

**מעבדה בבינה מלאכותית**  
**203.3630 ב.1**  
**סמסטר ב' – שנה"ל תשפ"א**

**מרצה:** שי בושנסקי  
[shay@cs.haifa.ac.il](mailto:shay@cs.haifa.ac.il)

**ניסוי מספר 2:**

**META HEURISTICS SWARM INTELLIGENCE**  
**CVRP אינטליגנציה הנחיל**

**מועד הגשה אחרון:**

יום ג' 13 לאפריל 2021

**מרכיב הציון:**

**התרגיל הינו חובה**

**תנאי ההגשה:**

העבודה וההגשה בזוגות (ניתן כמובן להגיש ביחידים)

**המשימה:**

סקרנו בהרצאה אוסף של meta heuristics : Simulated Annealing, Tabu Search, Ant Colony Optimization שאותן הכללנו בתוך חיפוש אבסטרקטי מקומי iterative local search משימתכם הענה להשתמש בהן באופן זה על-מנת לפתור הבעיה CVRP. לצורך פתרון נדרשת מידה של יצירתיות במימוש ובבחירת הפרמטריזציה של האלגוריתמים הנ"ל.

**:CVRP**

ניתוב רכבים (CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM) היא הבעיה הבאה: נתון צי של רכבים בעלי תכולה קבועה שצריכים לספק ביקוש בערים נתונות הפרושות על מפה דו-מימדית .

עליכם למצוא לצי הקצאת מסלולים אופטימלית (אין צורך להשתמש בכל הרכבים) כך שכל רכב יצא מהמחסן, יבקר בכל עיר פעם אחת וישוב למחסן וכך שבתום הביקורים כל הביקושים יסופקו. פתרון יחשב אופטימלי אם לא ניתן לבצע את הנ"ל במסלול כולל קצר יותר.

מדובר בבעיה פרקטית השייכת למחלקת הבעיות שהן NP-COMPLETE. להלן ההגדרה הפורמאלית של הבעיה:

- ▶  $n$  Locations,  $v$  Vehicles
- ▶ For each location,
  - demand  $d_i$  and location  $x_i, y_i$
- ▶ The capacity of the vehicles  $c$
- ▶ The sequence of deliveries of vehicle  $i$ ,  $T_i$

$$\text{minimize: } \sum_{i \in V} \left( \text{dist}(0, T_{i,0}) + \sum_{\langle j,k \rangle \in T_i} \text{dist}(j, k) + \text{dist}(T_{i,|T_i|-1}, 0) \right)$$

subject to:

$$\sum_{j \in T_i} d_j \leq c \quad (i \in V)$$

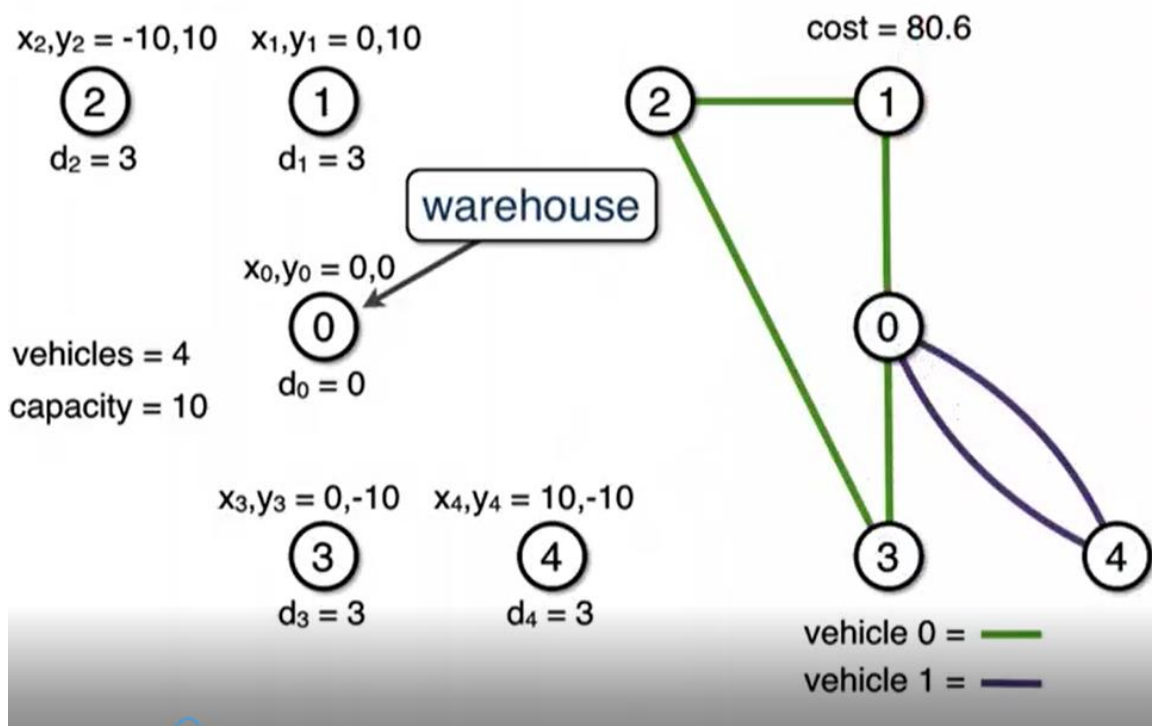
$$\sum_{i \in V} (j \in T_i) = 1 \quad (j \in N \setminus \{0\})$$

לדוגמא: בהנתן קואורדינטות המחסן  $(0,0)$ , קואורדינטות הערים מסומנות ב- $x, y$  הביקוש בכל עיר

ב- $d$  מציאת מסלול, (תת-אופטימלי), ל-4 רכבים כשתכולת כל רכב היא 10 בעזרת 2 רכבים בלבד:

(a) הרכב הראשון יוצא מהמחסן מבקר בערים 1,2,3 וחוזר למחסן

(b) הרכב השני יוצא מהמחסן מבקר בעיר 4 וחוזר



$$\text{עלות המסלול מחושבת: } \sqrt{10^2+20^2}+2*\sqrt{10^2+10^2}+10+10+10=80.64$$

עליכם לפתח תוכנה שתקבל כקלט בעיית CVRP ושתחזיר את המסלולים האופטימליים עבור צי הרכבים הנתונים תחת אילוצי הבעיה.

עליכם להשוות בין ארבעה אלגוריתמי חיפוש מבינה מלאכותית:

1. חיפוש לוקאלי איטרטיבי המבוסס על מטה-היוריסטיקות: TABU SEARCH להלן TS אלגוריתם נחיל: DISCRETE ANT COLONY OPTIMIZATION להלן ACO ואלגוריתם SIMULATED ANNEALING אתם רשאים לממש ואריינטים או שילובים שלהם שהוסברו בהרצאה
2. האלגוריתם הגנטי GA שפותח במעבדה 1

בתום ריצת כל אלגוריתם, על הפותר להחזיר את ערך הפונקציה ההיוריסטית ואח"כ עבור רכב שנעשה בו שימוש את רשימת אינדקסי הערים בה ביקר לפי הסדר (יש להתחיל באינדקס 0 - המחסן ולסיים באינדקס 0 - המחסן)

חלק א': טיפול בקלט/פלט, ניתוח הבעיה ובנית אב-טיפוס לפתרון:

1. לימדו את פורמט הקלט/פלט – (בעיה/פתרון) המוסברים בסעיפים בהמשך
2. התאימו את בעיית הדוגמא לעיל לפורמט הקלט ולכל אלגוריתם שאתם נדרשים לפתח
3. עבור האלגוריתמים השונים פתחו היוריסטיקות שונות שיכולות לסייע בפתרון – מותר כמובן לעשות שימוש בכל ההיוריסטיקות שנלמדו בקורס המבוא עבור בעיות TSP
4. קדדו את האלגוריתמים (ראו סעיף לגבי האלגוריתמים הספציפיים)
5. עבור כל היוריסטיקה בה אתם עושים שימוש הסבירו את יתרונותיה ביחס לבעיית CVRP
6. שלבו את ההיוריסטיקות באלגוריתמים המתאימים, בצעו "בדיקת שפיות" על הדוגמא לעיל תוך בחינת ההיוריסטיקות השונות – ותוך כמה זמן. הדפיסו את הפתרון עצמו לפי מטריצת הפלט ובנוסף את זמני הריצה (CPU ELAPSED).

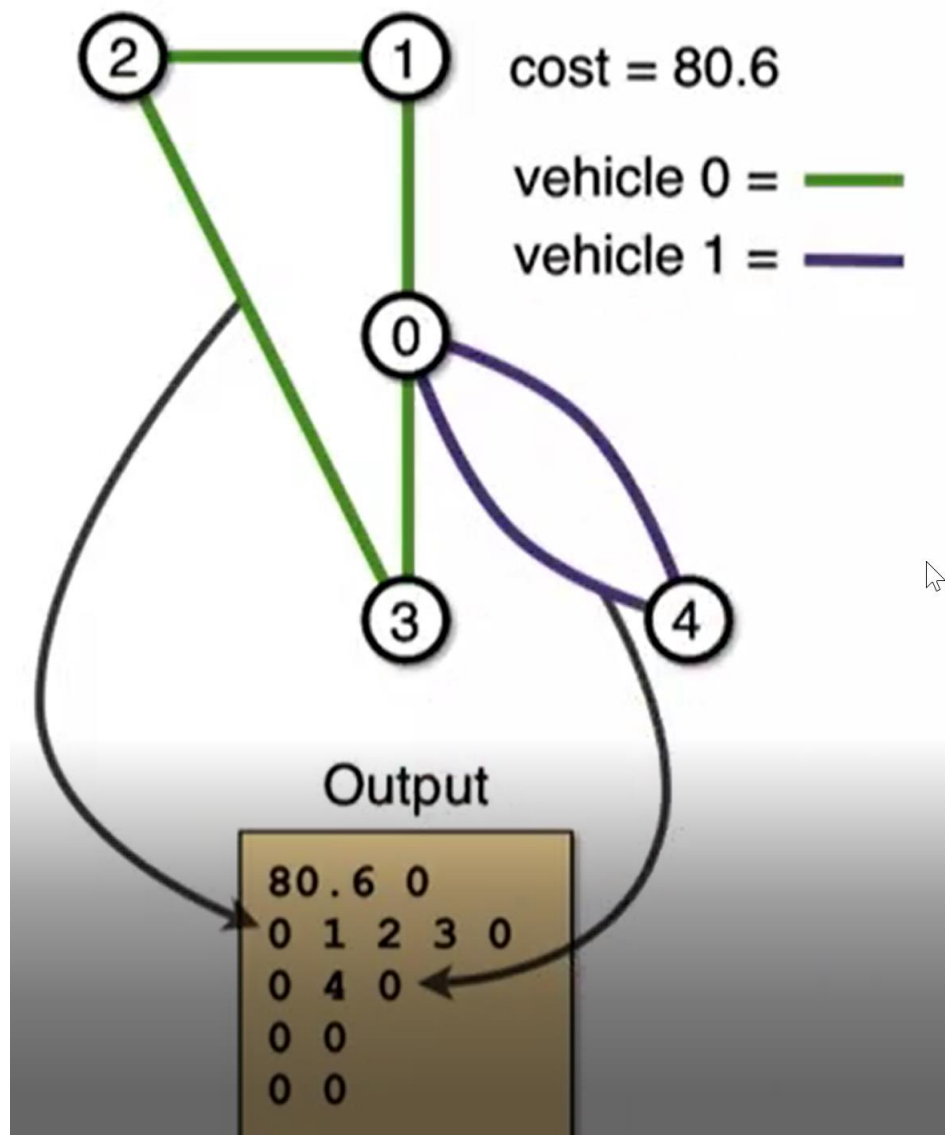
חלק ב': בחינה השוואתית של האלגוריתמים על בעיות "גדולות" וניתוח תוצאות

7. הריצו את האלגוריתמים על הבעיות המופיעות בסעיף הקלט. הקציבו זמן קבוע כרצונכם כבסיס השוואתי בין האלגוריתמים והדפיסו את הפתרונות.
8. את התוצאות רכזו בטבלה השוואתית. שורה נפרדת לזמספר הבעיה, הפתרון האופטימלי הידוע עבורה, שם האלגוריתם, האם מצא פתרון, מה ערכו, מה מרחקו מהאופטימלי, בכמה זמן CPU וELAPSED רץ.
9. ציינו בטבלה נפרדת את סיבוכיות המקום של האלגוריתמים
10. עבור כל אלגוריתם וכל בעיה יש לשרטט גרפים:
  - 10.1 של ערך ההיוריסטיקה הטוב ביותר בכל איטרציה של האלגוריתם
  - 10.2 של איכות הפתרון כפונקציה של מספר האיטרציות
11. נתחו באופן מילולי כל אלגוריתם עפ"י הגרפים שיצרתם, והסבירו עבור אילו תכונות קלט לדעתכם אלגוריתמים אלה יעילים.
12. נסו לשערך את הסקלביליות של כ"א מהאלגוריתמים: קרי את הקשר בין גודל הבעיה לזמן הריצה של כ"א מהאלגוריתמים

הקלט:

רשימת בעיות דוגמא ניתן למצוא באתר <http://www.dca.fee.unicamp.br/projects/infobiosys/vrp> תחת הכותרת Vehicle Routing Data Sets יש לחלץ את מס' הרכבים, מס' הצמתים, תכולת כל רכב, רשימת הקואורדינטות של כל צמת ורשימת הביקושים של כל צמת בהתאמה

הפלט:



הערות:

1. מאחר שהאלגוריתמים סטוכסטים במהותם – הקפידו לבצע מספיק ריצות כדי להסיק מסקנות מגובות סטטיסטית לצורך השוואה ראויה לגבי המדדים
2. ב ACO אתם שולטים על ההיורסטיקה ("η") ועל הפרמטרים השונים של האלגוריתם וגם על מהלך העדכון וטכניקות החלצות מאופטימום לוקאלי
3. ב TSB אתם מגדירים מהי הסביבה בכל צעד – למשל ב TSB אילו קשתות רלוונטיות
4. כמו-כן לוויסות פרמטרי הקשיחות של האלגוריתמים TSB n SA ב TSB אלפא וביתא ACO וכווננום דינאמית בהתאם למשל לערכי הפונקציה ההיוריסטית

ההגשה: במתכונת הסטנדרטים של המעבדה

יש להגיש דו"ח מסודר הכולל:

- א. תוכנת מקור SOURCE – מימוש הנ"ל בשפת תכנות לבחירתך מתועדת
- ב. תוכנות ריצה מתאימות EXE
- ג. מסמך המסכם את תוצאות העבודה