מבוא למדעי המחשב 67101 – סמסטר קיץ 2020
תרגיל 8 – Backtracking
להגשה בתאריך **24/08/2020** בשעה 22:00

הקדמה

בתרגיל זה נתרגל שימוש ב **Backtracking**. אנא קראו את הדברים הבאים **לפני תחילת עבודה**:

- בתרגיל זה יש להגיש קובץ אחד בשם ex8.zip, ובתוכו נמצא הקובץ **nonogram.py**.
- חתימות הפונקציות (שם הפונקציה והפרמטרים שלה) צריכות להיות זהות במדויק לחתימות המתוארת במשימות (היזהרו מ copy – paste מקובץ זה, כתבו בעצמכם).
- לפני מימוש פונקציה, קראו את כל הסעיף, וודאו הבנה של הדוגמאות המצורפות.
- ניתן להוסיף פונקציות נוספות וניתן להשתמש בשאלות מאוחרות יותר בפונקציות שמומשו קודם.
- סגנון: הקפידו על תיעוד נאות ובחרו שמות משתנים משמעותיים. הקפידו להשתמש בקבועים (שמות משתנים באותיות גדולות), על פי ההסברים שנלמדו, רק אם יש בכך צורך.
- בכל שאלה מפורט מה ניתן להניח על הקלט - אין צורך לבצע בדיקות תקינות נוספות מעבר למפורט.
- אין לייבא (לעשות import) לאף אחד מהספריות: numpy, itertools, re לכל ספריה אחרת – בקשו במפורש בפורום.
- בתרגיל זה יש חשיבות ליעילות מימוש הפונקציות. מימוש לא יעיל יגרור הורדת נקודות.
- שימו לב מתי אתם משנים קלט לפונקציה ומתי לא.
- **קראו את כל המסמך לפני תחילת עבודה!**
- **המלצת עבודה: לפני מימוש כל פונקציה, רשמו את אלגוריתם הפתרון שלכם על דף טיוטה.**

מטרת התרגיל

בתרגיל זה נממש פתרון למשחק **שחור ופתור** (או בשמו הלועזי **Nonogram**) ללוח שחור לבן. על מנת לעשות כן, נשתמש ב**גישוש נסוג** (**Backtracking**).

הסבר על המשחק:

כדאי לקרוא על המשחק בויקיפדיה:

שחור ופתור

Nonogram

חלק א' – שפה משותפת ופונקציות עזר

בחלק זה נגדיר את האופן בו אנו מייצגים את המשחק בפייתון. נשים לב שלוח משחק מוגדר ע"י גודלו, ומספר רצפים בסדר מסוים לכל שורה ולכל עמודה.

<u>רשימת אילוצים:</u>

עבור לוח משחק בגודל $n \times m$ (n שורות, m עמודות) נגדיר את **מערך אילוצי השורות** להיות מערך בגודל **n** כאשר בתא ה- **i** ישנו מערך המכיל את כל מספרי הרצפים, לפי הסדר, של השורות.

באותו האופן בדיוק נגדיר את **מערך אילוצי העמודות**.

את שני המערכים הנ"ל נקבץ למערך יחיד, כאשר **מערך אילוצי השורות** מופיע בתא ה 0, ו**מערך אילוצי העמודות** מופיע בתא ה 1.

דוגמה: את אילוצי לוח המשחק הבא:

					2	2
		0	2	1	2	2
	0					
	4					
	6					
2	2					
1	3					

נייצג ע"י המערך:

my_constraints=[[[], [4], [6], [2, 2], [1, 3]], [[], [2], [1], [2, 2], [2, 2]]]

כאשר בצבע הכתום מסומן **מערך אילוצי השורות** ובצבע הכחול מסומן **מערך אילוצי העמודות**.

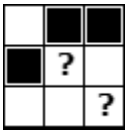
שימו לב שעבור 0 משבצות צבועות בשורה, האילוץ יהיה רשימה ריקה.

<u>מטריצת המשחק:</u>

את המשחק נייצג ע"י מערך דו ממדי: כלומר רשימה של רשימות, כאשר הרשימה ה-0 היא השורה הראשונה, והאיבר ה-0 ברשימה ה-0 הוא האיבר הראשון בעמודה הראשונה. כלומר האיבר ה-0,0 ממוקם שמאל עליון.

נסמן ב-0 משבצת לבנה, ב-1 משבצת מושחרת, וב-1 משבצת שהיא בסימן שאלה (כלומר עדיין לא הוחלט לגביה שחור או לבן)

למשל את הלוח הבא:



נייצג ע"י הרשימה:

my_board=[[0, 1, 1], [1, -1, 0], [0, 0, -1]]

הערה: בין כל זוג "בלוקים" של משבצות מלאות, **חייבת** להופיע לפחות משבצת ריקה אחת. לדוגמה, שורה בת 5 משבצות שחורה לגמרי, תסומן באילוץ [5], ולא ב [3,2] או ב [1,4] וכו'.

חלק ב' – בניית עזרי פתרון

1. בדיקת אפשרויות הצביעה:

משימה: כתבו פונקציה אשר מקבלת שורה נתונה בלוח ואת האילוצים שלה (רשימת גדלי בלוקים) ומחזירה רשימה של כל האפשרויות לצביעת השורה, כך שהצביעה תעמוד באילוצים.

- חתימת הפונקציה:

```
def get_row_variations(row, blocks)
```

- קלט הפונקציה:
  - הקלט blocks הינו מערך מספרים (גדלי הבלוקים בשורה לפי הסדר).
  - הקלט row הינו רשימה המייצגת צביעה חלקית של שורה (רשימה עם הערכים 1-, 0, 1)
- פלט הפונקציה: רשימה של כל הצביעות האפשריות (רשימת רשימות עם הערכים 0 או 1)

דוגמאות לקלטים ופלטים:

```
get_row_variations([1, 1, -1, 0], [3]) -> [[1, 1, 1, 0]]
get_row_variations([-1, -1, -1, 0], [2]) -> [[0, 1, 1, 0], [1, 1, 0, 0]]
get_row_variations([-1, 0, 1, 0, -1, 0], [1,1]) -> [[0, 0, 1, 0, 1, 0], [1, 0, 1, 0, 0, 0]]
get_row_variations([-1, -1, -1] , [1]) -> [[1, 0, 0], [0, 1, 0], [0, 0, 1]  ]
get_row_variations([0, 0, 0] , [1]) -> [ ]
get_row_variations([0, 0, -1, 1, 0] , [3]) -> [ ]
get_row_variations([0, 0, -1, 1, 0] , [2]) -> [ [0, 0, 1, 1, 0]]
get_row_variations([0, 0, 1, 1, 0] , [2]) -> [ [0, 0, 1, 1, 0]]
```

הערות למימוש:

- ניתן להניח שהקלטים תקינים. שימו לב שיתכן ואין צביעות העומדות באילוצים.
- הפונקציה צריכה להשחיר רק משבצות שלא ידועות זהותן, כלומר עם הערך 1-. משבצות עם הערך 0 לא נשחיר. משבצות עם הערך 1, כלומר כבר מושחרות – בהן נצטרך להתחשב כחלק מבלוק כלשהו.
- שימו לב **לא לשנות את רשימת הקלט.**
- לא חשוב סדר האיברים ברשימה המוחזרת.
- **חישבו:** אילו צביעות ניתן לפסול מראש? אילו תנאים צריכה לקיים צביעה חוקית? אילו תנאים מקיימת צביעה לא חוקית? כדי לקבל אינטואיציה, נסו לכתוב על דף את כל אפשרויות הצביעה של הדוגמה הרביעית.
- ממשו פונקציה זו בעזרת Backtracking. מימוש לא יעיל עלול לאבד ניקוד בשאלה (יעיל יותר -> פחות פעולות ובדיקות מיותרות).

2. השחרת/הלבנת משבצות משותפות:

נרצה לכתוב פונקציה שמקבלת אילוצים של כמה שורות, ומחזירה את האילוץ המשותף לכולן.

משימה: כתבו פונקציה אשר מקבלת רשימה של שורות ומחזירה "חיתוך השורות" – שורה בה ישנן משבצות שחורות, לבנות וניטרליות – כאשר משבצת שחורה/לבנה היא משבצת שכל שורות הקלט בה מסכימות על צביעה בשחור/לבן (בהתאמה), וניטרלית היא משבצת בה אין דפוס חד משמעי. במקרה שבו כל המשבצות הצבועות בשורות הקלט צבועות בשחור/לבן, אך המשבצת היא ניטרלית בחלק מהשורות, ניתן לבחור (באופן עקבי) אם משבצות כאלה יצבעו בשחור/לבן (בהתאמה) או שישארו ניטרליות. הצדיקו את הבחירה שלכם בהערה בראש הקובץ.

- חתימת הפונקציה:

```
def get_intersection_row(rows)
```

- קלט הפונקציה: רשימה של שורות באותו אורך.
- פלט הפונקציה: שורה בה צבועות בשחור/לבן רק משבצות שצבועות כך בכל אחת משורות הקלט. השאר ניטרליות.

דוגמה לקלט ופלט:

```
get_intersection_row([[0, 0, 1], [0, 1, 1], [0, 0, 1]]) -> [0, -1, 1]
get_intersection_row([[0, 1, -1], [-1, -1, -1]]) -> [0, 1, -1] or [-1, -1, -1]
```

הערות למימוש:

- אין לשנות את הקלט.
- ניתן להניח שהקלט תקין (רשימה לא ריקה, שכל הרשימות בתוכה הן באותו האורך).
- משבצת שחורה מסומנת ב-1, משבצת לבנה מסומנת ב 0, ומשבצת ניטרלית תסומן ב- 1-.

חלק ג' – פתרון למשחק

3. פתרון משחק Nonogram פשוט:

נכתוב פונקציה אשר מחקה שיטת פתרון אנושית לשחור ופתור: הפונקציה תבדוק אילו משבצות חייבות להיות שחורות/לבנות בכל שורה (לפי חפיפת כל האפשרויות), ותצבע אותם בהתאם. לדוגמה, עבור הלוח הבא:

0	2	1

אפילו מבלי לדעת את האילוצים על השורות, אנו יכולים להסיק כי המשבצת האמצעית תהיה שחורה – זה נובע מחפיפת כל האפשרויות לצביעת העמודה האמצעית.

עבור לוחות משחק מסוימים ויחסית פשוטים, בעזרת השיטה הנ"ל ניתן לפתור את המשחק.
כלומר ע"י הסקת מסקנות מהאילוצים בלבד, נוכל לצבוע משבצות בכל שורה, ולאחר מכן עם המידע החדש לעשות את אותה הפעולה על העמודות. עם המידע החדש, נחזור חלילה על הנ"ל עד שנתכנס ללוח, בתקווה, פתור.

משימה: כתבו פונקציה המקבלת אילוצי לוח משחק Nonogram (כמתואר בחלק א') ומחזירה את המשחק הפתור.

- חתימת הפונקציה:

```
def solve_easy_nonogram(constraints)
```

- פלט הפונקציה: הפונקציה תחזיר לוח משחק פתור ככל שניתן, או None אם הגעתם לסתירה במהלך הפתרון..

הערות למימוש:

- הקלט constraints הינו מערך מהסוג המתואר בחלק א', וניתן להניח כי הינו תקין. לא ניתן להניח שיש פתרון.
- אם יתקבל כקלט לוח משחק שלא ניתן לפתור לגמרי על ידי השיטות הנ"ל, הפונקציה תחזיר את הלוח המתקבל שממנו לא ניתן להסיק יותר מסקנות ישירות מחפיפת אילוצים – וישארו בו משבצות ניטרליות במקומות המתאימים. כלומר הפונקציה תחזיר לוח פתור חלקית – עד כמה שניתן.
- שימו לב שיש להסיק רק את מה שניתן להסיק על ידי בדיקת כל שורה או עמודה בפני עצמן.
- שימו לב שברגע שהסקנו מסקנה על שורה מסוימת (כלומר צבענו בה משבצות לפי האילוצים) אז נוסף מידע חדש על עמודה / עמודות שבהן צבענו את השורה, ועליהן צריך לבצע הסקת מסקנות נוספת.

- על הפונקציה לבצע הסקת מסקנות על השורות ועל העמודות, **ולחזור על התהליך** עד אשר אין מסקנות שניתן להסיק (לאחר סבב אחד על שורות ועמודות, עשוי להיווצר מידע חדש שניתן להשתמש בו להסקה נוספת).
- ממשו את הפונקציה בצורה יעילה (על אילו עמודות \ שורות מיותר לעבור, בכל איטרציה?)
- ניתן ורצוי להשתמש בפונקציית עזר משלכם. בנוסף, **השתמשו בפונקציות מסעיפים קודמים**.

4. פתרון מלא למשחק Nonogram (בונוס חלקי):

בעזרת סעיפים קודמים, נוכל לממש פונקציה הפותרת כל משחק Nonogram בצורה יחסית מהירה (מבחינה פרקטית).

החלק הקשה של סעיף זה הוא בונוס.

החלק הקשה הוא הטיפול בלוחות שבהם יש פתרון (או כמה פתרונות) אבל לא ניתן למצוא אותו על ידי שימוש בסעיף הקודם.

משימה: כתבו פונקציה המקבלת אילוצי לוח משחק Nonogram (כמתואר בחלק א') ומחזירה רשימה של פתרונות למשחק.

- חתימת הפונקציה:

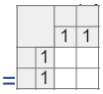
```
def solve_nonogram(constraints)
```

- פלט הפונקציה: הפונקציה תחזיר רשימה של לוחות פתורים (כל הפתרונות האפשריים למשחק).

דוגמה לקלט ופלט:

עבור הלוח הבא:

[[[1] ,[1]] ,[[1] ,[1]]] =



נקבל:

solve_nonogram([[[1], [1]], [[1], [1]]]) = [[[1, 0], [0, 1]], [[0, 1], [1, 0]]]= [ , ]

הערות למימוש:

- הקלט constraints הינו מערך מהסוג המתואר בחלק א', וניתן להניח כי הינו תקין.
- אם אין לוחות שמתאימים לאילוצים, יש להחזיר רשימה ריקה.
- ניתן ורצוי להשתמש בפונקציית עזר משלכם.

- **השתמשו בפונקציות מסעיפים קודמים**, וממשו הפתרון בעזרת Backtracking.
- על הפונקציה להיות יעילה. נקצה זמן מסוים לפתרון לוחות ספציפיים בעזרת מימושכם – מימוש לא יעיל מספיק לא ינוקד באופן מלא (או בכלל).
- יש לוחות משחק שהפונקציה בסעיף הקודם אינה יכולה לפתור, ופונקציה זו כן.
- **חובה להגיש פונקציה זו**, אך היא חייבת לפעול בצורה נכונה רק עבור הלוחות אותם הפונקציה הקודמת יכולה לפתור, ולהחזיר רשימה שמכילה פתרון יחיד.

הבונוס הוא עבור מקרים שהפונקציה הקודמת לא פותרת, כלומר מקרים ללא פתרונות, מקרים שיש יותר מפתרון יחיד, ומקרים שיש פתרון יחיד, אבל הפונקציה הקודמת לא יכולה למצוא אותו.

חלק ד' – קומבינטוריקה

5. ספירת אפשרויות הצביעה:

משימה: כתבו פונקציה אשר מקבלת אורך שורה ורשימת אילוצים, ומחזירה את מספר הצביעות של שורה באורך זה המתאימות לרשימת האילוצים.

- חתימת הפונקציה:

```
def count_row_variations(length, blocks)
```

- קלט הפונקציה:
  - הקלט blocks הינו מערך מספרים (גדלי הבלוקים בשורה לפי הסדר).
  - הקלט length אורך השורה.
- פלט הפונקציה: מספר הצביעות האפשריות.

דוגמאות לקלטים ופלטים:

```
count_row_variations(3, [1, 1] -> 1
count_row_variations(3, [1]) -> 3
count_row_variations(3, [1,2]) -> 0
```

הערות למימוש:

- ניתן להניח שהקלטים תקינים.
- פונקציה זו תיבדק בעיקר על קלטים גדולים. יש למצוא פתרון יעיל.
- הקוד הבא הוא נכון, אבל ממש לא יעיל:

```
def count_row_variation(length,blocks):
    return len(get_row variations(length*[-1],blocks))
```

חישבו כיצד ניתן להשתמש במידע הזה כדי לכתוב פתרון יעיל יותר לסעיף 1 במקרים מסוימים.

6. ספירת אפשרויות הצביעה – בונוס (עד 5 נקודות):

משימה: הרחיבו את הפונקציה שכתבתם בסעיף הקודם כדי לספור צביעות של אילוצים על שורה שכבר מלאה חלקית.

- חתימת הפונקציה:

```
def count_row_variations(length, blocks, row=None)
```

- קלט הפונקציה:
  - הקלט blocks הינו מערך מספרים (גדלי הבלוקים בשורה לפי הסדר).
  - הקלט length אורך השורה.
  - הקלט row הוא רשימה המייצגת צביעה חלקית של שורה.
- פלט הפונקציה: מספר הצביעות האפשריות.

דוגמאות לקלטים ופלטים:

```
count_row_variations(3, [1], [-1, 1, -1]) -> 1
count_row_variations(3, [1], [-1, 0, -1]) -> 2
count_row_variations(3, [1,1], [0, -1, -1]) -> 0
```

הערות למימוש:

- ניתן להניח שהקלטים תקינים.
- ניתן להניח שאם ניתנה צביעה חלקית של שורה, שהיא תואמת לאורך השורה שניתן כפרמטר.
- גם פונקציה זו תיבדק בעיקר על קלטים גדולים. הפתרון לסעיף זה צריך להיות יותר יעיל מאשר הפתרון של סעיף 1, אבל לא יהיה יעיל כמו הסעיף הקודם.
- ניתן לפתור את הסעיף הקודם בתוך הפתרון של הסעיף הזה, אך עדיף לפתור ולהשאיר את הפתרון היעיל יותר בנפרד.
- הקוד הבא הוא נכון, אבל ממש לא יעיל:

```
def count_row_variation(length,blocks,row):
    return len(get_row variations(row,blocks))
```

חלק ד' – שאלות תאורטיות

7. מענה על שאלות ב Ex8 - Quiz:

ענו על Ex8 – Quiz הנמצא במודל תחת סימניה Exercise 8.

חלק ה' – Code Review

8. ביקורת עמיתים / Peer Review:

השבוע כל אחד מכם יקבל שני פתרונות של חבריכם לתרגיל 5 ותתבקשו לעשות להם code review (סקר קוד).

סקר קוד הוא הליך מקובל מאד בחברות תוכנה בו מתכנת אחד קורא קוד של מתכנת אחר ומחווה את דעתו עליו.

לסקר קוד מטרות רבות, ביניהן מציאת שגיאות, שיפור הקוד, תכנון קוד נכון יותר, למידה מניסיונם של מתכנתים אחרים ועוד.

במודל השבוע יהיה לינק ל-Code Review ובו תקבלו גישה לשני פתרונות לתרגיל 5. עליכם לקרוא את הפתרון, להבין אותו ולהעביר עליו ביקורת. בביקורת יש להתייחס להיבטים הבאים:

- תכנון הקוד וחלוקתו לפונקציות.
- קריאות הקוד - האם היו חלקים שהיו קשים להבנה?
- האם הקוד מודולרי וקל לשינוי? למשל, אילו היינו רוצים להוסיף אופציות לחלק מהתפריטים כמה שינויים היו נגררים בקוד.
- שגיאות מפורשות בפתרון התרגיל.

חשוב לציין שלא מספיק לכתוב מה נעשה לא נכון, אלא צריך גם לכתוב איך היה ניתן לפתור את הבעיה. לכל הערה יש לכתוב את מספר השורה ושם הפונקציה הרלוונטיים. כמו כן, כתבו על דברים שנעשו טוב בפתרון התרגיל ועל דברים שאתם למדתם מקריאתו. זאת אומרת שבכל מקרה יש לעבור על כל תרגיל ולהעיר הערות מפורטות על אילו חלקים היה צריך לשנות ואיך, ועל אילו חלקים נעשו היטב לדעתכם ולמה.

<u>סעיף זה הינו חובה, וחלק מהתרגיל.</u>

שימו לב: התרגיל אותו תבדקו ושעליו תתנו את דעתכם, <u>לא יאבד ניקוד</u> כתוצאה מהביקורת שלכם. לא תפגעו בציון חבריכם!

נהלי הגשה

בתרגיל זה, יש להגיש קובץ zip הנקרא ex8.zip המכיל בדיוק את הקובץ nonogram.py בו הפונקציות שמימשתם.

שימו לב ש Ex8 – Quiz הינו חובה וחלק מציון התרגיל.

שימו לב ש Code Review הינו חובה וחלק מציון התרגיל.

בהצלחה!