

תרגיל בית מספר 3

נושא: זיהום אוויר ברשת תחבורה
דדליין: יום ב', 23/12/2021, 23:59
הגשה ביחידים

בהצלחה רבה!

תיאור התרגיל

בתרגיל זה תממשו עולם מונחה עצמים של מרכיבי תחבורה והשפעתם על רמת זיהום האוויר של מטרופולין; העולם יתבסס על גרף מתמטי המגדיר את המטרופולין וכן על אובייקטים של כלי תחבורה, אשר תכונותיהם יתוארו בהרחבה בהמשך. מטרת התרגיל היא משולשת – ראשית, אפיון מונחה עצמים של בעיה נתונה, שנית, תרגול תכנותי של מחלקות, בנאים/מפרקים, מתודות וכן העמסת פונקציות/אופרטורים, ושלישית, מימוש של סימולציה תלוית-זמן.

רשת התחבורה בעיר Oranjestad: אפיון

רשת התחבורה של מטרופולין *Oranjestad* מוגדרת באמצעות גרף ממושקל של צמתים וקשתות מכוונות ביניהם $G = (V, E)$ (ראו הגדרה מלאה בנספח); הקשתות מייצגות כבישים ודרכי גישה במטרופולין, ואורכו של כל כביש מיוצג באמצעות משקל הקשת המאפיינת אותו בגרף המתמטי. צמת במטרופולין מאופיין באמצעות מספר סידורי (הניחו כי הצמתים ממוספרים סדרתית: $1, 2, \dots, |V|$) וכן באמצעות מבנה נתונים המתאר את כלי הרכב אשר שוהים בו באותו זמן.

כביש במטרופולין, המוגדר כקשת מכוונת בין צמת u לבין צמת v , מאופיין באמצעות אורכו $w(u, v)$ וכן באמצעות רמת זיהום האוויר שבו.

כלי רכב הינו אובייקט המאופיין באמצעות מספרו הסידורי (מספר שלם חיובי) וכן באמצעות מיקומו הנוכחי בגרף המטרופולין. ההנחה היא כי בעת בדיקת מצב המטרופולין כלי הרכב נמצאים רק בצמתים (המייצגים רמזורים או חניונים), וכי הם מבצעים מעברים ביניהם באופן אקראי (מעברים הסתברותיים, כפי שיוגדר) בין בדיקה אחת לאחרת דרך הכבישים הקיימים.

הרעיון הכללי של התכנית אותה תממשו הוא להגדיר מטרופולין ע"פ גרף שיינתן ע"י המשתמש (פרטי ייצוג הגרף יתוארו בהמשך), עם מצב התחלתי של כלי רכב בצמתי העיר, וכבישים נקיים (רמת זיהום אוויר אפס). בהינתן מספר מעברי זמן מן המשתמש, התכנית תסמלץ את התנהגות הרכבים במטרופולין, כאשר בכל פעימת זמן התנהגות של כל כלי רכב (הישארות בצמת הנוכחי או מעבר לצמת שכן, אם קיים כביש מתאים) תיקבע אקראית ע"פ פונקציית ההתפלגות האחידה – ורמת הזיהום בכבישים תעודכן בהתאם. בסופה של התכנית, רמת הזיהום בכבישים ומיקומם של כלי הרכב יימסרו כפלט למשתמש.

מעבר כלי רכב בכל פעימת זמן

מעבר של כלי רכב מצמת אחד לאחר הינו **הסתברותי** בטבעו, ומתפלג באופן אחיד בין כלל האפשרויות של הישארות בצמת הנוכחי ומעבר לכל אחד מהצמתים השכנים. למשל, בהינתן צמת s עם שני שכנים, אזי ההסתברות להישארות או למעבר לאחד משני השכנים הינה אחידה: $\frac{1}{3}$.

לאחר המאורע ההסתברותי של בחירת המסלול (הישארות בצמת או קשת מסוימת המייצגת כביש), אם נבחר מעבר לצמת שכן, יעודכן הכביש המקשר בין הצמתים באופן הבא:

בהינתן מעבר בין צמת u לבין צמת v , תעלה רמת זיהום האוויר בכביש (u, v) בשיעור של $\frac{c}{w(u, v)}$, כלומר, תתווסף לה יחידת

זיהום c המחולקת באורך הכביש.

תכנות בשפת C++, סתיו 2021-22

דרישות מימוש

אתם חופשיים לתכנן ולממש את התכנית כרצונכם, פרט לדרישות הבאות אותן עליכם לקיים במימוש שלכם:

- יש לממש בנאי של אובייקט המטרופולין המקבל כארגומנט גרף המיוצג באמצעות מטריצה ריבועית בעלת ערכים ממשיים (וכן את גודל המטריצה), ומאתחל לפיו מטרופולין ריק מרכבים ובעל רמת זיהום אפס:

Metropolis (double graph, unsigned int size);**

- עבור אובייקט כביש, יש לממש את האופרטור ++ (postfix) המעדכן את זיהום האוויר של הכביש (u, v) בתוספת של

$$\frac{c}{w(u, v)}$$

פורמט קלט

התכנית תקבל כקלט שני קבצים – הראשון יתאר את מבנה המטרופולין, והשני יתאר את פריסת הרכבים (מיקומי כלי הרכב בנקודת הזינוק של הסימולציה). לאחר קומפילציה של התכנית לכדי קובץ הרצה בשם simOranjestad, כך ניתן יהיה להריץ אותה במקרה של עבודה דרך טרמינל:

```
$ ./simOranjestad met_graph.dat vehicle_locations.dat
```

- הגרף שמגדיר את המטרופולין, אשר יוזן לתכנית בתחילתה בקובץ הראשון, יתואר באמצעות מטריצה אי-שלילית F בגודל $|V| \times |V|$ בה אלמנט ij יציין את משקל הקשת בין צמת i לצמת j אם קיימת, או 0 אחרת:

$$F_{ij} = \begin{cases} w(i, j) & \text{if } (i, j) \in E \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

קובץ הקלט הראשון (קובץ גרף המטרופולין; met_graph.dat בדוגמא שלעיל) יהיה בפורמט הבא:
בשורה הראשונה יופיע מספר הצמתים בגרף, ולאחר מכן יופיעו שורות מטריצת הגרף (אלמנטים מופרדים ברווח יחיד) עם אלכסון של אפסים. להלן דוגמא של קובץ קלט חוקי של גרף מטרופולין:

```
9
0 1.1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0.7 1.0 0 0 0 0 0
0 0.9 0 0 1.2 1.3 0 0 0
0 0.9 0 0 0 1.1 0.1 0 0
0 0 0 0 0 0 0.8 0.6
0 0 1.1 1.3 0 0 0.2 0 1.1
0 0 0 0.2 0 0.1 0 0 0
0 0 0 0 0.9 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

- על קובץ הקלט השני (קובץ פריסת הרכבים; vehicle_locations.dat בדוגמא שלעיל), להכיל מספר שורות כמספר הצמתים במטרופולין, כאשר כל שורה תכיל את שם הצמת, ולאחריו מספרי הרכבים הנמצאים בו, מופרדים ברווחים. להלן דוגמא של קובץ קלט חוקי של מיקומי הרכבים במטרופולין:

```
1: 4 7
2:
3: 1 2 3
4:
5: 6
6: 9 10
7: 5 8
8:
9:
```

תכנות בשפת C++, סתיו 2021-22

3. במקרה של קלט לא חוקי (למשל, שגיאת קבצים, חוסר-עקביות במימדי המטרופולין וכיוצא באלה), התכנית תסיים את ריצתה בשלב זה ותדפיס הודעת שגיאה מתאימה לערוץ השגיאות הסטנדרטי:

ERROR: Invalid input.

4. בהנחה שהקלט של המשתמש חוקי, המשתמש נדרש בשלב זה להזין שני פרמטרים לסימולציה:

a. קבוע הזיהום C

b. מספר פעימות הזמן של הסימולציה

(שתי שורות בקלט הסטנדרטי ללא פלט; מבחינת פורמט – מספר ממשי; 'n', מספר שלם; 'n').

בעקבות כך על התכנית להתחיל את מעברי הרכבים בגרף, תוך עדכון מיקום הרכבים ורמת זיהום האוויר בכבישים.

פורמט פלט

בסיום חישובי המעברים על התכנית להחזיר כפלט את מיקומי הרכבים וכן את רמת זיהום האוויר בכבישים. על נתונים אלו להיות מודפסים דרך ערוץ הפלט הסטנדרטי באופן אנלוגי לפורמט הקלט:

1. ראשית, תודפס רמת הזיהום בכבישי המטרופולין בייצוג מטריציוני, כלומר, ערך זיהום האוויר בכביש (i,j) יודפס באלמנט ij של המטריצה עם דיוק של לכל היותר 2 ספרות אחרי הנקודה. למשל, כך יכול להיראות חלקו הראשון של הפלט עבור הדוגמא שלעיל –

```
0 1.82 0 0 0 0 0 0 0
0 0 2.42 5.0 0 0 0 0 0
0 6.67 0 0 5.83 7.69 0 0 0
0 3.33 0 0 0 0.91 20.0 0 0
0 0 0 0 0 0 80.0 60.0
0 0 4.55 0.77 0 0 10.0 0 5.45
0 0 0 45.0 0 100.0 0 0 0
0 0 0 0 4.44 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. שנית, יודפסו מיקומי הרכבים בעת סיום הסימולציה בפורמט זהה לקלט הרכבים. למשל, כך יכול להיראות חלקו השני של הפלט עבור הדוגמא שלעיל –

```
1:
2: 1
3:
4:
5: 9
6: 10
7: 5 8
8: 6
9: 2 3 4 6 7
```

אילוצים והנחות עבודה

- מספר פעימות הזמן הינו מספר טבעי: בהינתן ערך 0, התכנית תדפיס את מצב המטרופולין ההתחלתי ותסיים; בהינתן ערך 1, התכנית תחשב מעבר זמן בודד, תדפיס את מצב המטרופולין ותסיים; וכך הלאה. ניתן להניח כי מספר פעימות הזמן לא יעלה על 10^6 .
- על קבוע הזיהום C להיות מספר ממשי חיובי.
- הניחו כי הגרף מהווה רכיב קשירות אחד.
- ניתן להניח כי המטרופולין יכיל לכל היותר 500 צמתים, וכי יש לכל היותר 10000 רכבים.

דגשים

- יש לתכנן מראש את מבנה התכנית, ולהגדיר בהתאם את האובייקטים איתם תעבדו; הקפידו על תכנון מונחה-עצמים של הסימולציה על מרכיביה השונים.
- הקדישו מחשבה למבני הנתונים השונים בהם תעשו שימוש; הביאו בחשבון שיקולי יעילות.

תכנות בשפת C++, סתיו 2021-22

- עבור כל אובייקט יש לבחון מפורשות את הצורך במימוש "שלושת הגדולים" (*The Big Three*), ולהתייחס בתיעוד למקרים בהם ברירת המחדל מספיקה.
- יש לבדוק תקינות קלטים ולהציג הודעות שגיאה מתאימות.
- אין אפשרות להשתמש בספריית STL בתרגיל זה.
- עליכם לוודא כי התכנית עוברת קומפילציית g++ התואמת את הקומפיילר שעל שרת המכללה ללא כל שגיאות או אזהרות כלשהן, ורצה בהצלחה.
- עליכם לתעד את הקוד באמצעות הערות המתארות בקצרה את הפונקציות השונות.
- עצה: מומלץ להשתמש בפונקציה `rand()` ובקבוע `MAX_RANDOM` לצורך הגרלה אקראית המתפלגת באופן אחיד במימוש העדכונים ההסתברותיים.
- הסברים מפורטים בנוגע למרכיבים ההסתברותיים, וכן בנוגע לעבודה עם קבצים, ינתנו בתרגול (14/12/2021).
- תרגיל בית 4 (העוקב) יהווה המשך של תרגיל בית זה.
- יש להריץ את הבודק האוטומטי על שרת החוג בטרם ההגשה בכדי לוודא תאימות ונכונות של ההגשה: `hwcheck`

נספח: גרף מתמטי

גרף $G = (V, E)$ כולל קבוצת צמתים V וקבוצת קשתות E , כאשר נתאר כל קשת כצמד סדור של צמתים וכן סקלר המתאר את המשקל של צמד זה. למשל, הצמד (u, v) יתאר צלע מצמת u לצמת v ובנוסף תיאור הגרף יכול פונקציית משקל חיובית $w(u, v)$ המאפיינת קשת זו.

הגשה

- עליכם להגיש במערכת Moodle קובץ ארכיב **מטיפוס zip בלבד**, ששמו כולל את קוד הקורס ('31'), שם התרגיל ('ex3') ותעודת הזהות של הסטודנט/ית המגישה/ה, מופרדים בקו תחתי בפורמט הבא: `31_ex3_studID.zip`.
- על ארכיב zip זה להכיל את כל קבצי המקור (ממשק/מימוש) הנדרשים לקומפילציה, והוא רשאי להכיל תיעוד טקסטואלי; מבחינת טיפוס קבצים, עליו לכלול רק קבצים עם סיומות `*.txt`, `*.h`, `*.cpp`.
- לדוגמה: על סטודנט שמספר הזיהוי שלו הינו 012345678 להגיש ארכיב בשם `31_ex3_012345678.zip` הכולל את כל קבצי המקור של הפרוייקט, ללא תיקיות כלשהן, ורשאי להכיל קובץ טקסטואלי לתיעוד.

אי-הקפדה על ההנחיות, כולל פורמט ההגשה הדיגיטלי, תגרור הורדה בציון התרגיל.
לא תתקבלנה הגשות באיחור!