אוניברסיטת אריאל בשומרון

פקולטה: מדעי הטבע

מחלקה: מדעי המחשב

# אלגוריתמים כלכליים – פתרון

קוד הקורס: 2-7062310 קבוצה 1

שם המרצה: אראל סגל-הלוי

שנה \_\_\_\_\_\_ה'תשפ”ב\_\_\_\_\_\_\_ סמסטר \_\_\_א\_\_\_ מועד \_\_א\_\_

תאריך בחינה:\_\_\_ח’ שבט ה’תשפ”ב 10/1/2022\_\_\_\_

משך הבחינה: 2.5 שעות = 150 דקות

יש לפתור את כל השאלות במחברת הבחינה.

* אין צורך להעתיק את השאלון למחברת - השאלון יתפרסם באתר הקורס לאחר הבחינה.

חומר עזר מותר בשימוש: דף-נוסחאות אישי בגודל פוליו (A4). אפשר לכתוב משני צדי הדף.

הנחיות לפתרון שאלות תיכנות:

* יש לתעד את הקוד ולהסביר היטב בעברית מה עושה כל שורה ואיך זה מתאים לאלגוריתם.
* אתם לא נבחנים על התחביר של שפת פייתון, אלא על האלגוריתם – חשוב שאצליח להבין מה עשיתם.

הנחיות כלליות:

* מומלץ לכתוב בפייתון. מותר גם לכתוב פסאודו-קוד, בתנאי שהוא ברור מדוייק ומפורט ברמה של שפת תיכנות.
* יש להסביר כל תשובה בפירוט. ניקוד מלא יינתן רק על תשובה נכונה עם הסבר נכון.
* אם נראה לכם ששאלה כלשהי אינה מוגדרת עד הסוף (חסרות הנחות מסויימות), הניחו את ההנחות שנראות בעיניכם הגיוניות ביותר בהתאם לשאלה. הסבירו את ההנחות שלכם.

*בהצלחה!!*

## שאלה 1. מכרז קומבינטורי [22 נק']

עמי ותמי משתתפים במכרז קומבינטורי על שלושה חפצים שונים: א, ב, ג. כזכור, מכרז קומבינטורי הוא מכרז שבו כל משתתף יכול להציע מחיר לכל תת-קבוצה של חפצים. ערכי המשתתפים נתונים בטבלה הבאה:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | עמי | תמי |
| קבוצה ריקה | 0 | 0 |
| א | 3 | 6 |
| ב | 1 | 8 |
| ג | 8 | 7 |
| א,ב | 4 | 8 |
| א,ג | 1 | 1 |
| ב,ג | 2 | 1 |
| א,ב,ג | 9 | 10 |

א. מה יעשה מכרז VCG במצב זה – מי יקבל כל חפץ, וכמה ישלם?

ב. האם האלגוריתם, במקרה המסויים הזה (עם המספרים שבטבלה) מעודד-השתתפות? הוכיחו את תשובתכם ע"י חישוב מספרי.

ג. נניח שעמי שוקל לשקר ולהגיד שהערך שלו לקבוצה א,ב הוא **10** (במקום 4). הראו לעמי, שזה לא משתלם לו, ושעדיף לו להגיד את האמת (ע"י חישוב תוצאת האלגוריתם במקרה זה והשוואה לסעיף א).

**פתרון**:

יש שמונה חלוקות אפשריות של החפצים. צריך לחשב את סכום הערכים בכל אחת:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| הקבוצה שעמי מקבל | הקבוצה שתמי מקבלת | סכום הערכים |
| קבוצה ריקה | א, ב, ג | 0+10=10 |
| א | ב, ג | 3+1=4 |
| ב | א, ג | 1+1=2 |
| **ג** | **א, ב** | **8+8=16** |
| א,ב | ג | 4+7=11 |
| א,ג | ב | 1+8=9 |
| ב,ג | א | 2+6=8 |
| א,ב,ג | קבוצה ריקה | 0+9=9 |

החלוקה הנבחרת היא: עמי מקבל ג, תמי מקבלת א+ב.

אם עמי לא נמצא, אז החלוקה הנבחרת היא: תמי מקבלת הכל. הערך שלה הוא 10. בחלוקה הנבחרת הערך שלה הוא 8. לכן עמי משלם 2.

אם תמי לא נמצאת, אז עמי מקבל הכל. הערך שלו הוא 9, בחלוקה הנבחרת הערך שלו הוא 8. לכן תמי משלמת 1.

ב. אלגוריתם מעודד-השתתפות הוא אלגוריתם המבטיח, שמצבו של כל שחקן אחרי הביצוע טוב לפחות כמו לפני הביצוע. במקרה שלנו, המשמעות היא שהתועלת של כל שחקן (ערך פחות מחיר) היא לפחות 0. נחשב את התועלות של שני השחקנים:

* עמי: ערך 8, תשלום 2, תועלת 6.
* תמי: ערך 8, תשלום 1, תועלת 7.

התועלת של שניהם חיובית, ולכן האלגוריתם מעודד השתתפות במקרה זה.

ג. אם עמי משקר ואומר 10, אז סכום הערכים הגדול ביותר מתקבל עבור החלוקה א,ב; ג (סכום ערכים 17). הערך של תמי הוא 7. כשעמי לא נמצא, כאמור, הערך של תמי הוא 10. לכן עמי משלם 3. התועלת שלו היא הערך *האמיתי* שלו פחות 3, שזה 4 פחות 3 = 1. לעומת זאת, בחלוקה של סעיף א, התועלת של עמי היא 8 פחות 2 = 6.

## שאלה **2**. מיזוג הצעות תקציב עם שני אזרחים [22 נק']

עמי ותמי רוצים להחליט על חלוקת התקציב המשפחתי שלהם. התקציב הכולל שלהם הוא 100. יש להם ארבעה סעיפים בתקציב: אוכל, בגדים, חשמל, נסיעות.

* עמי רוצה לחלק את התקציב באופן הבא: 30, 50, 20, 0.
* תמי רוצה לחלק את התקציב באופן הבא: 20, 40, 0, 20.
  + *[הערה: היתה טעות בשאלה – סכום הערכים של תמי קטן מ-100. זה לא אמור להשפיע על הפתרון].*

א. מהו התקציב המתקבל ע"י אלגוריתם החציון המוכלל עם פונקציות עולות ליניאריות?

ב. התקציב שהתקבל בסעיף א (אם פתרתם נכון) מקיים את התכונה הבאה: הסכום המוקצב לכל סעיף נמצא בין הערך של עמי לבין הערך של תמי (כולל). הוכיחו שהתכונה הזאת תתקיים בכל מקרה, גם אם התקציבים המוצעים ע"י עמי ותמי יהיו שונים. כלומר: האלגוריתם הנ"ל תמיד יקציב, לכל סעיף, סכום כלשהו שנמצא בין הערך של עמי לבין הערך של תמי (כולל) לאותו סעיף.

**פתרון**:

א. כיוון שיש רק n=2 "אזרחים" במדינה, דרושה רק פונקציה אחת, שהערך שלה הוא:

min(100, 100t) = 100t.

צריך למצוא t כך שסכום החציונים הוא בדיוק 100. חישוב החציון תלוי בתחום שבו נמצא הערך 100t.

אם 100t בין 0 ל-20, אז החציונים הם: 20, 40, 100t, 100t. הסכום הוא:

200t+60

הסכום 100 מתקבל עבור t=0.2, כאשר 100t=20, שהוא אכן בתחום הנ"ל.

לכן התקציב המתקבל הוא: **20, 40, 20, 20.**

ב. התקציב בכל אחד מהסעיפים הוא חציון בין שלושה ערכים: הערך של עמי, הערך של תמי, וההצבעה הקבועה 100t. כלומר:

* אם 100t הוא הקטן ביותר, אז הוא לא החציון - וייבחר הערך של עמי או הערך של תמי.
* אם 100t הוא הגדול ביותר, אז הוא לא החציון - וייבחר הערך של עמי או הערך של תמי.
* אם 100t הוא בין שני הערכים, אז הוא החציון.

בכל המקרים, התקציב שייבחר הוא הערך של עמי, או הערך של תמי, או ערך כלשהו ביניהם.

## שאלה **3**. חיפוש מעגלי-החלפה בפייתון [22 נק']

א. כיתבו פונקציה בפייתון המוצאת מעגל בגרף החלפת בתים. כותרת הפונקציה:

def find\_trading\_cycle(preferences: List[List[int]]) -> List[int]:

הניחו שבתחילת הפונקציה, כל אדם i גר בבית i. הפרמטר preferences מתאר את ההעדפות של בעלי-הבתים (מניחים שההעדפות חזקות – אין אדישות). לכל i, הוקטור preferences[i] מתאר את סדר ההעדפות של אדם i. למשל, אם:

preferences[11] = [15, 13, 11, 7, 8, …]

המשמעות היא, שאדם מספר 11 הכי רוצה את בית 15, אחריו את בית 13, אחריו את בית 11 (הבית הנוכחי שלו), וכו'..

הפונקציה מחזירה וקטור המתאר את המעגל, למשל אם מוחזר הוקטור:

[11, 15, 17, 11]

המשמעות היא, שאדם 11 מקבל את בית 15, אדם 15 מקבל את בית 17, ואדם 17 מקבל את בית 11.

ב. הדגימו את פעולת האלגוריתם שלכם על הקלט הבא:

[[2, 0, 3, 1], [3, 1, 2, 0], [3, 2, 0, 1], [0, 1, 2, 3]]

**פתרון**:

א. יש שתי דרכים: אפשר לבנות גרף של networkx ואז להפעיל פונקציה למציאת מעגלים,

או למצוא ישירות מעגל כפי שהוסבר בכיתה ע"י מעבר על החיצים בגרף. ראו פתרון מטלה 12.

ב. נדגים את הדרך השניה. מתחילים שרירותית מצומת כלשהו, נניח אדם 0. יש קשת אחת היוצאת ממנו, ומצביעה לבית 2, ומשם לאדם 2. יש קשת אחת היוצאת ממנו, ומצביעה לבית 3, ומשם לאדם 3. יש קשת אחת היוצאת ממנו, ומצביעה לבית 0, ומשם לאדם 0.

כבר ביקרנו בצומת של אדם 0, ולכן מצאנו מעגל. המעגל הוא

[0, 2, 3, 0].

## פתרון שאלה 4. מציאת חלוקה אגליטרית [22 נק']

עמי ותמי רוצים לחלק ביניהם משאבים רציפים: 100 יחידות עץ, 100 יחידות ברזל, ו-100 יחידות נפט.

הערכים שהם מייחסים ליחידה אחת של כל משאב הן:

* עמי: עץ=70, ברזל=30, נפט=20.
* תמי: עץ=10, ברזל=50, נפט=60.

כיתבו קוד המוצא חלוקה אגליטרית של המשאבים בין עמי לתמי. השלימו את הקוד הבא:

import cvxpy

wood\_to\_ami = cvxpy.Variable() # How many units of wood are given to Ami.

iron\_to\_ami = cvxpy.Variable() # How many units of iron are given to Ami.

oil\_to\_ami  = cvxpy.Variable() # How many units of oil  are given to Ami.

### 1

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

prob = cvxpy.Problem(

### 2

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

    constraints = [

### 3

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

]

)

prob.solve()

print("Given to Ami: ", wood\_to\_ami.value, iron\_to\_ami.value, oil\_to\_ami.value)

א. ציינו במחברת הבחינה את הקוד שיש לכתוב בקוים הריקים 1, 2, 3. נמקו את תשובתכם – הסבירו מדוע הפתרון שלכם אכן מוצא חלוקה אגליטרית.

ב. נתונות שלוש חלוקות אפשריות:

* עמי מקבל 100 עצים, 50 ברזל, 0 נפט. תמי מקבלת את השאר.
* עמי מקבל 50 עצים, 50 ברזל, 50 נפט. תמי מקבלת את השאר.
* עמי מקבל 0 עצים, 50 ברזל, 100 נפט. תמי מקבלת את השאר.

מבין החלוקות הנ"ל, אחת מהן היא אגליטרית. מהי? הוכיחו (ע"י חישובים מספריים) ששתי החלוקות האחרות אינן אגליטריות.

**פתרון:**

א.

import cvxpy

wood\_to\_ami = cvxpy.Variable() # How many units of wood are given to Ami.

iron\_to\_ami = cvxpy.Variable() # How many units of iron are given to Ami.

oil\_to\_ami  = cvxpy.Variable() # How many units of oil  are given to Ami.

### 1

utility\_ami  = wood\_to\_ami\*70 + iron\_to\_ami\*30 + oil\_to\_ami\*20

utility\_tami = (100-wood\_to\_ami)\*10 + (100-iron\_to\_ami)\*50 + (100-oil\_to\_ami)\*60

min\_utility = cvxpy.Variable()

prob = cvxpy.Problem(

### 2

  cvxpy.Maximize(min\_utility),

    constraints = [

### 3

    0 <= wood\_to\_ami, wood\_to\_ami <= 100,

        0 <= iron\_to\_ami, iron\_to\_ami <= 100,

        0 <= oil\_to\_ami, oil\_to\_ami <= 100,

        min\_utility<=utility\_ami,

        min\_utility<=utility\_tami

]

)

prob.solve()

print("Given to Ami: ", wood\_to\_ami.value, iron\_to\_ami.value, oil\_to\_ami.value)

הפתרון מוצא חלוקה אגליטרית כי הוא ממקסם את התועלת הקטנה ביותר – המשתנה min\_utility, תחת האילוצים שמדובר בחלוקה תקינה (עמי מקבל בין 0 ל-100 מכל משאב), וכן שהמשתנה min\_utility אכן מייצג את התועלת הקטנה ביותר (התועלת של עמי והתועלת של תמי גדולות ממנו).

ב. צריך לחשב את התועלת המינימלית בכל אחת מהחלוקות, ולבחור את החלוקה עם התועלת המינימלית הגבוהה ביותר:

* עמי מקבל 100 עצים, 50 ברזל, 0 נפט – התועלת של עמי היא 8500 ושל תמי גם 8500; המינימום=8500.
* עמי מקבל 50 עצים, 50 ברזל, 50 נפט – התועלת של עמי היא 6000 ושל תמי גם 6000; המינימום=6000.
* עמי מקבל 0 עצים, 50 ברזל, 100 נפט -- התועלת של עמי היא 3500 ושל תמי גם 3500; המינימום=3500.

המינימום גבוה ביותר בחלוקה הראשונה, ולכן רק היא יכולה להיות חלוקה אגליטרית.