסטודנט כבר השלים שרשרת מדעית.
 - b. בשלב השני, הרשימה נשלחת לפונקציה `generate_semesters` שיוצרת את כל הסמסטרים האפשריים מרשימה זו בהתאם למגבלות השונות שהסטודנט בחר. הסמסטרים האפשריים שהתקבלו עוברים בדיקות שונות על מנת לוודא שהסמסטר אכן אפשרי מבחינת מערכת השעות, תאריכי מבחנים וכדומה.
 - c. בשלב השלישי, הסמסטרים שעברו את כל הבדיקות מתווספים לגרף האפשרויות כצמתים, כל אחד מסמסטרים אלו מהווה שוב נקודת פתיחה כך שהחל ממנה יבוצעו שלושת השלבים הנ"ל באותו אופן, עד להגעה למצב שבו הסטודנט סיים את הדרישות של התואר.
 4. **חיפוש** – לאחר שחושבו כל המסלולים החוקיים לסיום התואר עבור הסטודנט, אנו משתמשים באלגוריתם A^* עבור מציאת המסלול האופטימלי. לטובת החיפוש כתבנו יוריסטיקות המביאות לקבלת תוצאות שונות בהתאם להעדפות של אותה היוריסטיקה ועליהן נפרט בשלב הניסויים.
- מימוש המערכת כולה נעשה בשפת `python` תוך שימוש בספריית `networkx` עבור הגרפים השונים ובספריות נוספות.



גירוד המידע (Data Scrapping)

הוצאת המידע על הקורסים – על מנת להוציא את המידע על הקורסים בפקולטה, עלה צורך של פירסור הקטלוג. מחוסר זמן והיקף הפרויקט הוחלט להכניס באופן ידני כ-300 מספרי קורסים שונים המוצעים בקטלוג כחלק מקורסי החובה, רשימה א, וכו'. לאחר הוצאת כלל מספרי הקורסים, היה עלינו למשוך את המידע עליהם. החלטנו לפרסר את המידע מאתרי האינטרנט של הטכניון –

." https://www.graduate.technion.ac.il/Subjects.Heb/?SUB=<course_id>"

לכל קורס, עמוד אינטרנט משלו. בעמוד האינטרנט מוצג כל המידע על הקורס למשל שם הקורס, מספר נק"ז, קורסי קדמים, לוח שעות ועוד. להלן דוגמה לעמוד הקורס מבני נתונים:

			
		מבני נתונים 1 - 234218	
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם
מספר	שם	מספר	שם

הקורס יקנה ידע מבני תנאים בסיסיים, באנליזה, ביישומים ובשימושים שונים שלהם. וישם דגש על התאמת מבני התנאים לצרכי הבעה הניתנה. סוגי מבנים: חזרה על המבנים הפשוטים (מערכים, רשימות, מחסניות ותורים), רשימות דילוגים, תורי עדיפות, ערמות, עצים דינמיים (tries). מיון חיפוש. עצים וגרפים ויצוגיהם. הקצאת זכרון, ערוב, איסוף אשפה.

מועדי בחינות 02/2022, 2022/2023 אביב תשפ"ג

שעת בחינה יום תאריך מועד

№ 14.07.2023 1

212.10.2023 7

מערכת שעות לסמסטר 02/2022 . 2022/2023 אביב תשפ"ג

תרגיל קבוצות

מס' רישום	הרצאה	יועץ	תאריך
1	הרצאה	יועץ	תאריך

7 מאיב 10:30-12:30 פרופ' פטרנק אוהרצאה 11
11 מועד

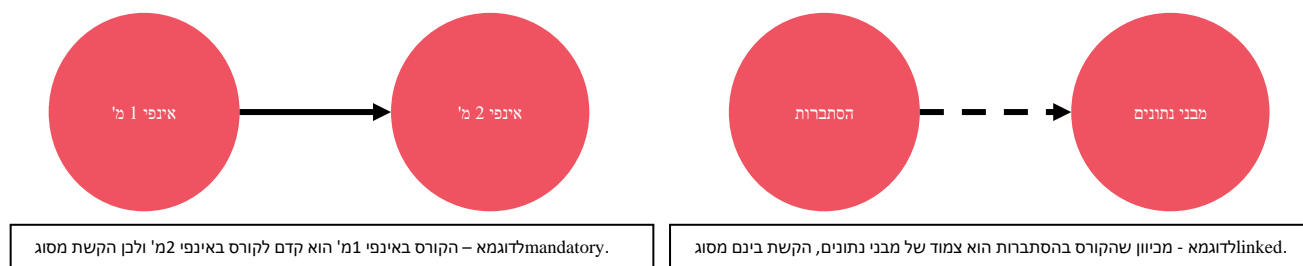
לפירסור המידע נעזרנו בספריית BeautifulSoup המאפשרת לנתח קוד HTML ו־XML בפיתון. הספרייה מאפשרת לגשת לדפי האינטרנט של הקורסים הרבים לצמצם את תוכנם, לחפש ולאסוף את המידע הרלוונטי. באמצעות הספרייה ניתן לבצע פעולות כמו שליפת תגי HTML, שליפת תכנים, חיפוש וסינון של מידע וכדומה. פעולת פירסור חיפוש ואיסוף המידע דרשו "עדינות" רבה מה שהיווה אתגרים רבים, ונקודות קצה רבות:

- עמודי הקורסים היו שונים במבנם מה שחייב זיהוי של המבנה והתאמת אלגוריתם הפירסור לפיו.
- מידע הקורס נשמר בשפה העברית העלה הקושי בקריאת המידע בצורתו הנכונה שכן הספרייה בה השתמשנו מותאמת לשפה האנגלית, לכן חלקי מידע שונים התערבבו מה שחייב סידור וכיוון של המידע מחדש.
- רבים מהקורסים הכילו אפשרויות רבות לקורסי קדם למשל כפי שניתן לראות בדוגמה המצורפת בקורס מבנה נתונים. על מנת לבנות את גרף הקורסים בחרנו בקורסי קדם שקיימים בקטלוג הפקולטה (אותם פרסרנו). במספר קטן של קורסים כלל דרישות הקדם לא היו מתוך קטלוג מדעי המחשב, לכן החלפנו את קורסי הקדם שלהם בקורסים שהם תחת "ללא זיכוי נוסף" או "מוכלים ללא זיכוי נוסף" שקיימים בקטלוג מדמ"ח.
- בשל מתקפת הסייבר על מערכות הטכניון עמודי האינטרנט נפלו, ולא היה ניתן להמשיך לעבוד איתם מהבית, לכן נאלצנו לעבור לעבודה עם קובץ json. לאחר זמן מה חזרנו לעבודה על הדפים Online על מנת לקבל את המידע המעודכן ביותר.

גרף הקורסים

לאחר סיום שלב Parsing מתחילה בניית גרף הקורסים בעזרת הפונקציה `create_graph`:

- לכל קורס נוצר צומת.
 - לכל קורס במערכת שקיימות לו דרישות קדם מתווספת קשת עם `mandatory=True`.
 - לכל קורס במערכת שקיים לו קורס צמוד מתווספת קשת עם `linked=True`.
- בתום בניית הגרף, אנו מבצעים הסרה של מעגלים מיותרים בגרף הקורסים בעזרת הפונקציה `remove_cycles`, עליה נרחיב בהמשך, לאחר מכן הגרף הוא DAG ואנו מבצעים עליו מיון טופולוגי ושומרים אותו ברמת `class`.
לכל צומת קיימות 2 תכונות בוליאניות: `Legacy`, `Dummy`. בנוסף קיימים סוגי קשתות שונים לתיאור קשר של קדם או קשר של צמוד `linked`, `mandatory`.



התמודדות במקרה של כמה אפשרויות שונות לקורסי קדם של קורס:

כשהתחלנו לעבוד עם הקורסים השונים במערכת, גילינו שלחלק מהקורסים אין רשימה בודדת של קורסי קדם, אלא כמה אפשרויות שונות. לדוגמא הקורס מבני נתונים. דרישות הקדם של הקורס:

(104286 - קומבינטוריקה I - 234124 - סבוא לתכנות מערכות) IX (104286 - קומבינטוריקה I - 234122 - סבוא לתכנות מערכות) IX (234122 - סבוא לתכנות מערכות I - 234141 - קומבינטוריקה למדעי המחשב) IX
(234124 - סבוא לתכנות מערכות I - 234141 - קומבינטוריקה למדעי המחשב)

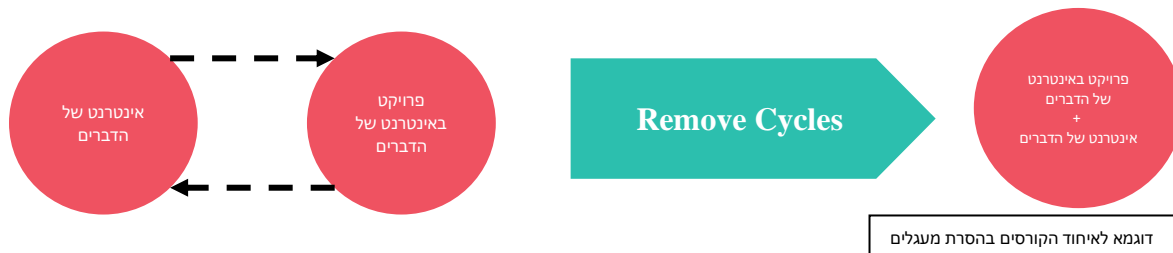
דרישות הקדם כוללות כמה אפשרויות שונות שיש ללמוד אחת מבניהן טרם הסמסטר בו נלמד הקורס במבני נתונים. חלקן כוללות קורסים שהינם חלק מהקטלוג של מדעי המחשב תלת שנתי – על כן נמצאים אצלנו במערכת, וחלקן כוללות קורסים של מסלולים אחרים – מתמטיקה מדעי המחשב או המסלול בהנדסת מחשבים מהפקולטה להנדסת חשמל. בפועל רק דרישת קדם אחת רלוונטית לסטודנטים במסלול התלת שנתי. כדי לייצג קשר זה של קדמים בגרף הקורסים, קשר של "או", היה עלינו להציע פתרון מתאים. לאחר כמה ניסיונות להתמודד עם קורסים שמופיעים בדרישות הקדם/ הצמוד אך אינם מהמסלול התלת שנתי התגבשנו על הפתרון הבא:

- במידה וביצירת גרף הקורסים מופיע בדרישות הקדם/צמוד קורס שלא חלק מהקטלוג התלת שנתי, אנו מוסיפים קורס זה לגרף בתור צומת `legacy`. הוספה זו מאפשרת תמיכה בסטודנטים שעומדים בדרישות הקדם שאינן של המסלול התלת שנתי. יחד עם זאת, מבטיחה שנמשיך להציע לסטודנטים קורסים אך ורק מהמסלול התלת שנתי, מכיוון שב `get_valid_courses` אנו מסירים מהרשימה כל קורס שיש לו צומת מסוג `legacy`.
- בחירה של קדמים מהמסלול התלת שנתי : פעולה זו מבוצעת בשני שלבים. בשלב ההתחלתי באופן רחבי בשלב איסוף המידע מתבצעת המרה של הקורסים שאינם מהמסלול התלת שנתי לקורס ללא זיכוי נוסף המתאים להם. בשלב הסופי בעת יצירת גרף הקורסים נעשה שימוש ב `select_cs_pre_courses` שמבטיחה בחירה של אפשרות יחידה של קדמים – אלו שמכילים אך ורק קורסים מהמסלול התלת שנתי. בדוגמא של מבני נתונים תבחר האפשרות: מת"מ וקומבינטוריקה למדעי המחשב.

מעגלים בגרף הקורסים:

לאחר יצירת גרף הקורסים, הוא אינו DAG. קיימים קורסים לדוגמה: הקורס "פרויקט באינטרנט של הדברים" והקורס "אינטרנט של הדברים" שנדרשים ללמוד במקביל באותו הסמסטר. זוהי דרישה שונה מדרישת הצמוד שמאפשרת ללמוד לפני או במקביל.

הקורס "פרויקט באינטרנט של הדברים" הוא צמוד של הקורס "אינטרנט של הדברים". לאחר יצירת הגרף אנו מאתרים מעגלים בגודל 2. כל מעגל בגודל 2 שכל קשתות המעגל הן מסוג צמוד, יהפוך לקורס אחד מאוחד שכולל את שני הקורסים זאת מכיוון שהקורסים חייבים להילמד באותו הסמסטר.



לפני הצגת הפלט לסטודנט אנו מפצלים קורסים שהם איחוד ומציגים אותם כשני קורסים נפרדים בתוכנית הסמסטרים. לא נתקלנו במקרים כאלו, אך במידה וקיים מעגל שאינו "מעגל צמוד" ואורכו גדול מ-2 לא הגדרנו פתרון - הגרף אינו DAG ונזרקת שגיאה מתאימה. הנחנו זאת מכיוון שלא אמורים להיות מעגלים בגרף הקורסים, אם היו קיימים כאלו סטודנט לא היה יכול לסיים את התואר ולעמוד בדרישות קדמים / צמודים.

מציאת הקורסים הזמינים לסטודנט בהינתן הקורסים שלמד עד כה:

אנו עוברים על הצמתים לפי סדר המיון הטופולוגי. בהינתן שקורס טרם נלמד אנו נוסף אותו לרשימת הקורסים הזמינים בתנאי שלא קיים מסלול בגרף בין קורס אחר שנוסף לרשימת הקורסים הזמינים לבין קורס זה. כך עבור קלט של קורסים שהסטודנט השלים עד כה בתואר, אנו מחזירים רשימה של קורסים שהסטודנט יכול לקחת.

גרף האפשרויות

לאחר שיצירת גרף הקורסים מסתיימת, מתחילה בניית גרף האפשרויות ע"י הפונקציה `create_graph`. הפונקציה מקבלת מהאובייקט הגלובלי `Data` את `Staten` של הסטודנט ולוקחת את רשימת הקורסים שהסטודנט השלים. רשימה זו נשלחת לפונקציה `get_valid_courses` ששייכת לגרף הקורסים ומחזירה את רשימת הקורסים שהסטודנט רשאי ללמוד לפי הדרישות.

רשימה זו עוברת מיון וסינון נוסף על מנת להגיע לזמן ריצה סביר והרחבה על כך מופיעה בהמשך.

בשלב הבא, רשימת הקורסים נשלחת לפונקציה `generate_semesters`, פונקציה זו מורכבת מ-2 חלקים:

1. קריאה לפונקציה רקורסיבית `gen` היוצרת את כל הסמסטרים האפשריים כך שגודלו המקסימלי של כל סמסטר הוא לפי המקסימום נק"ז שהסטודנט הכניס בהעדפות האישיות שלו. הסמסטרים שנוצרו נשמרים במילון זמני כאשר המפתח הוא כמות הנק"ז והערך הוא כל הסמסטרים שזהו סכום הנק"ז בהם.

2. בחלק השני, הפונקציה עוברת על כל הסמסטרים שסכום הנק"ז בהם הוא בטווח הנק"ז שהסטודנט בחר ובודקת האם הקומבינציה היא ויאבילית ע"י הבדיקות הבאות:

א. האם בסמסטר ישנם קורסים לא רלוונטיים?

לדוגמה: על הסטודנט להשלים קורס אחרון בשרשרת מדעית ולכן ברשימת הקורסים האפשריים היו 5 קורסים מדעיים שהסטודנט יכול לקחת אך אין צורך בסמסטרים שבהם יש יותר מקורס מדעי אחד.

ב. האם הסמסטר עומד בדרישה של צמודים?

לדוגמה: הקורס הסתברות הוא צמוד(משמש כקדם אך ניתן ללמוד אותם בקורסים צמודים) של הקורס מבנה נתונים, כלומר סטודנט שצריך ללמוד מבנה נתונים חייב לעמוד בדרישת הצמוד. לכן בהכרח סמסטר חוקי הוא סמסטר שמכיל את מבני נתונים והסתברות יחד. ולכן סמסטרים המכילים את מבני נתונים בלבד אינם חוקיים(במידה ולא השלים הסתברות).

ג. האם תאריכי המבחנים מסתדרים?

אחד מהנתונים שהסטודנט מזין למערכת הוא הפרש הימים שהוא רוצה בין מבחן למבחן ולכן כל סמסטר עובר בדיקה לוודא שהפרש הימים בין תאריכי המבחנים אכן תואם להעדפת הסטודנט.

ד. האם קיים שיבוץ אפשרי למערכת השעות?

מתבצעת בדיקה האם ניתן לבנות מערכת שעות עבור הסמסטר, כלומר האם לכל קורס בסמסטר ניתן לשבץ בלוח הזמנים השבועי הרצאה/תרגול/ מעבדה וכו' לפי הדרישות של הקורס יחד עם שאר הקורסים בסמסטר. זוהי בדיקה שהתווספה כאופטימיזציה על מנת להקטין את רשימת הסמסטרים האפשריים ולכן הרחבה על בדיקה זו בהמשך.

הסמסטרים שעברו את הבדיקות בשלב השני אלו הסמסטרים החוקיים שהפונקציה מחזירה. יתכן ואף סמסטר לא יעבור את כל הבדיקות, ועל מנת להתמודד עם מקרה זה, גם הסמסטרים שסכום הנק"ז בהם היה נמוך מהטווח נשמרו קודם וכך ניתן לבדוק את הסמסטרים שסכום הנק"ז בהם הוא המקסימלי האפשרי מבין הסמסטרים שנשמרו. פעולה זו תתבצע עד שתתקבל רשימה לא ריקה של סמסטרים להחזיר.

לאחר קבלת רשימת הסמסטרים החוקיים, הפונקציה יוצרת גרף חדש – גרף האפשרויות עם צומת התחלה "start" ומוסיפה את הסמסטרים שהתקבלו כצמתים בגרף עם קשת בין הצומת start אליהם (שכבה ראשונה). סמסטרים אלו מייצגים את כלל האפשרויות לסמסטר שהסטודנט יכול ללמוד בסמסטר הבא ללימודיו.

לאחר יצירת "שכבת" הסמסטרים הראשונה, הפונקציה עוברת על כל אחד מסמסטרים אלו וקוראת לפונקציה: `add_optional_semesters_from_current_state` שמקבלת סמסטר אפשרי `statei` של הסטודנט. זוהי פונקציה רקורסיבית שצורת פעולתה כמעט זהה ל`create_graph`. הפונקציה מעדכנת את `staten` של הסטודנט כך שלרשימת הקורסים שהוא השלים יתווספו הקורסים של הסמסטר שהתקבל כפרמטר. לאחר מכן גם כאן הפונקציה מקבלת את רשימת הקורסים האפשריים, הם עוברים סינון נוסף ונשלחים ל`generate_semesters` על מנת לקבל את כל הסמסטרים החוקיים. גם פה כל סמסטר שהתקבל מתווסף לגרף עם קשת בינו לבין הסמסטר שהתקבל כפרמטר. במעבר על הסמסטרים שמתקבלים, מתבצעת בדיקה האם זהו סמסטר שלאחר השלמתו הסטודנט מסיים את דרישות התואר ובמידה ואכן השלים את הדרישות הפונקציה לא תקרא שוב עבור סמסטר זה והוא מתווסף כעלה לגרף.

אופטימיזציות בבניית גרף האפשרויות

במהלך הבנייה של גרף האפשרויות אחד מהקשיים העיקריים היה ההתמודדות עם יצירת כמות אקספוננציאלית של סמסטרים.

בחלק מהמקרים התקבלו עשרות אלפי קומבינציות של סמסטרים מה שהותיר אותנו עם מאות סמסטרים חוקיים, כלומר עם מאות קשתות יוצאות בחלק מהצמתים בגרף. בנוסף חישוב הסמסטר הבא אחריו גם כן בוצע עבור כל אחד ממאות הסמסטרים הנ"ל ולכן זמן הריצה היה ארוך במיוחד.

בגרסה הראשונית של בניית הגרף, הבדיקות על כל סמסטר (קורסים רלוונטיים, צמודים, מבחנים וכו') בוצעו במהלך יצירת הסמסטר, דבר שהוביל לכך שהבדיקות בוצעו גם על סמסטרים שסכום הנק"ז בהם לא בטווח הרצוי. על מנת לחסוך בבדיקות עבור סמסטרים אלו, הפרדנו את יצירת הסמסטרים והבדיקות לשני חלקים שונים וכך הבדיקות בוצעו על כמות קטנה יותר של סמסטרים.

תיכנון מערכת שעות

פתרון נוסף שהעלינו הוא בדיקת היתכנות למערכת שעות. על מנת לצמצם את כמות הסמסטרים החוקיים הוספנו בדיקה המקבלת סמסטר ובודקת האם קיימת אפשרות לשיבוץ הדרישות השבועיות של כלל הקורסים ללא קונפליקטים. לכל קורס יתכנו ארבעה דרישות: הרצאה, תרגול, מעבדה ופרויקט. לא כל הדרישות רלוונטיות לכל קורס כלומר ישנם קורסים שיש בהם רק הרצאה או רק הרצאה ותרגול, בחלקם יש גם מעבדה ובחלקם יש רק פרויקט וכו'. עבור כל דרישה ישנה רשימת ימים ושעות שבהם מתקיים מפגש. לדוגמה: בקורס ספרותיות הדרישות השבועיות הן שלוש שעות הרצאה ושעתיים תרגול, עבור ההרצאה ישנן 2 אפשרויות: שעתיים רצופות בימי ראשון ושעה נוספת ביום רביעי, או שלוש שעות רצופות בימי שלישי. בנוסף ישנן 10 אפשרויות לזמני תרגול במהלך השבוע.

הקושי בבניית מערכת השעות נובע מכך שלעיתים מספר קורסים מתחרים על אותו חלון זמנים ועל הסטודנט לנסות לחזות איזו בחירה לא תיצור קונפליקטים ללא פתרון עם השעות של הקורסים האחרים. כלומר יתכן קורס א' עם הרצאה שבועית אחת בלבד שמתנגשת עם הזמנים של קורס ב' אך לקורס ב' קיימות שתי אפשרויות להרצאה שבועית ולכן על ההרצאה ללא ההתנגשות עם קורס א' להיבחר. פעולה זו נהיית מורכבת אף יותר כאשר בסמסטר ישנם 5-6 קורסים וכל בחירה שנעשית עלולה ליצור קונפליקט עתידי עם קורס אחר שיתכן כי עבור בחירה שונה הוא לא היה נוצר.

הפונקציה שבודקת זאת פועלת בצורה הבאה: ראשית מתבצעת בדיקה עבור אילו מהדרישות השבועיות אין קונפליקטים כלל, כלומר האם ניתן לשבצם בלוח הזמנים ואף דרישה של קורס אחר לא מתקיימת באותו זמן. לאחר בדיקה זו נותרנו עם הדרישות של כל קורס שבהם ישנן קונפליקטים במערכת השעות וצריכה להתבצע בחירה מושכלת. מכיוון שכל בחירה שנעשית משפיעה על הבחירות הבאות בחרנו להשתמש בשיטת brute force (אפשרות נוספת היא backtracking אך כיוון שסדרי הגודל הם לכל היותר עשר תרגולים, חמש הרצאות ושלוש מעבדות ההבדל ביניהם זניח). הפונקציה יוצרת עבור כל קורס רשימה שמחזיקה את כלל האפשרויות.

לדוגמה עבור הקורס ספרותיות שהוזכר לעיל, עם שתי אפשרויות להרצאה שבועית ועשר תרגולים יתקבלו עשרים קומבינציות - כל אחת מהתרגולים יחד עם כל אחת מההרצאות. לאחר מכן הפונקציה מנסה את כל הקומבינציות של כל קורס עם כל אחת מהקומבינציות של הקורסים האחרים.

במידה ונמצאה קומבינציה ללא קונפליקטים בלוח הזמנים, הסמסטר הוא חוקי. אחרת, הפונקציה ממשיכה לבדוק את כל האפשרויות ובמידה ולא נמצא אף שיבוץ של קומבינציות, הסמסטר מוסר מרשימת הסמסטרים הויאבילים.

צמצום רשימת הקורסים החוקיים

גורם נוסף שמשפיע על כמות הסמסטרים האפשריים זוהי רשימת הקורסים המתקבלת מהפונקציה `get_valid_courses` המחזירה את רשימת הקורסים שהסטודנט רשאי ללמוד בהתחשב בקורסים שכבר השלים. רשימה זו נשלחת לפונקציה שיוצרת את כל הסמסטרים האפשריים עם מגבלה יחידה - כמות מקסימלית של נק"ז בתואר, ולכן ככל שמספר הקורסים ברשימה גדול יותר, גם מספר הקומבינציות של סמסטרים גדל בהתאמה.

לדוגמה עבור סטודנט העומד בדרישות הקדם של 18 קורסים, מספר הקומבינציות לסמסטרים שניתן לבנות תחת מגבלת הנק"ז ומתוך רשימה זו הוא 69,792 סמסטרים אפשריים (אך לא בהכרח חוקיים). על מנת להתמודד עם הבעיה פעלנו בשתי דרכים כאשר הראשונה היא איחוד קורסים בעלי חשיבות זהה ויצירת קורסים כלליים, והשנייה היא הגבלת מספר הקורסים ע"י בחירה חכמה.

1. יצירת קורסים כלליים עבור בחירה חופשית, העשרה וספורט:

על סטודנט במסלול תלת שנתי במדעי המחשב לקחת 2 נק' של בחירה חופשית, 6 נק' של קורסי העשרה (מל"ג) ו-2 נק' של ספורט. קורסים אלו ללא קדמים או דרישות מיוחדות ולכן החלטנו להכניס למערכת שלושה קורסי מל"ג, קורס בחירה חופשית אחד, ושני קורסי ספורט כללים וזאת במטרה לצמצם את מספר הקורסים האפשריים. כך אנו מונעים את יצירת האפשרויות של אותו סמסטר אך עם קורס בחירה חופשית/ העשרה/ ספורט שונה בכל אפשרות.

לפי מגבלות לימודי הסמכה ניתן להירשם לכל היותר לקורס ספורט אחד בסמסטר לכן הכנסנו את הקורסים הכלליים, "ספורט 1" ו- "ספורט 2", כך שהקורס "ספורט 1" הוא קדם של הקורס "ספורט 2". כך אנו מונעים יצירה של סמסטר אפשרי עם 2 קורסי ספורט. כיוון שלא ניתן ללמוד יותר מ-2 קורסי מל"ג בסמסטר, אחד ברישום המוקדם ואחד נוסף ברישום המאוחר. אנו מגבילים יצירה של סמסטרים כאלו באופן הבא: למערכת הוספנו 3 קורסים "העשרה 1", "העשרה 2" ו- "העשרה 3". כך שהקורס "העשרה 1" הוא קדם לקורס "העשרה 3", דבר זה מאפשר למידה של לכל היותר 2 קורסי העשרה בסמסטר.

נתקלנו בקורסי סמינר רבים, ללא דרישות קדם עקב כך שאלו קורסים שהרישום אליהם נעשה באופן ידני ומשתנה לפי החלטת המרצה. רוב קורסי הסמינר דורשים ידע מעמיק במדעי המחשב והם פחות רלוונטיים לסטודנטים בסמסטרים הראשונים שלהם בתואר ולכן הוספנו תנאי כניסה מחמיר לקורסים אלו כך שהם יוצעו לסטודנט רק לאחר שהשלים 70 אחוז מקורסי החובה. ובאופן דומה לקורסי הבחירה, עם בקורסי סמינר קיימת הגבלה מטעם הפקולטה לסמינר אחד בסמסטר לכל היותר ולכן בוצע איחוד של כל קורסי הסמינר לקורס "מאוחד" אחד על מנת למנוע סמסטרים זהים למעט הסמינר וכך מקטינים את הקורסים האפשריים.

תנאי כניסה מחמיר נוסף שהוכנס הוא עבור קורסי "נושאים מתקדמים..", גם עבור רבים מקורסים אלו לא קיימים דרישות קדם (לעיתים הופיעו תחת הערות הקורס) אע"פ שאלו קורסים לסמסטרים מתקדמים יותר בתואר ולכן תנאי הכניסה שלהם הוא השלמת הקורס אלגוריתמים 1 – 234247.

2. הגבלת מספר הקורסים:

לאחר סינון הקורסים כמו שתואר בסעיף 1, קטן מספר הקורסים האפשריים בצורה משמעותית אך עדיין המספר הסופי היה גבוה מה שהוביל לזמן ריצה לא ריאלי. על מנת להתמודד עם הבעיה הוחלט להוסיף פרמטר חיצוני שניתן לשליטה בכל ריצה של התוכנית ומהווה חסם עליון למספר הקורסים האפשריים שמהם יבנו הסמסטרים.

בחירה שרירותית של כמות קורסים מתוך הרשימה בהתאם לפרמטר הביאה לבעיה חדשה: לדוגמה עבור סטודנט שנשאר לו להשלים קורס אחד מרשימה ב' וקורס ספורט אחד, היינו מצפים ליצירת סמסטר אחרון שבו יהיו קורס מרשימה ב' והקורס ספורט. ואכן התקבלה רשימה עם 18 קורסים – 17 מתוכם קורסי רשימה ב' וקורס אחד ספורט. בהנחה שהחסם על מספר הקורסים הוא 8, יתכן שע"י בחירה שרירותית יבחרו כל שמונת הקורסים מרשימה ב' ללא הקורס ספורט שדרוש מה שיוביל לבניית 2 סמסטרים, אחד המכיל את הקורס מרשימה ב' ואחד נוסף עם הקורס ספורט. לכן על מנת לפתור זאת, אנו מבצעים בחירה חכמה של הקורסים מתוך הרשימה.

ראשית, בוצע חישוב כמה נשאר באופן יחסי לכל סוג דרישה מתוך סך כל הדרישות שנשארו לסטודנט בתואר. לאחר מכן כמות הקורסים שנבחרת מכל דרישה תואמת לכמות הנק"ז היחסית שנשארה מדרישה זו. כך שעבור הסטודנט בדוגמה הנ"ל, שנותר לו 4 נק"ז לסיום התואר, 3 עבור הקורס מרשימה ב' ו-1 עבור הקורס ספורט חושבו האחוזים באופן הבא: הקורסים מרשימה ב' הם 75% והקורס ספורט הוא 25% ולכן עבור פרמטר שמגביל 8 קורסים יבחרו 7 קורסים מרשימה ב' והקורס ספורט.

כאשר נעשית בחירה של מספר מסוים של קורסים מתוך רשימה של קורסים גדולה יותר, הקורסים ממוינים לפי importance, ערך זה מחושב לכל קורס בגרף הקורסים ומייצג את החשיבות של הקורס לפי מספר הקורסים שהוא קדם שלהם. כך אנו דואגים שהבחירה היחסית של הקורסים לא תגרום לכך שקורסים שחשובים להמשך התואר לא מקבלים העדפה על פני קורסים אחרים שלא מהווים קדם לקורסים רבים אחרים. הגבלה זו נעשתה תוך מודעות לכך שהיא פוגעת בחישוב כלל האפשרויות, כלומר תתכן אפשרות לסידור הסמסטרים עד לסוף התואר שלא תופיע בגרף האפשרויות כי היא מורכבת מקורסים שלא נבחרו.

Pruning – גיזום סמסטרים

במהלך הבדיקות על גרף האפשרויות, הבחנו פעמים רבות ביצירת מסלולים ארוכים יותר ממסלולים שכבר קיימים בגרף האפשרויות, ככל הנראה מסלולים אלו לא יבחרו בריצת ה-A* שכן אחת המטרות המרכזיות היא לסיים את התואר בזמן הקצר ביותר, לכן החלטנו לגזום מסלולים שניתן לקבוע שהם עתידיים להיות ארוכים יותר מהמסלול הקצר ביותר שנמצא עד כה, וכך קיצרנו את זמני הריצה.

במהלך יצירת המסלולים לסיום התואר, הגדרנו משתנה גלובלי בשם `shortest_path_length` המייצג את אורך המסלול המינימלי שנמצא לסיום התואר עד כה. בכל הגעה של התוכנית לסמסטר שבו הסטודנט מסיים את התואר מתבצעת בדיקה האם אורכו של מסלול זה קטן יותר מהמסלול הקצר ביותר שידוע עד כה, וערכו של `shortest_path_length` מתעדכן בהתאם. בנוסף בתחילת הפיתוח של כל סמסטר, מתבצעת בדיקה שמנסה לחזות האם המסלול "כדאי". ניתן לקבוע זאת בהתחשב בכמות הנק"ז שנשאר לסטודנט לסיום התואר והאם יוכל לסיים את התואר תוך כמות סמסטרים שקטנה/שווה למסלול המינימלי שידוע עד כה.

הבדיקה מתבצעת ע"י חלוקת כמות הנק"ז שנשארה לסטודנט לכמות הנק"ז המקסימלית שאפשרית בכל סמסטר (לפי בחירת הסטודנט) ובמידה ומספר הסמסטרים שנשארו יחד עם הסמסטרים שכבר תוכננו גדולים מאורך המסלול המינימלי מוותרים על פיתוח אותו צומת מתוך הנחה כי העדיפות של האלגוריתם A* לאחר יצירת הגרף היא המסלול המהיר ביותר לסיום התואר תוך התחשבות בפרמטרים והעדפות הנוספות שהסטודנט הכניס למערכת.

שינוי "ותיעדוף" סמסטרים בפיתוח הגרף

כמה מהאופטימיזציות שהפעלנו נשענות על סכום הנק"ז בסמסטר. ע"י מיון הסמסטרים החוקיים לפי כמות הנק"ז ניתן להגיע לתוצאות טובות יותר שכן כך יתקבלו תחילה פיתוחים של סמסטרים עם כמות הנק"ז הגבוהה ביותר. אופן פיתוח זה יוביל לפיתוח המסלול הקצר ביותר לסיום התואר לפני מסלולים ארוכים יותר וכך יתבצעו גיזומים רבים יותר של סמסטרים (מסלולים) לא כדאיים.

חיפוש בגרף האפשרויות

לאחר שלב איסוף המידע, בניית גרף הקורסים ובנייתו של גרף האפשרויות, המערכת מבצעת חיפוש בעזרת אלגוריתם A^* למציאת המסלול הקצר ביותר לסיום התואר.

הקוד של A^* בו השתמשנו לטובת החיפוש נלקח מספריית network מכיוון שאת הגרף בנינו בעזרת ספרייה זו. קלט – גרף האפשרויות, היוריסטיקה ופונקציית משקל על הקשתות.

פלט – מסלול עבור הסטודנט, כלומר תוכנית סמסטרים שתוביל לסיום התואר.

היוריסטיקות

את החיפוש ערכנו עם 3 היוריסטיקות שונות:

1. Vanilla –

h – מספר הנק"ז שנשארו לסטודנט לסיום התואר לאחר שלמד את הקורסים המוצעים בצומת v בגרף האפשרויות.

g – משקל הקשת $v \rightarrow u$ כאשר המשקל מוגדר להיות מספר הנק"ז המוצע בסמסטר v .

2. Importance & small semesters –

h – סכום importance של הקורסים המוצעים בצומת v בגרף האפשרויות.

g – משקל הקשת $v \rightarrow u$ כאשר המשקל מוגדר להיות מספר הנק"ז המוצע בסמסטר v .

3. Large semesters –

h – מספר הנק"ז שנשארו לסטודנט לסיום התואר לאחר שלמד את הקורסים המוצעים בצומת v בגרף האפשרויות.

g – 1^{-1} (משקל הקשת) $v \rightarrow u$ כאשר המשקל מוגדר להיות מספר הנק"ז המוצע בסמסטר v .

קבילות ועקביות היוריסטיקות

נניח A, B, C צמתים כך שכל צומת מייצגת סמסטר חוקי לסטודנט (הרכב קורסים).
נזכיר:

קביל – $H(A) \leq \text{actual cost to goal}$

עקבי – $H(A) - H(C) \leq \text{cost}(A \text{ to } C)$

1. Vanilla:

נוכיח שהיוריסטיקה עקבית כלומר שמתקיים $H(A) - H(B) \leq \text{cost}(A, B) = g(A, B)$ ולכן ממשפט גם קבילה.

$$H(A) \leq_{(*)} (\text{Total points to graduate}) - (g(a_1, a_2) + \dots + g(a_n, A))$$

(*) – שכן יתכן וחלק מהנקודות לא נלקחות בחשבון למשל במקרה בו יש חריגה במספר הנקודות של רשימה א' + ב'.

$$H(B) = H(A) - g(A, B)$$

$$H(A) - H(B) = H(A) - (H(A) - g(A, B)) = g(A, B)$$

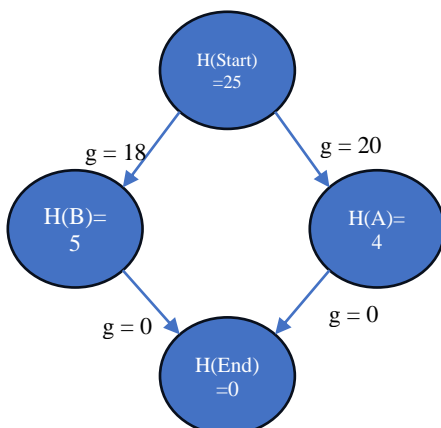
$$g(A, B) \leq \text{cost}(A, B) = g(A, B) \Rightarrow H(A) - H(B) \leq \text{cost}(A, B)$$

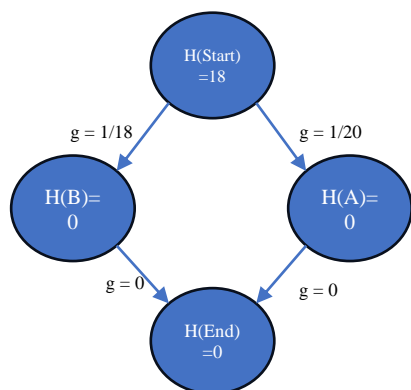
2. Importance & small semesters:

אינה קבילה לכן לפי משפט אינה עקבית. נראה ע"י דוגמה נגדית:

$$H(S) = 25 \not\leq 18 + 0 = 18$$

דוגמא לסטודנט בשנה האחרונה לתואר, כך שנשארו לו 18 נקז אחרונים, בגרף האפשרויות הבא רואים כי ישנם 2 מסלולים אפשריים לסיום התואר, אחד עם סמסטר בעל 20 נק"ז (A) שהimportance של הקורסים בו הוא 4 וסמסטר נוסף עם 18 נקז שהimportance של הקורסים בו הוא 5.





3. Large semesters

אינה קבילה לכן לפי משפט אינה עקבית. נראה ע"י דוגמה נגדית:

$$H(S) = 18 \not\leq cost(S, A) = \frac{1}{20}$$

דוגמא לסטודנט בשנה האחרונה לתואר, כך שנשארו לו 18 נקז אחרונים, בגרף האפשרויות הבא רואים כי ישנם 2 מסלולים אפשריים לסיום התואר, אחד עם סמסטר בעל 20 נק"ז (A) וסמסטר נוסף עם 18 נקז.

היוריסטיקות 2 ו-3 אינן קבילות ולכן התוצאה המתקבלת לאחר חיפוש בעזרתן, לא מבטיחה פתרון אופטימלי.

ניסויים למערכת

מטרות הניסויים

- ביצוע tuning לפרמטר MAX_AVAILABLE_COURSES
 - הערכת השפעת האופטימיזציות השונות על בניית גרף האפשרויות
 - הערכה והשוואה בין תוצאות החיפוש עבור היוריסטיקות שונות
- על מנת להשיג תוצאות אלו, הניסויים חולקו לשני חלקים. שלבי הניסוי מחולקים באופן הבא:
1. **שלב ראשון Tuning** – כיוון הערך של MAC בהתאם לנק"ז שנשארו לסיום התואר.
 2. **שלב שני Optimizations Power** – הרצה של סטודנטים רבים עם וללא אופטימיזציות והשוואת התוצאות.

תשתית ניסויים

לטובת הניסויים הקמנו תשתית ניסויים. עבור האופטימיזציות שרצינו לבחון הוספנו דגלים במערכת, וכל קונפיגורציה של ניסוי מקנפגת אילו אופטימיזציות להפעיל בעזרת קובץ json שמתאר את הניסוי. בנוסף יצרנו מאגר דוגמאות של 51 סטודנטים, משלבים שונים בתואר. כל סטודנט מתאר מצב אקדמי אפשרי, כלומר את הקלט למערכת שלנו שהינו מספרי הקורסים שהסטודנט השלים עד כה. מאגר הסטודנטים כולל סטודנט חדש, new_student, שטרם השלים ולו קורס בודד וכעשרה סטודנטים שהשלימו סמסטר אחד, עשרה שהשלימו שני סמסטרים, עשרה שהשלימו שלושה סמסטרים וכו'.. המאגר מורכב מכמה "פרופילים" שונים של סטודנטים, כוללים סטודנטים עם רקע אקדמי סטנדרטי של סטודנט בפקולטה ובאלו עם רקע אקדמי שכולל בחירת קורסים אקראית. הקפדנו בבניית המאגר שכל הסטודנטים עומדים ב"חוק הקדמים", כלומר לא למדו קורס לפני שלמדו את קורס הקדם שלו. את מאגר דוגמאות הסטודנטים ניתן לראות בפרק הנספחים ([דוגמאות סטודנטים](#)).

שלב 1 – MAX_AVAILABLE_COURSES Tuning

רקע – כפי שהזכרנו בפרק האופטימיזציות בבניית גרף האפשרויות, מכיוון שמספר הקורסים הזמינים הוא רב, כאשר אנו מייצרים את גרף האפשרויות אנו לא מייצרים את כל הסמסטרים האפשריים לסטודנט. מכל צומת בגרף האפשרויות המייצגת סמסטר אפשרי, מפותחים הבנים שלו – הסמסטרים שאפשריים לאחר למידת אותו הסמסטר. הערך MAX_AVAILABLE_COURSES מגביל את מספר הקורסים הזמינים כדי לצמצם את גודל הגרף. ראינו, שככל שדרוש גרף אפשרויות עם יותר שכבות, דרושה הגבלה חמורה יותר על מספר הקורסים הזמינים – כלומר ערך MAX_AVAILABLE_COURSES (MAC) נמוך יותר. במילים אחרות סטודנטים שנותרו להם נק"ז רב יותר דורשים ערך MAC נמוך יותר. עבדנו עם מגבלת זמן ריצה (timeout) של 10 דקות, והגדרנו שעבור זמן ריצה ארוך מהמגבלה התוצאות אינן רלוונטיות. זאת בעצת המנחה, במטרה לאפשר זמני ריצה הגיוניים לניסויים שלנו ומההנחה שזמן המתנה ארוך מ-10 דקות אינו סביר בשימוש במערכת. מטרת שלב זה, שלב ה-Tuning, היה למצוא את הערך המתאים לכל סטודנט בהתאם למספר נקודות הזכות שנותרו לו לסיום התואר. כך כאשר האופטימיזציה של הגבלת מספר הקורסים תפעל, הערך יותאם למצב האקדמי של הסטודנט.

MAX_AVAILABLE_COURSES=[6,8,10,12,15] עם timeout=10m ועבור הסטודנטים במאגר הסטודנטים

תחילה עבדנו עם אפשרויות עלו לערכי MAX כדי למצוא את הערך המתאים לפי נק"ז שנותר לסוף התואר. מכיוון שהתוצאות לא היו חד משמעיות, החלטנו להרחיב את הניסוי ולהריץ את הניסוי גם עבור ערכי הביניים של MAC שטרם נבדקו.

MAX_AVAILABLE_COURSES=[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15] עם timeout=10m ועבור הסטודנטים במאגר הסטודנטים

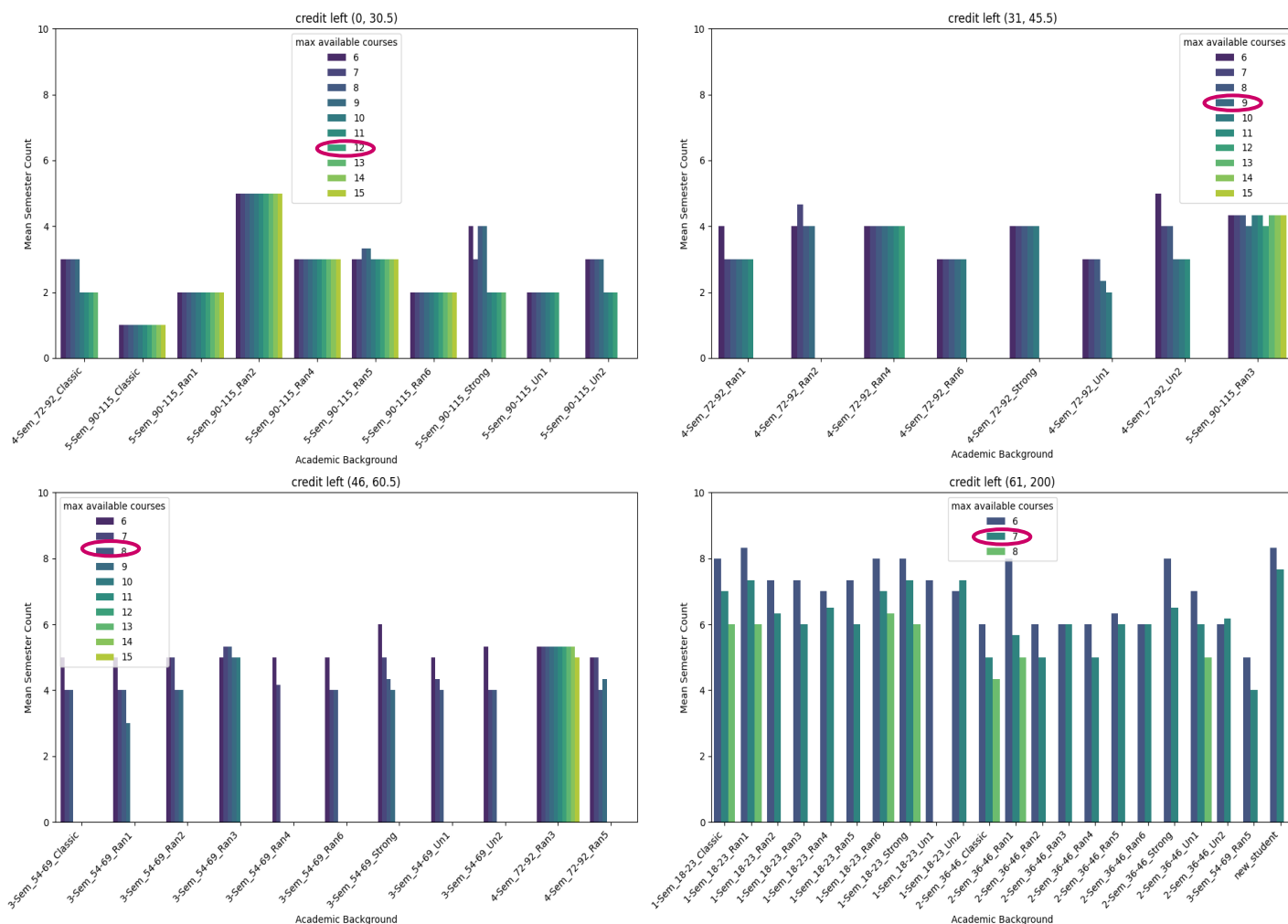
בניסוי זה הרחבנו את טווח הערכים לערך ה-MAC. כדי לנסות ולמצוא את ערך ה-MAC המקסימלי לכל קבוצה של רקע אקדמי בהתאם למספר הנקודות שנותרו לסיום התואר.

MAX_AVAILABLE_COURSES=[6,7,8,9,10,11,12,13,14,15] עם timeout=10m ועבור הסטודנטים במאגר הסטודנטים רנדומלי

לניסוי זה יצרנו מאגר סטודנטים חדש, עם רקע אקדמי שנבחר באופן רנדומלי. זאת במטרה להגדיל את מאגר הסטודנטים שלנו. רקע אקדמי זה נבחר באופן רנדומלי והבטיח שהסטודנטים למדו קורסים באופן שמקיים את דרישות הקדם של הקורסים. ניסינו לתת למערכת לעבוד עם טווח זה של ערכי MAC והשוונו את התוצאות. בניסוי זה לא היו תוצאות חד משמעיות, ולא קיבלנו איזשהי מגמה אחידה שתסייע בבחירת ערך ה-MAC לכל קבוצה של credit left. הסיבה הייתה שהרקע האקדמי שנבחר באופן רנדומלי היווה מעין "רעש" למערכת שלנו. בחירה של קורסים שבזו ברקע האקדמי עלולה להוביל למצב בו התואר מתארך, מכיוון שישנם קורסים שמהווים קדם לשרשרת רבה של קורסי חובה ובחירה.

לסיכום, החלטנו להתבסס בהחלטתנו על ערכי ה-MAC על מאגר הסטודנטים הראשוני בלבד. כפי שניתן לראות בגרף המצורף, מספר הסמסטרים שהמערכת מציעה נמוך יותר עבור ערכי MAC גבוהים יותר. בנוסף ככל שערך ה-MAC גבוה יותר זמן הריצה ארוך יותר. ערכי MAC גבוהים מאפשרים מבחר רחב יותר של קורסים בבניית כל שכבה בגרף האפשרויות, כך ניתן ליצור יותר צמתים שמייצגים סמסטרים אפשריים. דבר אשר מגדיל את גרף האפשרויות באופן אקספוננציאלי.

Mean Semester Count by Academic Background



שלב 2 – ניסוי אופטימיזציות

רקע- מכיוון שבניית גרף האפשרויות ארכה זמן רב, הוספנו מספר אופטימיזציות כדי לקבל מסלול לסיום התואר בזמן ריצה סביר. ניסוי זה מטרתו להעריך ולהשוות את השפעת האופטימיזציות השונות ולסקור ולהשוות את היוריסטיקות השונות בהן השתמשנו לטובת החיפוש.

מהלך הניסוי

כדי לבחון את השפעתן של אופטימיזציות אלו, יצרנו 1,632 קונפיגורציות של ניסויים. בניסויים התמקדנו ב-5 אופטימיזציות שהן חלק בבניית גרף האפשרויות:

1. Limit Available Courses
2. Develop options graph by priority
3. Pruning
4. Time table conflicts
5. Test conflicts

עליהן ניתן לקרוא עוד בפרק [האופטימיזציות](#).

הניסויים כללו קומבינציות שונות של שילובים של אופטימיזציות. 32 שילובים שונים – כולל הרצה ללא אופטימיזציות וכולל הפעלה של כל האופטימיזציות יחד.

כך שעבור כל סטודנט במאגר הסטודנטים הכנו 32 קונפיגורציות ניסוי - $32 \cdot 51 = 1632$. עבדנו עם מגבלת זמן ריצה (timeout) של 10 דקות, והגדרנו שעבור זמן ריצה ארוך מהמגבלה התוצאות אינן רלוונטיות. זאת בעצת המנחה, במטרה לאפשר זמני ריצה הגיוניים לניסויים שלנו ומההנחה שזמן המתנה ארוך מ-10 דקות אינו סביר בשימוש במערכת.

בכדי לייעל את הרצת הניסויים חילקנו את ההרצות לשני שלבים:

- בשלב הראשון הרצנו כ-1,000 ניסויים, כך שכיסינו את כל הסטודנטים ממאגר הסטודנטים שהרקע האקדמי שלהם כולל 3 סמסטרים או פחות.
- בשלב השני, כדי למקד את עבודתנו ובעצת המנחה החלטנו לבחור קומבינציות ספציפיות של אופטימיזציות אותן נסקור בדו"ח זה.

תוצאות הניסויים

חלק 1: אופטימיזציות בבניית הגרף

#	Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	Mean Run Time	Mean Number of Nodes	Mean Number of Edges
1	time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	22.0	4.0	81.8	51.6	615.5	741.9
2	time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	22.0	4.0	81.8	56.7	624.7	825.4
3	time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	22.0	6.0	72.7	120.4	1411.3	1911.6
4	pruning & limit available courses & develop options graph by priority	22.0	8.0	63.6	274.8	4217.4	4957.0
5	limit available courses & develop options graph by priority	22.0	11.0	50.0	270.1	3235.8	4349.9
6	limit available courses	22.0	21.0	4.5	26.1	324.0	453.0
7	no optimization	22.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(Table 1: Optimization Experiments Summary Table - credit left is more than 61)

את התוצאות ריכזנו בטבלה מסכמת. יצרנו טבלה כזו עבור כל קבוצה של סטודנטים לפי כמות הנקודות שנותרו לסיום התואר. זאת מכיוון שעבור סטודנטים שנותרו להם נקודות רבות לסיום התואר, מתאים גרף אפשרויות גדול יותר. ככל שגרף האפשרויות גדול יותר הצורך באופטימיזציות בבניית הגרף עולה.

עמודות הטבלה:

Optimization Configuration – האופטימיזציות שהופעלו בניסויים אלו.

Number of Experiments – מספר הניסויים בקונפיגורציה זו.

Timed Out – מספר הניסויים שארכו יותר מ-10 דקות.

Successful Experiments Percentage – אחוז הניסויים שארכו פחות מ-10 דקות (לא הגיעו ל-time out).

Mean Run Time – ממוצע זמן הריצה, זהו זמן הריצה הכולל של הניסוי. הכולל את ריצת כל שלבי המערכת – איסוף המידע, בניית גרף הקורסים, בניית גרף האפשרויות וחיפוש. זמני הריצה של איסוף המידע ובניית גרף הקורסים הוא קבוע לכל ריצה ולא משתנה בעקבות האופטימיזציות. בנוסף מתוצאות הניסויים עולה שזמן החיפוש קרוב לאפס ולכן שולי.

Mean Number of Nodes – ממוצע מספר הצמתים בגרף האפשרויות.

Mean Number of Edges – ממוצע מספר הקשתות בגרף האפשרויות.

ניתן לראות שבהרצה ללא אופטימיזציות (שורה 7 בטבלה לעיל), כל הניסויים לא מסיימים את ריצתם לפני time out. כאשר הפעלנו רק את limit available courses, עבור סטודנטים שנותרו להם 61 או יותר נקודות זכות להשלים (שורה 6 בטבלה לעיל), רק ניסוי אחד הצליח לסיים את הריצה לפני timeout. נציין שכל יתר האופטימיזציות שהופעלו לבדן, לא הניבו תוצאות לפני הגעה ל-timeout (לא מופיע בטבלה זו). כפי שניתן לראות עם אופטימיזציה זו בלבד רק סטודנט אחד סיים את ריצתו לפני timeout. תוצאה זו הינה חריגה מכיוון שהניסוי הסתיים באופן משמעותי מהר יותר עבור ניסוי זה. מבדיקתנו עלה כי ניסוי זה נערך עבור סטודנט עם רקע אקדמי ייחודי שלא מאפיין כל כך סטודנטים בפקולטה. ניתן לראות את סטודנט זה במאגר דוגמאות הסטודנטים בפרק הנספחים (Sem_36-46_Ran1-2).

כפי שניתן לראות כאשר הופעלו האופטימיזציות limit available courses & develop options graph by priority, עבור סטודנטים שנותרו להם 61 או יותר נקודות זכות להשלים (שורה 5 בטבלה לעיל), נשים לב שאחוזי ההצלחה עלו ל-50%. 11 ניסויים הסתיימו לפני timeout ו-11 ניסויים לא הסתיימו במגבלת הזמן של 10 דקות.

עבור תוספת של אופטימיזציות pruning יחד עם האופטימיזציות הקודמות (הקונפיגורציה בשורה 4 בטבלה לעיל) עלו אחוזי ההצלחה ל-63.6%. זמן הריצה עלה בממוצע ב-4 שניות.

למרות שאופטימיזציות pruning מקטינה את גרף האפשרויות, נראה כי ממוצע מספר הצמתים והקשתות עלה. בדקנו זאת ועלה כי הסיבה לעליה במספר הצמתים והקשתות היא כיוון שיותר ניסויים הסתיימו בהצלחה, ניסויים שלא הסתיימו בהצלחה לא נכנסים לממוצע זה. מכיוון שכל סטודנט הוא בעל רקע אקדמי מעט שונה, קיים לו גרף אפשרויות שונה, מכיוון שמתאימים לו סמסטרים אחרים. שינוי של קורס אחד, יכול לעלות בהוספה של סמסטר נוסף לתואר ובהתאמה אצלנו, צמתים נוספים בגרף האפשרויות. ניתן לראות בהקשר זה שכאשר משווים את הקונפיגורציה שכוללת את כל האופטימיזציות (שורה 1 בטבלה לעיל) עם התוצאות עבור אותה קונפיגורציה למעט ההפעלה של אופטימיזציות pruning (שורה 2 בטבלה לעיל), שהתקבלו אחוזי הצלחה זהים ואכן כאשר מופעלת אופטימיזציות pruning ישנה ירידה בממוצע מספר הצמתים והקשתות בגרף האפשרויות.

מתוצאות הניסויים ניתן לראות מגמה אחידה בכל חתכי הניסויים, שאחוזי ההצלחה בניסויים עלו ככל שהופעלו מספר רב יותר של אופטימיזציות.

#	Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	Mean Run Time	Mean Number of Nodes	Mean Number of Edges
1	time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	11	2	81.8	81.0	1509.8	1950.7
2	time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	11	3	72.7	67.2	895.5	1282.1
3	time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	11	5	54.5	141.7	1965.0	2827.8
4	pruning & limit available courses & develop options graph by priority	11	6	45.5	166.2	3094.4	3692.2
5	limit available courses & develop options graph by priority	11	7	36.4	189.7	2344.5	3119.5
6	limit available courses	11	8	27.3	189.4	2242.0	2838.3
7	no optimization	11	10	9.1	8.2	32.0	37.0

(Table 2: Optimization Experiments Summary Table - credit left is between 46 and 60)

#	Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	Mean Run Time	Mean Number of Nodes	Mean Number of Edges
1	time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	8	2	75.0	58.9	1061.7	1344.7
2	time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	8	1	87.5	166.0	2267.4	3083.7
3	time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	8	3	62.5	201.4	2675.6	3762.6
4	pruning & limit available courses & develop options graph by priority	8	4	50.0	123.1	1838.5	2435.0
5	limit available courses & develop options graph by priority	8	4	50.0	196.9	2884.3	4035.8
6	limit available courses	8	4	50.0	212.5	3139.8	4407.5
7	no optimization	8	7	12.5	7.1	31.0	36.0

(Table 3: Optimization Experiments Summary Table - credit left is between 31 and 45)

#	Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	Mean Run Time	Mean Number of Nodes	Mean Number of Edges
1	time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	10	0	100.0	67.2	17318.0	21337.6
2	time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	10	2	80.0	41.4	625.9	936.3
3	time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	10	3	70.0	85.9	2069.1	3447.3
4	pruning & limit available courses & develop options graph by priority	10	3	70.0	40.4	4720.3	5001.3
5	limit available courses & develop options graph by priority	10	4	60.0	10.0	123.2	187.5
6	limit available courses	10	4	60.0	11.9	155.8	241.0
7	no optimization	10	7	30.0	4.4	8.7	8.7

(Table 4: Optimization Experiments Summary Table - credit left is between 30 and 0)

Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	vanilla- h=credits left for graduation, g=weight			h=importance, g=weight			h=credits left for graduation, g=inverse_weight		
				Mean Semester Count 1	Mean Path Credits 1	Mean error in credit left 1	Mean Semester Count 2	Mean Path Credits 2	Mean error in credit left 2	Mean Semester Count 5	Mean Path Credits 5	Mean error in credit left 5
time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	22	4	81.8	5.7	91.0	6.7	5.7	91.0	6.7	5.9	94.1	9.9
time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	22	4	81.8	6.0	91.9	7.6	5.9	91.9	7.7	6.0	95.1	10.8
time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	22	6	72.7	5.3	89.8	6.2	5.3	89.8	6.2	5.3	92.0	8.3
pruning & limit available courses & develop options graph by priority	22	8	63.6	5.1	87.3	5.8	5.1	87.3	5.8	5.1	91.5	9.9
limit available courses & develop options graph by priority	22	11	50.0	5.2	86.3	5.1	5.1	86.3	5.1	5.1	90.1	8.9
limit available courses	22	21	4.5	5.0	81.5	6.5	5.0	81.5	6.5	5.0	86.5	11.5
	22	22	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Table 5: Heuristics Comparison Summary Table - credit left is more than 61)

עמודות הטבלה עבור כל יוריסטיקה:

Mean Semester Count – ממוצע מספר הסמסטרים שהתקבלו עד לסוף התואר.

Mean Path Credits – ממוצע מספר הנקז במסלול לסוף התואר

Mean error in credit left – ממוצע על הפרש הנקז בין כמות הנקז הדרושה לסיום לבין כמות הנקז של המסלול הנבחר בפועל.

שאר העמודות: **Successful Experiments Percentage, Timed out, Number of Experiments** – זהות לטבלאות למעלה.

בטבלה בה מוצגים סטודנטים שנותרו להם 61 נקז ומעלה להשלמת התואר ניתן לראות כי תוצאות יוריסטיקות מס 1 ו 2 כמעט זהות אך היוריסטיקה השלישית מביאה תוצאות טובות פחות. בשלושת היוריסטיקות ממוצע מספר הסמסטרים נע בין 5 סמסטרים ל 6 במקרה הגרוע ביותר, אך בכמות הנקז יש הבדל, בשני היוריסטיקות הראשונות כמות הנקז נעה בין 81.5 ל 91 וממוצע ההפרש בין כמות הנקז הדרושה לעומת הכמות שהוצעה היא בטווח 5.1-6.7 נקז, לעומת היוריסטיקה השלישית שבה כמות הנקז היא בין 86.5 ל 94.1 וממוצע ההפרש הוא בטווח 8.3-11.5.

ניתן לראות כי בכל הטבלאות (עבור כל טווח של נקז לסיום התואר), השורה הראשונה והרביעית שמייצגות ריצה שזהה לריצה בשורות 2 ו 5 בהתאמה אך עם הוספת האופטימיזציה pruning, מתקבל מספר סמסטרים ממוצע קטן/שווה לעומת השורה ללא ה pruning כלומר pruning זוהי אופטימיזציה שמביאה תוצאה טובה יותר.

כאשר מספר הנקז שנותר הוא גדול מ 60, תוצאות האלגוריתם הטובות ביותר (בשימוש ביוריסטיקות 1,2) מתקבלות כאשר נעשה שימוש במספר הקטן ביותר של אופטימיזציות אך כאשר נותרו פחות מ 60 נקז לסיום התואר התוצאות הטובות ביותר מתקבלות בריצות בהן כן נעשה שימוש באופטימיזציות. נשים לב שבריצה עם מספר האופטימיזציות הקטן ביותר, כל הריצות נכשלו למעט ריצה אחת כלומר זוהי תוצאה חריגה. מבדיקתנו עלה כי ניסוי זה נערך עבור סטודנט עם רקע אקדמי ייחודי שלא מאפיין כל כך סטודנטים בפקולטה. ניתן לראות את סטודנט זה במאגר דוגמאות הסטודנטים בפרק הנספחים (Sem_36-46_Ran1-2) בדומה להסבר לעיל. כלומר גם עבור מספר נקז שגדול מ 60 התוצאות מתיישרות עם האבחנות שהסקנו.

Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	vanilla- h=credits left for graduation, g=weight			h=importance, g=weight			h=credits left for graduation, g=inverse_weight		
				Mean Semester Count 1	Mean Path Credits 1	Mean error in credit left 1	Mean Semester Count 2	Mean Path Credits 2	Mean error in credit left 2	Mean Semester Count 5	Mean Path Credits 5	Mean error in credit left 5
time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	11	2	81.8	4.1	58.7	4.2	4.1	58.7	4.2	4.2	61.4	6.8
time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	11	3	72.7	4.3	58.8	4.5	4.3	58.8	4.5	4.5	63.6	9.4
time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	11	5	54.5	4.3	57.2	3.2	4.3	57.2	3.2	4.3	60.8	6.8
pruning & limit available courses & develop options graph by priority	11	6	45.5	4.2	55.4	2.5	4.2	55.4	2.5	4.2	59.7	6.8
limit available courses & develop options graph by priority	11	7	36.4	4.5	54.3	2.1	4.5	54.3	2.1	4.5	58.1	6.0
limit available courses	11	8	27.3	4.7	53.5	1.3	4.7	53.5	1.3	4.7	54.7	2.5
	11	10	9.1	5.0	52.5	1.0	5.0	52.5	1.0	5.0	52.5	1.0

(Table 6: Heuristics Comparison Summary Table - credit left is between 46 and 60)

Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	vanilla- h=credits left for graduation, g=weight			h=importance, g=weight			h=credits left for graduation, g=inverse_weight		
				Mean Semester Count 1	Mean Path Credits 1	Mean error in credit left 1	Mean Semester Count 2	Mean Path Credits 2	Mean error in credit left 2	Mean Semester Count 5	Mean Path Credits 5	Mean error in credit left 5
time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	8	2	75.0	3.3	42.8	3.2	3.3	42.8	3.2	3.5	46.9	7.3
time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	8	1	87.5	3.4	43.4	3.4	3.4	43.4	3.4	4.0	49.5	9.6
time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	8	3	62.5	3.4	41.5	2.1	3.4	41.5	2.1	3.4	44.0	4.6
pruning & limit available courses & develop options graph by priority	8	4	50.0	3.5	42.0	1.5	3.5	42.0	1.5	3.5	43.5	3.0
limit available courses & develop options graph by priority	8	4	50.0	3.5	42.0	1.5	3.5	42.0	1.5	3.5	43.9	3.4
limit available courses	8	4	50.0	3.5	41.4	0.9	3.5	41.4	0.9	3.5	42.9	2.4
	8	7	12.5	4.0	34.5	0.0	4.0	34.5	0.0	4.0	34.5	0.0

(Table 7: Heuristics Comparison Summary Table - credit left is between 31 and 45)

Optimization Configuration	Number of Experiments	Timed Out	Successful Experiments Percentage	vanilla- h=credits left for graduation, g=weight			h=importance, g=weight			h=credits left for graduation, g=inverse_weight		
				Mean Semester Count 1	Mean Path Credits 1	Mean error in credit left 1	Mean Semester Count 2	Mean Path Credits 2	Mean error in credit left 2	Mean Semester Count 5	Mean Path Credits 5	Mean error in credit left 5
time table conflicts & tests conflicts & pruning & limit available courses & develop options graph by priority	10	0	100.0	2.5	28.8	6.7	2.5	28.8	6.7	2.5	30.7	8.6
time table conflicts & tests conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	10	2	80.0	2.6	29.1	7.3	2.6	29.1	7.3	2.8	30.2	8.4
time table conflicts & limit available courses & develop options graph by priority	10	3	70.0	2.4	28.1	5.6	2.4	28.1	5.6	2.6	30.1	7.7
pruning & limit available courses & develop options graph by priority	10	3	70.0	2.4	26.4	4.9	2.4	26.4	4.9	2.4	28.8	7.2
limit available courses & develop options graph by priority	10	4	60.0	2.5	26.8	3.8	2.5	26.8	3.8	2.5	28.7	5.8
limit available courses	10	4	60.0	2.5	27.1	4.2	2.5	27.1	4.2	2.5	28.4	5.5
	10	7	30.0	3.0	27.5	2.3	3.0	27.5	2.3	3.0	27.5	2.3

(Table 8: Heuristics Comparison Summary Table - credit left is between 31 and 45)

האופטימיזציות מעלות את זמן הריצה באופן מסויים, אך הן מקרבות למציאה של פתרון, מסלול לימודים, בזמן סביר. ניתן לראות שע"פ התוצאות זמן הריצה מתארך בשימוש באופטימיזציות, מפאת עלות זמן הריצה שלהן, אך ככל שמופעלות אופטימיזציות רבות יותר זמן הריצה מתקצר משמעותית.

האופטימיזציות test conflicts-ו time table conflicts מצמצמות את מספר הצמתים בגרף האפשרויות, כך שפחות סמסטרים מוצעים כאופציה בחיפוש. אמנם הן מקטנות את מרחב החיפוש אך הן מסירות אפשרויות שאינן רלוונטיות. אלו אופטימיזציות שגם משפרות את זמן הריצה וגם משפרות את נכונות התוצאות.

מהתוצאות השונות ניכר כי Pruning לא הועיל כפי שהסרה של קונפליקטים בלוח הזמנים של ההרצאות ותרגולים הועילה. נראה כי הסרה מראש של סמסטרים שאינם רלוונטים מקטינה משמעותית את הגרף. אך למרות זאת ערך האופטימיזציה של pruning חשוב ואף עובד יחד עם האופטימיזציה של develop options graph by priority. מכיוון שפיתוח גרף האפשרויות תוך עידוד יצירה של סמסטרים עם ערך importance גבוה יותר מסייע בביצוע pruning. מתן עדיפות של קורסים שמהווים קדם לקורסים אחרים, בונה קודם כל מסלולים שיש להם סיכוי להביא לסוף התואר תוך פחות סמסטרים. כך בביצוע pruning כשנגיע לבניה של "מסלול ארוך", סיכוי גבוה יותר שבנינו מסלול קצר יותר קודם לכן, אם הוא קיים, וכך האופטימיזציה הזו תגזום ענף ארוך זה מגרף האפשרויות.

לאחר התבוננות בתוצאות, כאשר משווים בין שלושת היוריסטיקות ניתן לראות ש2 היוריסטיקות הראשונות נותנות תוצאות כמעט זהות ומעט יותר טובות מהיוריסטיקה השלישית. ניתן להסביר את הדמיון בין 2 היוריסטיקות הראשונות ע"כ שמתבצע שימוש באופטימיזציה develop options graph by priority. אופטימיזציה זו בונה את הגרף כך שהצמתים השמאליים ביותר הם עם סך importance כולל הגבוה ביותר. דבר זה גורם לכך שחיפוש בעזרת יוריסטיקת הvanilla, עבורה כל המסלולים "זהים", פועל באופן דומה לחיפוש שמעדיף מסלולים עם importance גבוה. במהלך ריצת A* המסלול עם ה importance הגבוה נבדק ראשון ומכיוון שכל המסלולים זהים האלגוריתם לא מפתח כיוונים נוספים.

יתכן כי חיפוש בעזרת היוריסטיקה השלישית לא הניב תוצאות טובות כמו של 2 היוריסטיקות הראשונות כיוון שיוריסטיקה זו לא עומדת בתנאים ליוריסטיקה עקבית ולכן לא מובטחת תוצאה אופטימלית.

בנוסף התוצאות מעלות ששימוש באופטימיזציה pruning משפר את תוצאות החיפוש כפי שהסברנו בפרק האופטימיזציות, אופטימיזציה זו מסירה מהגרף מסלולים שיובילו לסיום התואר תוך מספר סמסטרים רב יותר ממסלולים קיימים אחרים בגרף.

סיכום

במהלך כתיבת הדו"ח העלינו את הקשיים והבעיות בבניית מסלול לסיום התואר, הצענו פתרונות, תיארו את האלגוריתם, אופן פעולתו ותרשים ה-Design. בנוסף, תיארו את הקשיים בפיתוח האלגוריתם וההתמודדות עם מגבלות זמן הריצה ע"י האופטימיזציות השונות. ביצענו ניסויים על מספר סטודנטים בהם בדקנו את תוצאות האלגוריתם ואיכותו ע"י הסקת מסקנות ותיאור התוצאות באופן גרפי וטבלאי.

הצעות להמשך הפרויקט

- לאחר חקירת התוצאות והסקת המסקנות לעיל, העלינו מספר אפשרויות שבהם ניתן לשפר ולהרחיב את הפרויקט.
- הקמת אתר web – הנגשת האלגוריתם לשימוש הסטודנטים בפקולטה למדעי המחשב ובפקולטות נוספות. מלבד התוצאה הסופית שהיא תכנון מסלול לימודי ניתן יהיה להציג בו תוצאות עזר נוספות כגון: קורסים זמינים לסטודנט לפי קדמים שכבר למד, הרכבת והצגת האפשרויות למערכת השעות עבור הסמסטר הנבחר, הוספת פרמטרים אישיים עבור הסטודנט כמו בחירת תחומי עניין לקורסי בחירה, מרווח ימים בין מבחנים, הגבלת ימי הלמידה במערכת השעות בימים מסוימים או מספר ימים קבוע.
 - שיפור זמן ריצת האלגוריתם - הוספת מסד נתונים בו נשמור את כלל המידע על הקורסים ואת עץ הקדמים. הוספת cache עבור גרף האפשרויות שכן יתכן גרף זה לסטודנטים רבים. שימוש בתכנות מקבילי.
 - הוספת אלגוריתמי למידה – למידה מנתוני עבר של סטודנטים שהשתמשו במערכת, ויישומם על סטודנטים עם העדפות אקדמאיות ואישיות דומות.
 - שיפור תוצאות האלגוריתם – ניתן לראות כי אופטימיזציות גרף האפשרויות שנוספו להתמודדות עם מגבלת זמן הריצה יכולות להוביל לתכנון מסלול עם מספר סמסטרים גדול יותר מהתכנון האופטימלי הידוע. ניתן לשפר את תוצאת האלגוריתם ע"י הפעלת אלגוריתם "מכווץ" נוסף על המסלול המתקבל.
 - התאמה האופטימיזציות בגרף האפשרויות לכל שכבה – בתחילת בניית גרף האפשרויות לסטודנט בסמסטרים מוקדמים, הסיכוי לחריגה בזמני הריצה גבוה ביותר ועם התקדמות הסטודנט בתואר (בשכבות) הסיכוי יורד. לכן עם ההתקדמות נרצה להפחית את השימוש באופטימיזציות שחלקן מגבילות את מרחב החיפוש וכך לשפר את התוצאות.
 - הוספת שיקול ממוצע הקורסים בבחירת המסלול - ע"י הוספת הממוצע לכל קורס ניתן יהיה לבחור מתוך המסלולים לסיום התואר שאורכם זהה את המסלול שיכול להוביל לממוצע הגבוה ביותר בפרט הוספת יוריסטיקה שתיתן עדיפות גבוהה למסלול עם ממוצע גבוה יותר.

נספחים

מאגר דוגמאות הסטודנטים

id	Student	Completed courses	Credit left	credit left by type
1	new_student		118.5	<p>חובה: 73.5</p> <p>בחירה חופשית: 2</p> <p>העשרה: 6</p> <p>מתמטי נוסף: 2.5</p> <p>שרשרת מדעית: 8</p> <p>ספורט: 2</p> <p>רשימה א: 18</p> <p>רשימה ב: 6.5</p> <p>פרויקט: 1</p> <p>תת שרשרת מדעית: 1</p>
2	Sem_18--1 23_Classic	<p>מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129</p> <p>מבוא למדעי המחשב מ' : 234114</p> <p>אלגברה אמ' : 104166</p> <p>חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031</p> <p>אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033</p> <p>ספורט : 1 : 000011</p>	96.5	<p>חובה: 52.5</p> <p>בחירה חופשית: 2</p> <p>העשרה: 6</p> <p>מתמטי נוסף: 2.5</p> <p>שרשרת מדעית: 8</p> <p>ספורט: 1.0</p> <p>רשימה א: 18</p> <p>רשימה ב: 6.5</p> <p>פרויקט: 1</p> <p>תת שרשרת מדעית: 1</p>
3	Sem_18-23_Ran1-1	<p>מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129</p> <p>מבוא למדעי המחשב מ' : 234114</p> <p>אלגברה אמ' : 104166</p> <p>חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031</p> <p>חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104032</p>	95.5	<p>חובה: 50.5</p> <p>בחירה חופשית: 2</p> <p>העשרה: 6</p> <p>מתמטי נוסף: 2.5</p> <p>שרשרת מדעית: 8</p> <p>ספורט: 2</p> <p>רשימה א: 18</p> <p>רשימה ב: 6.5</p> <p>פרויקט: 1</p> <p>תת שרשרת מדעית: 1</p>
4	Sem_18-23_Ran2-1	<p>ביולוגיה : 1 : 134058</p> <p>פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336</p> <p>למידה חישובית : 1 : 096411</p> <p>יסודות הכימיה : 124120</p> <p>מבוא למדעי המחשב מ' : 234114</p> <p>אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033</p>	97	<p>חובה: 66.5</p> <p>בחירה חופשית: 2</p> <p>העשרה: 6</p> <p>מתמטי נוסף: 2.5</p> <p>שרשרת מדעית: 0.0</p> <p>ספורט: 2</p> <p>רשימה א: 15.0</p> <p>רשימה ב: 3.0</p> <p>פרויקט: 1</p> <p>תת שרשרת מדעית: 1</p>
5	Sem_18-23_Ran3-1	<p>הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222</p> <p>מבוא למדעי המחשב מ' : 234114</p> <p>אלגברה אמ' : 104166</p> <p>חופשית : 1 : 000031</p> <p>אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033</p> <p>ביולוגיה : 1 : 134058</p>	97.5	<p>חובה: 61.0</p> <p>בחירה חופשית: 0.0</p> <p>העשרה: 6</p> <p>מתמטי נוסף: 2.5</p> <p>שרשרת מדעית: 5.0</p> <p>ספורט: 2</p> <p>רשימה א: 18</p>

				רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
6	Sem_18-23_Ran4-1	העשרה 2 : 000022 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114	97.5	חובה: 64.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 2 רשימה א: 12.0 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
7	Sem_18-23_Ran5-1	הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 ביולוגיה 1 : 134058 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033	96.5	חובה: 58.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 2 רשימה א: 18 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
8	Sem_18-23_Ran6-1	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031	97.5	חובה: 55.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
9	Sem_18--1 23_Strong	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 ספורט 1 : 000011	99.5	חובה: 55.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
10	Sem_18-23_Un1-1	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031	100	חובה: 58.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5

				פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
11	Sem_18-23_Un2-1	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 חופשית 1 : 000031	99.5	חובה: 56.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 2 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
12	Sem_36--2 46_Classic	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 מבוא לתכנות מערכות : 234124 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104032 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 לוגיקה למדעי המחשב : 234292	73.5	חובה: 29.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
13	Sem_36-46_Ran1-2	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104032 תורת הפונקציות 1 : 104122 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 משוואות דפרנציאליות רגילות ת' : 104135 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 1 : 000021 אלגוריתמים נומריים : 234125 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278	75	חובה: 43.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 8 ספורט: 2 רשימה א: 15.0 רשימה ב: 0.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
14	Sem_36-46_Ran2-2	ביולוגיה 1 : 134058 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 למידה חישובית 1 : 096411 יסודות הכימיה : 124120 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 העשרה 1 : 000021 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 2 : 000022 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 ספורט 1 : 000011	74.5	חובה: 49.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 0.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 15.0 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
15	Sem_36-46_Ran3-2	הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222	74.5	חובה: 52.0

		מבוא למדעי המחשב מ': 234114 אלגברה אמ': 104166 חופשית 1: 000031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב': 324033 ביולוגיה 1: 134058 שיטות רב-סריג: 236790 למידה חישובית 1: 096411 מבוא לתכנות מערכות: 234124 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות: 236278 מכניקה אנליטית: 114101 העשרה 2: 000022 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב: 044252		בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 1.0 ספורט: 2 רשימה א: 13.0 רשימה ב: 0.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
16	Sem_36-46_Ran4-2	העשרה 2: 000022 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות: 236336 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות: 236278 חשבון אינפיניטסימלי מ1: 104031 הנדסת מערכות מבוססת מודלים: 094222 מבוא למדעי המחשב מ': 234114 ספורט 1: 000011 למידה חישובית 1: 096411 ספורט 2: 000012 העשרה 1: 000021 פיסיקה מ1: 114071 הסתברות מ: 094412 אלגברה אמ': 104166 מבוא לכלכלה: 094591	77.5	16חובה: 51.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 0.0 רשימה א: 12.0 רשימה ב: 4.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
17	Sem_36-46_Ran5-2	הנדסת מערכות מבוססת מודלים: 094222 ביולוגיה 1: 134058 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח: 234129 מבוא למדעי המחשב מ': 234114 אלגברה אמ': 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב': 324033 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב: 044252 כימיה כללית: 125001 העשרה 1: 000021 למידה חישובית 1: 096411 שיטות רב-סריג: 236790 העשרה 2: 000022 מכניקה אנליטית: 114101	81	חובה: 53.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 2.0 ספורט: 2 רשימה א: 16.0 רשימה ב: 0.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
18	Sem_36-46_Ran6-2	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח: 234129 מבוא למדעי המחשב מ': 234114 אלגברה אמ': 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1: 104031 ספורט 1: 000011 חופשית 1: 000031 למידה חישובית 1: 096411 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות: 236336 העשרה 2: 000022 קומבינטוריקה למדעי המחשב: 234141	77	חובה: 45.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 13.0 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1

		הסתברות מ : 094412 שיטות רב-סריג : 236790 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033		
19	Sem_36--2 46_Strong	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 ספורט 1 : 000011 מבוא לתכנות מערכות : 234124 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 פיסיקה מ1 : 114071	81	חובה: 37.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
20	Sem_36-46_Un1-2	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 פיסיקה מ1 : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292	79	חובה: 37.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
21	Sem_36-46_Un2-2	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 חופשית 1 : 000031 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 פיסיקה מ1 : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292	77	חובה: 34.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 2 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
22	Sem_54--3 69_Classic	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 מבוא לתכנות מערכות : 234124 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 הסתברות מ : 094412 מבני נתונים 1 : 234218 פיסיקה מ1 : 114071 ארגון ותכנות המחשב : 234118	52	חובה: 13.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1

		אלגברה מודרנית ח' : 104134 אלגברה במ' : 104174 ביולוגיה 1 : 134058		
23	Sem_54-69_Ran1-3	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 תורת הפונקציות 1 : 104122 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 משוואות דפרנציאליות רגילות ת' : 104135 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 1 : 000021 אלגוריתמים נומריים : 234125 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 העשרה 3 : 000023 הסתברות מ : 094412 ביולוגיה 1 : 134058 פרויקט תעשייתי : 234313 מבוא לאופטימיזציה : 236330	56	חובה: 36.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 2 רשימה א: 8.0 רשימה ב: 0.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1
24	Sem_54-69_Ran2-3	ביולוגיה 1 : 134058 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 למידה חישובית 1 : 096411 יסודות הכימיה : 124120 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 העשרה 1 : 000021 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 2 : 000022 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 ספורט 1 : 000011 אלגברה אמ' : 104166 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 1 : 236503 פיסיקה מ1 : 114071 תורת הקבוצות : 104293 ארגון ותכנות המחשב : 234118 העשרה 3 : 000023 מבוא לאבטחת סייבר : 234493	54	חובה: 37.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 0.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 11.0 רשימה ב: 0.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1
25	Sem_54-69_Ran3-3	הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חופשית 1 : 000031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ביולוגיה 1 : 134058 שיטות רב-סריג : 236790	57	חובה: 46.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: -2.5 ספורט: 2 רשימה א: 2.0

		<p>למידה חישובית 1 : 096411 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 מכניקה אנליטית : 114101 העשרה 2 : 000022 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 פרויקט ב- וי.אל.אס.אי. א' : 234306 אלגברה מודרנית ח' : 104134 פרויקט בתכנות מקבילי ומבוזר : 236371 מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 2 : 236526 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 גנטיקה כללית : 134020</p>		<p>רשימה ב: -0.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 0</p>
26	Sem_54-69_Ran4-3	<p>העשרה 2 : 000022 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 ספורט 1 : 000011 למידה חישובית 1 : 096411 ספורט 2 : 000012 העשרה 1 : 000021 פיסיקה מ' : 114071 הסתברות מ : 094412 אלגברה אמ' : 104166 מבוא לכלכלה : 094591 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 אלגברה במ' : 104174 חופשית 1 : 000031 העשרה 3 : 000023 אלגברה מודרנית ח' : 104134 ביולוגיה 1 : 134058 פיסיקה 2 : 114052</p>	59	<p>חובה: 45.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: 1.5 ספורט: 0.0 רשימה א: 12.0 רשימה ב: -4.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1</p>
27	Sem_54-69_Ran5-3	<p>הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 ביולוגיה 1 : 134058 מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 כימיה כללית : 125001 העשרה 1 : 000021 למידה חישובית 1 : 096411 שיטות רב-סריג : 236790 העשרה 2 : 000022 מכניקה אנליטית : 114101 ספורט 1 : 000011 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278</p>	64	<p>חובה: 42.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: -7.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 13.0 רשימה ב: -0.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1</p>

		<p>העשרה 3 : 000023 חשבון אינפיניטסימלי מ'1 : 104031 אלגברה מודרנית ח' : 104134 יסודות הכימיה : 124120 לוגיקה למדעי המחשב : 234292</p>		
28	Sem_54-69_Ran6-3	<p>מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ'1 : 104031 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031 למידה חישובית 1 : 096411 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 העשרה 2 : 000022 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 הסתברות מ : 094412 שיטות רב-סריג : 236790 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 2 : 000012 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מבוא לכלכלה : 094591 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 יסודות הכימיה : 124120 אלגברה מודרנית ח' : 104134</p>	58.5	<p>חובה: 39.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 3.0 ספורט: 0.0 רשימה א: 10.0 רשימה ב: 0.5- פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1</p>
29	Sem_54--3 69_Strong	<p>מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ'1 : 104031 ספורט 1 : 000011 מבוא לתכנות מערכות : 234124 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי מ'2 : 104032 פיסיקה מ'1 : 114071 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 מבני נתונים 1 : 234218 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 אלגברה מודרנית ח' : 104134 הסתברות מ : 094412 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 מבוא לאבטחת סייבר : 234493</p>	59.5	<p>חובה: 16.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 17.0 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1</p>
30	Sem_54-69_Un1-3	<p>מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031 חשבון אינפיניטסימלי מ'1 : 104031 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252</p>	57	<p>חובה: 22.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 0.0 רשימה א: 15.0 רשימה ב: 6.5</p>

		פסיקה מ1 : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 חשבון אינפיניטסימלי מ2 : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 ארגון ותכנות המחשב : 234118 ביולוגיה 1 : 134058 ספורט 2 : 000012 מסדי נתונים : 236363		פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
31	Sem_54-69_Un2-3	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1 : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 חופשית 1 : 000031 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 חשבון אינפיניטסימלי מ2 : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 פסיקה מ1 : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 אלגברה מודרנית ח' : 104134 אלגוריתמים נומריים : 234125 מבוא לכלכלה : 094591 ספורט 1 : 000011 העשרה 1 : 000021	56	חובה: 19.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 8 ספורט: 1.0 רשימה א: 18 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
32	Sem_72--4 92_Classic	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1 : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 מבוא לתכנות מערכות : 234124 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי מ2 : 104032 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 הסתברות מ : 094412 מבני נתונים 1 : 234218 פסיקה מ1 : 114071 ארגון ותכנות המחשב : 234118 אלגברה מודרנית ח' : 104134 אלגברה במ' : 104174 ביולוגיה 1 : 134058 אלגוריתמים 1 : 234247 מערכות הפעלה : 234123 תורת הקומפילציה : 236360 מבוא לבינה מלאכותית : 236501	30	חובה: 3.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 6.5 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1

		מבוא לביואינפורמטיקה : 236523 פרויקט תעשייתי : 234313 גרפיקה ממוחשבת 1 : 234325		
33	Sem_72-92_Ran1-4	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 תורת הפונקציות 1 : 104122 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 משוואות דפרנציאליות רגילות ת' : 104135 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 1 : 000021 אלגוריתמים נומריים : 234125 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 העשרה 3 : 000023 הסתברות מ : 094412 ביולוגיה 1 : 134058 פרויקט תעשייתי : 234313 מבוא לאופטימיזציה : 236330 חופשית 1 : 000031 פרויקט בעיבוד שפות טבעיות : 236303 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 2 : 236526 תורת הקבוצות : 104293 למידה חישובית 1 : 096411 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מבני נתונים 1 : 234218	42.5	חובה: 33.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 2 רשימה א: -1.0 רשימה ב: -5.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1
34	Sem_72-92_Ran2-4	ביולוגיה 1 : 134058 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 למידה חישובית 1 : 096411 יסודות הכימיה : 124120 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 העשרה 1 : 000021 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 2 : 000022 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 ספורט 1 : 000011 אלגברה אמ' : 104166 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 1 : 236503 פיסיקה מ1 : 114071 תורת הקבוצות : 104293 ארגון ותכנות המחשב : 234118	42	חובה: 31.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 0.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 5.0 רשימה ב: -8.0 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1

		<p>העשרה 3 : 000023 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 פרויקט בתכנות מקבילי ומבוזר : 236371 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 אלגברה מודרנית ח' : 104134 משוואות דפרנציאליות רגילות ת' : 104135 פרויקט בעיבוד שפות טבעיות : 236303 מבוא לביוכימיה ואנזימולוגיה : 134019 תורת הקומפילציה : 236360</p>		
35	Sem_72-92_Ran3-4	<p>הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חופשית 1 : 000031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ביולוגיה 1 : 134058 שיטות רב-סריג : 236790 למידה חישובית 1 : 096411 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 מכניקה אנליטית : 114101 העשרה 2 : 000022 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 פרויקט ב- וי.אל.אס.אי. א' : 234306 אלגברה מודרנית ח' : 104134 פרויקט בתכנות מקבילי ומבוזר : 236371 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 2 : 236526 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 גנטיקה כללית : 134020 האינטרנט של הדברים - טכנולוגיות ויישומים : 236332 פרויקט באינטרנט של הדברים : 236333 פרויקט בעיבוד שפות טבעיות : 236303 פרויקט ב- וי.אל.אס.אי. ב' : 236381 מבוא לתורת הצפינה : 236309 פיסיקה 1 מ : 114071 סיבוכיות של חישובים אלגבריים : 236311</p>	51.5	<p>חובה: 43.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: -2.5 ספורט: 2 רשימה א: 0.0 רשימה ב: -16.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 0</p>
36	Sem_72-92_Ran4-4	<p>העשרה 2 : 000022 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 ספורט 1 : 000011 למידה חישובית 1 : 096411 ספורט 2 : 000012 העשרה 1 : 000021 פיסיקה 1 מ : 114071 הסתברות מ : 094412</p>	40.5	<p>חובה: 33.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: -2.0 ספורט: 0.0 רשימה א: 7.0 רשימה ב: -4.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 0</p>

		אלגברה אמ': 104166 מבוא לכלכלה : 094591 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 אלגברה במ': 104174 חופשית 1 : 000031 העשרה 3 : 000023 אלגברה מודרנית ח' : 104134 ביולוגיה 1 : 134058 פיסיקה 2 : 114052 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 מבוא לתכנות מערכות : 234124 סיבוכיות של חישובים אלגבריים : 236311 גנטיקה כללית : 134020 שיטות רב-סריג : 236790		
37	Sem_72-92_Ran5-4	הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 ביולוגיה 1 : 134058 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ': 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 כימיה כללית : 125001 העשרה 1 : 000021 למידה חישובית 1 : 096411 שיטות רב-סריג : 236790 העשרה 2 : 000022 מכניקה אנליטית : 114101 ספורט 1 : 000011 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 העשרה 3 : 000023 חשבון אינפיניטסימלי מ1 : 104031 אלגברה מודרנית ח' : 104134 יסודות הכימיה : 124120 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 מסדי נתונים : 236363 ספורט 2 : 000012 מבוא לתורת הצפינה : 236309 חשבון אינפיניטסימלי מ2 : 104032 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מבוא לביואינפורמטיקה : 236523 סיבוכיות של חישובים אלגבריים : 236311	48	חובה: 37.0 בחירה חופשית: 2 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: -7.0 ספורט: 0.0 רשימה א: -1.5 רשימה ב: -0.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
38	Sem_72-92_Ran6-4	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ': 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1 : 104031 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031 למידה חישובית 1 : 096411 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336	41	חובה: 31.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 1.0 שרשרת מדעית: -2.0 ספורט: 0.0 רשימה א: 6.0 רשימה ב: -0.5

		<p>236336 העשרה 2 : 000022 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 הסתברות מ : 094412 שיטות רב-סריג : 236790 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 2 : 000012 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מבוא לכלכלה : 094591 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 יסודות הכימיה : 124120 אלגברה מודרנית ח' : 104134 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 אלגברה במ' : 104174 חשבון אינפיניטסימלי 2מ' : 104032 אלגברה של תורת הגרפים ומבנים קומבינטורים : 236308 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 כימיה אורגנית : 125801</p>		<p>פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 0</p>
39	Sem_72--4 92_Strong	<p>מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 ספורט 1 : 000011 מבוא לתכנות מערכות : 234124 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי 2מ' : 104032 פיסיקה 1מ' : 114071 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 מבני נתונים 1 : 234218 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 אלגברה מודרנית ח' : 104134 הסתברות מ : 094412 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 ארגון ותכנות המחשב : 234118 מערכות הפעלה : 234123 אלגוריתמים 1 : 234247 אלגברה במ' : 104174 ביולוגיה 1 : 134058 חופשית 1 : 000031 ספורט 2 : 000012</p>	40.5	<p>חובה: 6.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 0.0 רשימה א: 17.0 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1</p>
40	Sem_72-92_Un1-4	<p>מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 מבוא לתכנות מערכות : 234124</p>	36	<p>חובה: 13.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: 1.5 ספורט: 0.0 רשימה א: 9.5 רשימה ב: 3.0</p>

		מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 פסיקה 1מ' : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 חשבון אינפיניטסימלי 2מ' : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 ארגון ותכנות המחשב : 234118 ביולוגיה 1 : 134058 ספורט 2 : 000012 מסדי נתונים : 236363 מבני נתונים 1 : 234218 אלגברה מודרנית ח' : 104134 תורת הקומפילציה : 236360 מבוא לכלכלה : 094591 שפות תכנות : 236319 מבוא לביואינפורמטיקה : 236523 גנטיקה כללית : 134020		פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 0
41	Sem_72-92_Un2-4	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 חופשית 1 : 000031 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 חשבון אינפיניטסימלי 2מ' : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 פסיקה 1מ' : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 אלגברה מודרנית ח' : 104134 אלגוריתמים נומריים : 234125 מבוא לכלכלה : 094591 ספורט 1 : 000011 העשרה 1 : 000021 מבני נתונים 1 : 234218 ארגון ותכנות המחשב : 234118 אלגברה במ' : 104174 מבוא למערכות לומדות : 236756 יסודות הכימיה : 124120 מבוא לאבטחת סייבר : 234493	38.5	חובה: 13.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: 3.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 14.0 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1
42	Sem_90--5 115_Classic	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 מבוא לתכנות מערכות : 234124 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי 2מ' : 104032	7.5	חובה: 0.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: 5.0 ספורט: 0.0 רשימה א: 0.5 רשימה ב: -0.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1

		מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 הסתברות מ : 094412 מבני נתונים 1 : 234218 פיסיקה 1 מ : 114071 ארגון ותכנות המחשב : 234118 אלגברה מודרנית ח' : 104134 אלגברה במ' : 104174 ביולוגיה 1 : 134058 אלגוריתמים 1 : 234247 מערכות הפעלה : 234123 תורת הקומפילציה : 236360 מבוא לבינה מלאכותית : 236501 מבוא לביואינפורמטיקה : 236523 פרויקט תעשייתי : 234313 גרפיקה ממוחשבת 1 : 234325 תורת החישוביות : 236343 שפות תכנות : 236319 מסדי נתונים : 236363 מבוא לסטטיסטיקה : 094423 מבוא לחבורות : 104158 ספורט 2 : 000012 חופשית 1 : 000031 העשרה 1 : 000021 העשרה 2 : 000022		
43	Sem_90--5 115_Ran1	מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי 1 מ' : 104031 חשבון אינפיניטסימלי 2 מ' : 104032 תורת הפונקציות 1 : 104122 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 משוואות דפרנציאליות רגילות ת' : 104135 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 1 : 000021 אלגוריתמים נומריים : 234125 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 העשרה 3 : 000023 הסתברות מ : 094412 ביולוגיה 1 : 134058 פרויקט תעשייתי : 234313 מבוא לאופטימיזציה : 236330 חופשית 1 : 000031 פרויקט בעיבוד שפות טבעיות : 236303 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 2 : 236526 תורת הקבוצות : 104293 למידה חישובית 1 : 096411 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות :	23.5	חובה: 19.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: -2.5 ספורט: 2 רשימה א: -1.0 רשימה ב: -5.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 0

		236336 מבני נתונים 1 : 234218 אלגוריתמים 1 : 234247 אלגברה מודרנית ח' : 104134 גנטיקה כללית : 134020 מכניקה אנליטית : 114101 פיסיקה 1מ : 114071 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252		
44	Sem_90--5 115_Ran2	ביולוגיה 1 : 134058 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 למידה חישובית 1 : 096411 יסודות הכימיה : 124120 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 העשרה 1 : 000021 מבוא לתכנות מערכות : 234124 העשרה 2 : 000022 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 ספורט 1 : 000011 אלגברה אמ' : 104166 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 1 : 236503 פיסיקה 1מ : 114071 תורת הקבוצות : 104293 ארגון ותכנות המחשב : 234118 העשרה 3 : 000023 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 פרויקט בתכנות מקבילי ומבוזר : 236371 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 אלגברה מודרנית ח' : 104134 משוואות דיפרנציאליות רגילות ת' : 104135 פרויקט בעיבוד שפות טבעיות : 236303 מבוא לביוכימיה ואנזימולוגיה : 134019 תורת הקומפילציה : 236360 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 חשבון אינפיניטסימלי 2מ' : 104032 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 2 : 236526 אלגברה במ' : 104174 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 מבוא לביואינפורמטיקה : 236523	26.5	חובה: 23.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: 0.0 ספורט: 1.0 רשימה א: -1.0 רשימה ב: -10.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 1
45	Sem_90--5 115_Ran3	הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חופשית 1 : 000031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ביולוגיה 1 : 134058 שיטות רב-סריג : 236790	34.5	חובה: 31.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: -2.5 ספורט: 1.0 רשימה א: 0.0

		<p>רשימה ב: -16.5 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 0</p> <p>למידה חישובית 1 : 096411 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 מכניקה אנליטית : 114101 העשרה 2 : 000022 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 פרויקט ב- וי.אל.אס.אי. א' : 234306 אלגברה מודרנית ח' : 104134 פרויקט בתכנות מקבילי ומבוזר : 236371 מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 2 : 236526 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 גנטיקה כללית : 134020 האינטרנט של הדברים - טכנולוגיות ויישומים : 236332 פרויקט באינטרנט של הדברים : 236333 פרויקט בעיבוד שפות טבעיות : 236303 פרויקט ב- וי.אל.אס.אי. ב' : 236381 מבוא לתורת הצפינה : 236309 פיסיקה 1מ : 114071 סיבוכיות של חישובים אלגבריים : 236311 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 ארגון ותכנות המחשב : 234118 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 אלגברה במ' : 104174 ספורט 1 : 000011 העשרה 1 : 000021</p>		
46	Sem_90--5 115_Ran4	<p>העשרה 2 : 000022 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מאיצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 חשבון אינפיניטסימלי 1מ' : 104031 הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 ספורט 1 : 000011 למידה חישובית 1 : 096411 ספורט 2 : 000012 העשרה 1 : 000021 פיסיקה 1מ : 114071 הסתברות מ : 094412 אלגברה אמ' : 104166 מבוא לכלכלה : 094591 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 אלגברה במ' : 104174 חופשית 1 : 000031 העשרה 3 : 000023 אלגברה מודרנית ח' : 104134 ביולוגיה 1 : 134058 פיסיקה 2 : 114052 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141</p>	25.5	<p>חובה: 25.5 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: -1.0 שרשרת מדעית: -2.0 ספורט: 0.0 רשימה א: -2.0 רשימה ב: -7.0 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 0</p>

		<p>מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 מבוא לתכנות מערכות : 234124 סיבוכיות של חישובים אלגבריים : 236311 גנטיקה כללית : 134020 שיטות רב-סריג : 236790 מבוא לתורת הצפינה : 236309 פרויקט תכנות מתקדם במדעי המחשב 1 : 236503 פרויקט תעשייתי : 234313 חשבון אינפיניטסימלי מ'2 : 104032 פרויקט בתכנות מקבילי ומבוזר : 236371 אלגוריתמים נומריים : 234125</p>		
47	Sem_90--5 115_Ran5	<p>הנדסת מערכות מבוססת מודלים : 094222 ביולוגיה 1 : 134058 מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 כימיה כללית : 125001 העשרה 1 : 000021 למידה חישובית 1 : 096411 שיטות רב-סריג : 236790 העשרה 2 : 000022 מכניקה אנליטית : 114101 ספורט 1 : 000011 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 העשרה 3 : 000023 חשבון אינפיניטסימלי מ'1 : 104031 אלגברה מודרנית ח' : 104134 יסודות הכימיה : 124120 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 מסדי נתונים : 236363 ספורט 2 : 000012 מבוא לתורת הצפינה : 236309 חשבון אינפיניטסימלי מ'2 : 104032 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 מבוא לביואינפורמטיקה : 236523 סיבוכיות של חישובים אלגבריים : 236311 הסתברות מ : 094412 מבוא לתכנות מערכות : 234124 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 פיסיקה מ'1 : 114071 אלגוריתמים נומריים : 234125 גנטיקה כללית : 134020</p>	27	<p>חובה: 19.5 בחירה חופשית: 2 העשרה: 0.0 מתמטי נוסף: 2.5 שרשרת מדעית: - 10.5 ספורט: 0.0 רשימה א: -1.5 רשימה ב: -0.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 0</p>
48	Sem_90--5 115_Ran6	<p>מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ'1 : 104031 ספורט 1 : 000011</p>	24	<p>חובה: 20.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 4.0 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 2.0-</p>

		<p>חופשית 1 : 000031 למידה חישובית 1 : 096411 פתרון נומרי של משוואות דיפרנציאליות חלקיות : 236336 העשרה 2 : 000022 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 הסתברות מ : 094412 שיטות רב-סריג : 236790 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 2 : 000012 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מבוא לכלכלה : 094591 מאצים חישוביים ומערכות מואצות : 236278 יסודות הכימיה : 124120 אלגברה מודרנית ח' : 104134 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 אלגברה במ' : 104174 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104032 אלגברה של תורת הגרפים ומבנים קומבינטורים : 236308 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 כימיה אורגנית : 125801 מבני נתונים 1 : 234218 מבוא לרשתות עצביות : 236941 מבוא לאימות תוכנה : 236342 אלגוריתמים נומריים : 234125 שפות תכנות : 236319 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252</p>		<p>ספורט: 0.0 רשימה א: 0.0 רשימה ב: 3.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 0</p>
49	Sem_90--5 115_Strong	<p>מב. לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104031 ספורט 1 : 000011 מבוא לתכנות מערכות : 234124 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 אלגוריתמים נומריים : 234125 חשבון אינפיניטסימלי מ' : 104032 פיסיקה מ' : 114071 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 מבני נתונים 1 : 234218 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 אלגברה מודרנית ח' : 104134 הסתברות מ : 094412 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 ארגון ותכנות המחשב : 234118 מערכות הפעלה : 234123 אלגוריתמים 1 : 234247 אלגברה במ' : 104174 ביולוגיה 1 : 134058 חופשית 1 : 000031</p>	19.5	<p>חובה: 0.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: 1.0 שרשרת מדעית: 1.5 ספורט: 0.0 רשימה א: 11.0 רשימה ב: 6.5 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 0</p>

		ספורט 2 : 000012 תורת הקומפילציה : 236360 מבוא לעיבוד שפות טבעיות : 236299 תורת החישוביות : 236343 גנטיקה כללית : 134020 כימיה כללית : 125001 העשרה 1 : 000021 סדנה בתכנות תחרותי : 234901 העשרה 2 : 000022		
50	Sem_90-115_Un1-5	מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 אלגברה אמ' : 104166 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 ספורט 1 : 000011 חופשית 1 : 000031 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 מבוא לתכנות מערכות : 234124 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 פיסיקה מ1 : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 ארגון ותכנות המחשב : 234118 ביולוגיה 1 : 134058 ספורט 2 : 000012 מסדי נתונים : 236363 מבני נתונים 1 : 234218 אלגברה מודרנית ח' : 104134 תורת הקומפילציה : 236360 מבוא לכלכלה : 094591 שפות תכנות : 236319 מבוא לביואינפורמטיקה : 236523 גנטיקה כללית : 134020 אלגוריתמים 1 : 234247 מערכות הפעלה : 234123 אלגוריתמים נומריים : 234125 פרויקט תעשייתי : 234313 אלגברה במ' : 104174 מבוא לרשתות מחשבים : 236334	17	חובה: 3.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 6 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 1.5 ספורט: 0.0 רשימה א: 3.5 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 0 תת שרשרת מדעית: 0
51	Sem_90-115_Un2-5	מב.לתורת הקבוצות ואוטומטים למדמח : 234129 אלגברה אמ' : 104166 חשבון אינפיניטסימלי מ1' : 104031 אנגלית טכנית-מתקדמים ב' : 324033 חופשית 1 : 000031 מבוא למדעי המחשב מ' : 234114 חשבון אינפיניטסימלי מ2' : 104032 הסתברות מ : 094412 קומבינטוריקה למדעי המחשב : 234141 פיסיקה מ1 : 114071 לוגיקה למדעי המחשב : 234292	17	חובה: 3.0 בחירה חופשית: 0.0 העשרה: 2.0 מתמטי נוסף: 1.0- שרשרת מדעית: 3.0 ספורט: 1.0 רשימה א: 5.0 רשימה ב: 3.0 פרויקט: 1 תת שרשרת מדעית: 1

		מבוא לתכנות מערכות : 234124 מערכות ספרתיות ומבנה המחשב : 044252 אלגברה מודרנית ח' : 104134 אלגוריתמים נומריים : 234125 מבוא לכלכלה : 094591 ספורט 1 : 000011 העשרה 1 : 000021 מבני נתונים 1 : 234218 ארגון ותכנות המחשב : 234118 אלגברה במ' : 104174 מבוא למערכות לומדות : 236756 יסודות הכימיה : 124120 מבוא לאבטחת סייבר : 234493 נושאים מתקדמים בשיטות אימות פורמליות ה'+ת' 236625 : נושאים מתקדמים בעיבוד שפה טבעית ה'+ת' : 236631 מבוא לבינה מלאכותית : 236501 אלגוריתמים 1 : 234247 מערכות הפעלה : 234123 תורת הקומפילציה : 236360 העשרה 2 : 000022		
--	--	--	--	--