תרגיל בית תכנותי
להגשה עד 27.01.22 בשעה 23:50
בהצלחה!

תרגיל זה מנוסח בלשון זכר מטעמי נוחות בלבד והוא מיועד לכל המגדרים.
מתרגל אחראי על התרגיל: שמעון

<u>הוראות:</u>

1. יש להגיש קובץ **zip יחיד** בעל השם EXP_ID1_ID2 כאשר ID1 ו ID2 הם מספרי תעודות הזהות של שני בני הזוג. קובץ ה zip יכיל תיקייה בודדת בשם src ובה כל קבצי ה Java שיצרתם, ללא תיקיות נוספות ותתי תיקיות. אין צורך להגיש קבצים שסופקו ע"י צוות הקורס.
2. ההגשה תתבצע רק ע"י **אחד** מבני הזוג למקום הייעודי באתר הקורס במודל.
3. **עליכם לוודא לפני ההגשה במודל כי הקוד שלכם מתקמפל ורץ בשרת Microsoft Azure שהוקצה לכם** (הוראות מצורפות בקובץ נפרד).
4. זוג שהתרגיל שלו לא יתקמפל בשרת שהוקצה או יעוף בזמן ריצה **ציונו בתרגיל יהיה 0.**
5. יש לכתוב קוד קריא ומסודר עם שמות משמעותיים למשתנים, למתודות ולמחלקות.
6. יש להקפיד למלא את כל דרישות התרגיל (שימוש בייצוג הנכון, סיבוכיות זמן וכו') **אי עמידה בדרישות התרגיל תגרור ציון 0.**

בתרגיל בית זה אתם מתבקשים לממש בשפת Java מבנה נתונים דינמי המאפשר לבצע פעולות על גרף מכוון פשוט בשם <u>DynamicGraph</u>.

הוראות התרגיל:

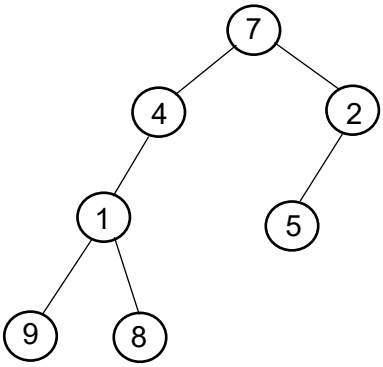
הגדרות:

1. לכל אורך התרגיל נסמן את הגרף המכוון הנוכחי המיוצג באמצעות המחלקה DynamicGraph באמצעות הסימון הסטנדרטי לגרף בקורס $G=(V,E)$. את מספר הצמתים ב G נסמן ב n ואת מספר הקשתות ב m .
2. בתרגיל בית זה לכל צומת בגרף (בין אם בגרף G או בעץ מושרש שתדרשו לממש) יש מזהה ייחודי המיוצג באמצעות מספר שלם חיובי.

שלב ראשון של המימוש:

1. ליצור קובץ בשם GraphNode.java ובו יש מחלקה **פומבית** בשם GraphNode.
מחלקה זו מייצגת צומת $v \in V$ ולה המתודות **הפומביות** הבאות:
   1. **public int getOutDegree()** - מתודה המחזירה את דרגת היציאה של צומת v כלומר, מספר הקשתות היוצאות מצומת v.
   סיבוכיות נדרשת $O(\deg_{out}(v))$.
   2. **public int getInDegree()** - מתודה המחזירה את דרגת הכניסה של צומת v כלומר, את מספר הקשתות הנכנסות לצומת v.
   סיבוכיות נדרשת $O(\deg_{in}(v))$.
   3. **public int getKey()** - המתודה מחזירה את המזהה של הצומת.
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(1)$.
2. ליצור קובץ בשם GraphEdge.java ובו יש מחלקה **פומבית** בשם GraphEdge.
מחלקה זו מייצגת קשת $e \in E$.
3. ליצור קובץ בשם RootedTree.java ובו יש מחלקה **פומבית** בשם RootedTree.
מחלקה זו מייצגת עץ מושרש ולה המתודות **הפומביות** הבאות:
   1. **public RootedTree()** - בונה ברירת מחדל (default constructor) למחלקה RootedTree היוצר עץ מושרש ריק, ללא צמתים.
   סיבוכיות נדרשת - $O(1)$.
   2. **public void printByLayer(DataOutputStream out)** -
   המתודה מקבלת רפרנס לאובייקט מסוג DataOutputStream ומדפיסה ל stream את המזהים הייחודיים של הצמתים תחת הדרישות הבאות:
      1. מזהים של צמתים השייכים לרמה i בעץ (צמתים בעומק i) יודפסו בשורה ה $i+1$ של stream.
      2. הדפסות של מזהים באותה הרמה יופרדו רק באמצעות פסיקים.
      3. הדפסה של מזהים של צמתים באותה הרמה מתבצעת משמאל לימין. פורמלית, לכל שני צמתים u ו v עם הורה משותף כך ש u הוא אח שמאלי (לאו דווקא ישיר) של v מתקיים:
      המזהה של u יודפס לפני המזהה של v . אם u' ו v' הם צאצאים של u ו v, בהתאמה ונמצאים באותה רמה בעץ, אז המזהה של u' יודפס לפני המזהה של v' .

סיבוכיות זמן נדרשת - $O(k)$, כאשר k מייצג את מספר הצמתים בעץ.
לדוגמא, הפעלת המתודה הנ"ל על הייצוג של העץ המושרש



צריכה להדפיס:

7
4,2
1,5
9,8

שימו לב כי אין פסיק בסוף השורה. ניתן לראות דוגמאות נוספות בפלט החוקי שקיבלתם.

3. **public void preorderPrint(DataOutputStream out) -**
המתודה מקבלת רפרנס לאובייקט מסוג DataOutputStream ומדפיסה ל stream את המזהים של צמתי העץ בסדר preorder (כפי שנלמד בתרגול 3) תחת הדרישה שהדפסת תתי העצים של צומת מתבצעת מהילד השמאלי ביותר לימני ביותר. ההדפסה מתבצעת בשורה אחת כאשר בין מזהים מפריד רק פסיק (אין פסיק בסוף השורה).

<u>שלב שני של המימוש:</u>

כעת אנו יכולים להגדיר את המחלקה DynamicGraph.

עליכם ליצור קובץ בשם DynamicGraph.java ובו יש מחלקה **פומבית** בשם DynamicGraph.
המחלקה DynamicGraph משתמשת במחלקות GraphNode, GraphEdge ו RootedTree
על מנת לממש את המתודות הפומביות הבאות:

1. **public DynamicGraph()** - בונה ברירת מחדל (default constructor) למחלקה DynamicGraph היוצר גרף דינמי חדש ריק, ללא קשתות וללא צמתים.
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(1)$.
2. **public GraphNode insertNode(int nodeKey)** – מתודה זו מכניסה צומת חדש לגרף עם מזהה ייחודי nodeKey ומחזירה רפרנס לאובייקט מסוג GraphNode המייצג את הצומת שהוכנס. הצומת החדש מתווסף לגרף ללא קשתות נכנסות או יוצאות.
   סיבוכיות זמן נדרשת – $O(1)$.
3. **public void deleteNode(GraphNode node)** –
   המתודה מקבלת רפרנס בשם node לצומת שנמצא בגרף. אם לצומת node יש קשתות יוצאות או נכנסות המתודה לא עושה כלום. אחרת, המתודה מוחקת את הצומת node מהגרף.
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(1)$.
4. **public GraphEdge insertEdge(GraphNode from, GraphNode to) -**
   המתודה מקבלת שני רפרנסים לצמתים בגרף to ו from. המתודה מוסיפה לגרף קשת מהצומת from לצומת to ומחזירה רפרנס לאובייקט המייצג את הקשת שהוכנסה.
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(1)$.
5. **public void deleteEdge(GraphEdge edge) -** המתודה מקבלת רפרנס לקשת בגרף בשם edge. המתודה מוחקת את הקשת edge מהגרף.
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(1)$.
6. **public RootedTree scc() -** המתודה מחשבת רכיבים קשירים היטב בגרף $G=(V,E)$. המתודה מחזירה רפרנס לאובייקט מסוג RootedTree. מבנה ה RootedTree הוא כדלקמן:
   השורש הוא צומת וירטואלי (שלא קיים בגרף) עם מזהה ייחודי 0. קבוצת הצאצאים של כל ילד של השורש מהווה רכיב קשיר היטב בגרף G .
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(n+m)$.
   (שימו לב לדרישות הנוספות המצורפות למטה).
7. **public RootedTree bfs(GraphNode source) -** המתודה מקבלת רפרנס לצומת בגרף source, ומחזירה עץ מסלולים קצרים מהצומת source.
   סיבוכיות זמן נדרשת - $O(n+m)$.
   (שימו לב לדרישות הנוספות המצורפות למטה).

עליכם לחשוב איך מחלקה תשתמש במחלקה אחרת, ואולי להגדיר מחלקות, משתנים ומתודות נוספות כרצונכם.

<u>דרישות:</u>

שימו לב, אי עמידה בדרישות אלו תגרור ציון 0.

1. שמות המחלקות והחתימות של המתודות הפומביות צריכים להופיע בקוד שלכם בדיוק כפי שמופיעים בקובץ זה.
2. **אין להשתמש בשום import בקוד שלכם** מלבד

- import java.io.DataOutputStream
- import java.io.IOException

בקובץ RootedTree.java.

3. אין להשתמש במחלקה System (אין לרשום בקוד שאתם יוצרים System) מלבד System.lineSeparator().
4. העץ המושרש אותו עליכם לממש באמצעות המחלקה Rooted_Tree משתמש בייצוג left child right sibling כפי שנלמד בתרגול 3.
5. על מנת להקל על תהליך הבדיקה (והוידוא שהפלט תקין) עליכם לממש את המתודות הפומביות:

- **public RootedTree scc()**
- **public RootedTree bfs(GraphNode source)**

של המחלקה DynamicGraph באמצעות האלגוריתמים המתאימים שנלמדו בהרצאה.

כחלק מדרישה זו נוסיף את הדרישות הבאות:

1. אלגוריתמים BFS ו DFS מבצעים סריקה של רשימת השכנויות של צמתים (שורה 4 באלגוריתם BFS ושורה 4 בפרוצדורה DFS_VISIT). בהקשר זה נדרוש שסריקה של קשתות תתבצע מהקשת החדשה ביותר שנכנסה לגרף לקשת הישנה ביותר. בנוסף, אלגוריתם DFS מבצע גם סריקה של צמתים (שורה 5 באלגוריתם DFS). נדרוש שהסריקה תתבצע מהצומת החדש ביותר לצומת הישן ביותר.
   דרישה זו מקבעת את סדר הגילוי של הצמתים ונקרא לסדר זה *הסדר המושרה* (כלומר, אם צומת v נמצא לפני צומת u בסדר המושרה אז BFS או DFS גילו את צומת v לפני צומת u).
2. העץ המושרש המוחזר ע"י המתודות הנ"ל צריך לקיים את התכונה הבאה: לכל שני צמתים u ו v בעץ שלהם הורה משותף, אם צומת v מופיע לפני צומת u בסדר המושרה אז צומת v הוא אח שמאלי (לאו דווקא ישיר) של צומת u.

<u>הסבר על הקבצים שקיבלתם:</u>

1. Test.java– דוגמת הרצה.
2. test_output.txt – פלט לאחר הרצה של Test בשרת Microsoft Azure שהוקצה לכם.

<u>הנחות:</u>

- ניתן להניח כי לא תוכנס לגרף קשת שהיא לולאה עצמית.
- ניתן להניח כי לא תוכנס לגרף אותה הקשת יותר מפעם אחת.
- ניתן להניח כי בעת הפעלת המתודה

public GraphNode insertNode(int nodeKey)

של המחלקה DynamicGraph הערך nodeKey הוא ייחודי כלומר, לא קיים צומת ב G עם המזהה nodeKey.

<u>הדרכה:</u>

אתם נדרשים לממש גרף דינמי המאפשר הכנסה ומחיקה של צמתים בסיבוכיות זמן $O(1)$.
חשבו האם הייצוגים של גרף שנלמדו מאפשרים זאת. במידה ולא, אילו שינויים ניתן לבצע בייצוג על מנת לתמוך בפעולות אלו בסיבוכיות הזמן הדרושה.

<u>הסבר על תהליך הבדיקה האוטומטית:</u>

אנחנו נריץ את הקבצים שלכם עם מחלקת Test שונה מזאת שקיבלתם עם פרסום התרגיל.
ב Test הבדיקה ייתכן ויתווספו אובייקטים, הפעולות וסדר הפעולות ישתנה, גודל הקלט ישתנה וכו'

במהלך הבדיקה יקומפלו **כל** הקבצים שהגשתם בתוספת Test הבדיקה בשרת Microsoft Azure. **חשוב מאוד שתגישו את כל קבצי ה java שיצרתם ותוודאו שהקוד מתקמפל בשרת.**
בהנחה והקוד מתקפל, הקוד יורץ והפלט של התוכנית יושווה לפלט חוקי.

<u>המלצות:</u>

1. אל תשאירו את הבדיקה בשרת לרגע האחרון. ייתכן והקוד לא יתקמפל בשרת ותצטרכו לתקנו לפני ההגשה.
2. התחילו מבניית פעולות ההכנסה והמחיקה. רק לאחר שבדקתם שפעולות אלו עובדות נכון המשיכו במימוש שאר הפעולות.

<u>בהצלחה!</u>