

מועד ההגשה :
יום ה', 1/1/20

- המטרות של תרגיל בית זה הן להתנסות בתחומים הבאים :
- תכן של טיפוס נתונים מופשט (ADT), כתיבת מפרט עבורו, מימושו וכתיבת קוד המשתמש בו.
 - כתיבת ה- $\text{abstraction function}$ ו- $\text{representation invariant}$ של טיפוס נתונים מופשט.
 - ביצוע בדיקות יחידה בעזרת JUnit.

היעזרו בהנחיות לתרגילי הבית המופיעות במודל

הצגת הבעיה

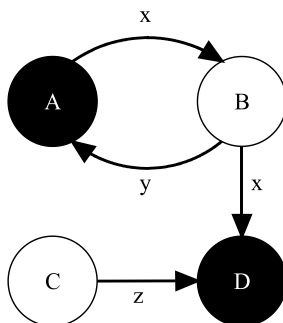
בתרגיל בית זה תיצרו הפשטה עבור גרף ותממשו אותה. בהמשך תיעזרו בהפשטה זו כדי לממש סימולטור של צינורות ומסננים, ולסיום תשתמשו בסימולטור זה לדמות ערוצי העברת תרומות.

גרף מכוון (directed graph) מורכב מאוסף של צמתים (nodes) שחלקם או כולם עשויים להיות מקושרים בעזרת קשתות (edges). לכל צומת בגרף יש תווית (label) ייחודית. לכל קשת בגרף יש כיוון, כלומר, עשוי להתקיים מצב בו קיימת קשת המקשרת בין הצומת A לצומת B, אך לא קיימת קשת המקשרת בין הצומת B לצומת A. בתרגיל זה נניח כי לא יכולה להיות יותר מקשת אחת המקשרת צומת מסוים לצומת אחר (אך יכולה, כמובן, להיות אחת בכיוון ההפוך).

בגרף עם תוויות לקשתות (labeled edged), לכל קשת משויך אובייקט המתפקד כתווית של הקשת. בתרגיל זה נניח כי כל הקשתות היוצאות מצומת הן בעלות תווית שונה וכי כל הקשתות הנכנסות לצומת הן בעלות תווית שונה. עם זאת, לשתי קשתות שונות שלא יוצאות מאותו צומת ושלא נכנסות לאותו צומת עשויה להיות תווית זהה. כלל זה מאפשר לנו לזהות קשת בגרף באופן חד-משמעי בעזרת התווית שלה ובעזרת אחד הצמתים שהיא מחברת.

גרף דו-צדדי (bipartite graph) הוא גרף מכוון שבו קיימים שני סוגים של צמתים – צמתים לבנים וצמתים שחורים. הקשתות בגרף כזה מחברות רק צמתים בעלי צבעים שונים – מצומת שחור לצומת לבן או מצומת לבן לצומת שחור. לא קיימות קשתות המחברות צומת שחור לצומת שחור או צומת לבן לצומת לבן.

דוגמה לגרף דו-צדדי עם תוויות לקשתות:



הבנים (children) של הצומת B הם הצמתים שאליהם יש קשת מ-B. בדוגמה הנ"ל, הבנים של B הם A ו-D. **האבות (parents)** של הצומת B הם הצמתים שיש קשת מהם ל-B. בדוגמה הנ"ל, האב היחיד של B הוא A.

שאלה 1 (60 נקודות)

בשאלה זו תעסקו בתכנון טיפוס נתונים מופשט (ADT) עבור גרף דו-צדדי עם תוויות לקשתות, במימושו ובבדיקתו. אין כאן תשובה אחת "נכונה" שאתם אמורים לגלות. המטרה היא לגרום לכם לחשוב על הבעיה, לבחון חלופות שונות לפתרונה, ולנמק את הסיבות לבחירה באחת מחלופות אלה.

א.

עליכם להתחיל את התכנון בכך שתחליטו על הפעולות שעל ההפשטה לכלול. לשם כך, ניתן להיעזר במפרט הנתון של המחלקה `BipartiteGraphTestDriver` המשתמש בהפשטה שתיצרו, אך יש לשים לב לנקודות הבאות:

- המפרט הנתון משתמש במחרוזות כתוויות לקשתות ולצמתים. ההפשטה שאתם מתכננים צריכה להיות **כללית**, כלומר, להיות מסוגלת לקבל אובייקט מטיפוס כלשהו כתווית לקשת או לצומת. לשם פשטות, ניתן להניח כי אותו טיפוס מייצג גם תווית לקשת וגם תווית לצומת. בנוסף, ניתן להניח כי מופעים של טיפוס זה הם אובייקטים בלתי ניתנים לשינוי (immutable).
- המתודות של המחלקה `BipartiteGraphTestDriver` הן בעלות תנאים מוקדמים שונים, למשל, הן מניחות שהמשתמש לא יוסיף לגרף את אותו צומת פעמיים. ההפשטה שעליכם לתכנן **לא** יכולה להניח תנאים מקדימים אלה.
- על ההפשטה שתכננו להיות כללית ולספק יותר פעולות מאשר הפעולות שמפעילה המחלקה `BipartiteGraphTestDriver`.
- יש לתכנן את ההפשטה כך שניתן יהיה להשתמש בטיפוס כלשהו לצמתי הגרף. כלומר, צומת בגרף יהיה אובייקט חיצוני לגרף שעשוי להכיל פונקציונליות מעבר להיותו צומת בגרף (למשל, כל צומת יהיה אובייקט המייצג מחשב ברשת מחשבים).

תכננו את ה-Node כך שיהיה עם המכנה המשותף הנמוך ביותר לכל ה-Node האפשריים ב-BipartiteGraph.

כתבו מפרט עבור ההפשטה שבחרתם, כולל פסקאות @requires, @modifies, ו-@effects. את המפרט יש לרשום בקובץ בשם BipartiteGraph.java. על קובץ זה להכיל גם מספר שורות סקירה כללית של המחלקה ושל מה שהיא מייצגת.

בנוסף, יש לרשום תיעוד חיצוני המסביר את השיקולים בבחירת הפעולות השונות של ההפשטה. הסבירו מדוע אוסף פעולות זה נראה לכם מספק לפתרון בעיות שונות על גרף דו-צדדי עם תוויות לקשתות.

ב.

ממשו את המפרט שיצרתם בסעיף א'. בעת המימוש יש לזכור כי סימולטור, שעשוי להיות בעל מבנה נתונים גדול למדי, יעשה שימוש במימוש זה. הסימולטור משתמש באופן תכוף בפעולה של מציאת רשימת הבנים של צומת מסוים ובפעולה של מציאת רשימת האבות של צומת מסוים. לכן, עליכם לרשום מימוש שיבצע את שתי פעולות אלה בזמן קבוע. גם הפעולות לבניית גרף צריכות להיות יעילות באופן סביר. עם זאת, ראשית עליכם לדאוג לתכן נכון ורק לאחר מכן לביצועים טובים.

יש לרשום abstraction function ו-representation invariant בתוך שורות הערה בקוד של BipartiteGraph. בנוסף, יש לממש מתודת checkRep() לבדיקת ה-representation invariant ולקרוא לה במקומות המתאימים בקוד.

הנחיות:

- ב-Java Documentation ניתן למצוא את פירוט סיבוכיות החישוב של פעולות שונות של כל אחד מהמכלים הקיימים בשפת Java. ניתן להשתמש בנתונים אלה לשם הערכת סיבוכיות החישוב של פעולות על מבני נתונים שונים.
- למרות שהפלט עבור הבדיקות של גרף ב-BipartiteGraphTestDriver מוגדר לעתים כרשימה של צמתים לפי סדר אלפביתי, אין זה אומר שהמימוש צריך להחזיר או להכיל צמתים לפי סדר זה. ניתן, לחילופין, למיין את רשימת הצמתים לפני הצגתה. לשם כך ניתן להשתמש במתודה sort() של המחלקה java.util.Collections.

יש לרשום תיעוד חיצוני המסביר את השיקולים שהובילו למימוש הנבחר בסעיף ב'.

ג.

הציעו במילים מימוש שונה מזה שבחרתם בסעיף ב' והשוו אותו לזה שבחרתם.

ד.

בדיקת המימוש של BipartiteGraph תבצע בעזרת המחלקה BipartiteGraphTestDriver שהמפרט שלה נתון בקובץ. ממשו מחלקה זו בהתאם למפרט הנתון.

ה.

נתון שלד מימוש של המחלקה BipartiteGraphTest המשתמשת ב-JUnit ובמחלקה BipartiteGraphTestDriver לשם ביצוע בדיקות יחידה של BipartiteGraph. במחלקה זו נתונה בדיקה אחת לדוגמה. עליכם להוסיף בדיקות קופסה שחורה ל-BipartiteGraph. עליכם לוודא שכל הבדיקות עוברות בהצלחה.

יש לרשום תיעוד חיצוני המתאר את הבדיקות שבחרתם ולהסביר מדוע הן מספקות הנחיות:

1. במידה והפרויקט ב-Eclipse לא מוצא את JUnit, יש לגרום לו לעשות זאת באופן הבא:
 - א. לבחור בתפריט Project -> Properties, ב. לבחור בעץ בצד שמאל Java Build Path, ג. לבחור בצד ימין את הלשונית Libraries, ד. ללחוץ על כפתור Add External JARs, ה. לעבור לתיקייה plugins בתוך התיקייה שממנה מופעל ה-Eclipse ושם להיכנס לתוך התיקייה org.junit_4.1.2.0 (או כל גרסה דומה אחרת של JUnit), ו. לבחור את הקובץ junit.jar, ז. ללחוץ על כפתור OK.
2. ניתן להוסיף מחלקות נוספות על מנת לממש את ה ADT מחלקות אלו צריכות גם כן להכיל תיעוד. על פי הנדרש.
3. במידה והמימוש שלכם זורק חריגות, ניתן להוסיף אותן להצהרות של הפונקציות ב BipartiteGraphTestDriver.
4. הרצת קובץ בדיקה המשתמש ב-JUnit מתבצעת ע"י לחיצה על החץ שבכפתור Run ובחירת האפשרות Run As -> JUnit Test (אפשר לבצע אותה פעולה גם מתפריט Run).
5. המחלקה BipartiteGraphTestDriver מניחה הנחות על תנאים מקדימים לביצוע המתודות שאנו לא מרשים ל-BipartiteGraph להניח. לכן, כדי לבדוק מקרי קצה שאינם עומדים בהנחות אלה, יש להוסיף ל-BipartiteGraphTest גם בדיקות שלא משתמשות ב-BipartiteGraphTestDriver.

להגשה ממוחשבת: המחלקות BipartiteGraph, BipartiteGraphTestDriver ו-BipartiteGraphTest, כולל תיעוד מתאים וגם representation invariant ו-abstraction function ל-BipartiteGraph. להגשה "יבשה": יש לרשום תיעוד חיצוני המסביר את השיקולים והחלופות בסעיפים א', ב', ג' וה', כפי שנדרש בכל סעיף.

שאלה 2 (15 נקודות)

בשאלה זו תשתמשו בהפשטה שיצרתם בשאלה 1 כדי לממש סימולטור כללי של צינורות ומסננים. במערכת כזו קיימים שלושה סוגי אובייקטים:

- אובייקטי עבודה המסתובבים במערכת.
- צינורות המעבירים את אובייקטי העבודה ממקום למקום.
- מסננים המעבדים את אובייקטי העבודה שמגיעים לצינורות הקלט שלהם ושולחים אובייקטי עבודה לצינורות הפלט שלהם.

מערכת מסוג זה יכולה לייצג בעיות מתחומים שונים, למשל, קו ייצור למכוניות. בקו ייצור למכוניות אובייקטי העבודה הם מכוניות בשלבי ייצור שונים, הצינורות הם

מסועים בקו הייצור והמסננים הם תחנות עבודה שבהן מתבצעים שלבים שונים בייצור המכונית.

הטופולוגיה של מערכת צינורות ומסננים מיוצגת בעזרת גרף דו-צדדי עם תוויות לקשתות, שבו צינורות הם צמתים שחורים ומסננים הם צמתים לבנים. קשת מצינור למסנן מסמנת שהמסנן מקבל קלט דרך הצינור, ואילו קשת ממסנן לצינור מסמנת שהמסנן שולח פלט דרך הצינור. העובדה שהגרף הוא דו-צדדי מובילה לכך שצינורות מחוברים רק למסננים ומסננים מחוברים רק לצינורות. התווית של כל קשת מאפשרת למסנן להבדיל בין צינורות הקלט ובין צינורות הפלט שלו, אם זה חיוני לפעולת המסנן.

לצינור **חייבת** להיות קיבולת **חיובית**, שהיא המספר המרבי של הכמות הכוללת באובייקטי העבודה שהוא יכול להחזיק. במידה והכמות בו מגיעה ל $limit$, אזי הצינור עלול להגיע למצב בו הוא מלא ולסרב לקבל קלט נוסף כל עוד לא רוקן.

למסנן יש $storage\ buffer$ בו יכולים להישמר אובייקטי עבודה במידת הצורך. יתכן שחלק מאובייקטי העבודה ימשיכו מיד לצינור המוצא, בעוד שאחרים ישמרו ב $buffer$ לעיבוד מאוחר יותר.

הסימולטור מנוהל בסבבים (rounds) בשיטת round-robin. כל צינור וכל מסנן מקבל הוראה לבצע סימולציה של עצמו למשך סבב אחד. לאחר שכל הצינורות והמסננים סיימו, הסימולטור מתקדם לסבב הבא. בכל סבב, מתבצעת קודם כל סימולציה של כל הצינורות ולאחר מכן סימולציה של כל המסננים. מכיוון שצינורות לא מחוברים זה לזה, סדר הצינורות בשיטה זו אינו חשוב.

לכן, פסאודו-קוד של תהליך הסימולציה הוא :

```
for each pipe p
    simulate p for one round
for each filter f
    simulate f for one round
increment simulator round
```

תכננו וממשו מחלקה בשם Simulator שתבצע סימולציה של מערכת צינורות ומסננים. על המפרט של המחלקה לכלול פסקאות @requires, @modifies ו-@effects, וכן מספר שורות סקירה כללית של המחלקה ושל מה שהיא מייצגת.

הנחיות :

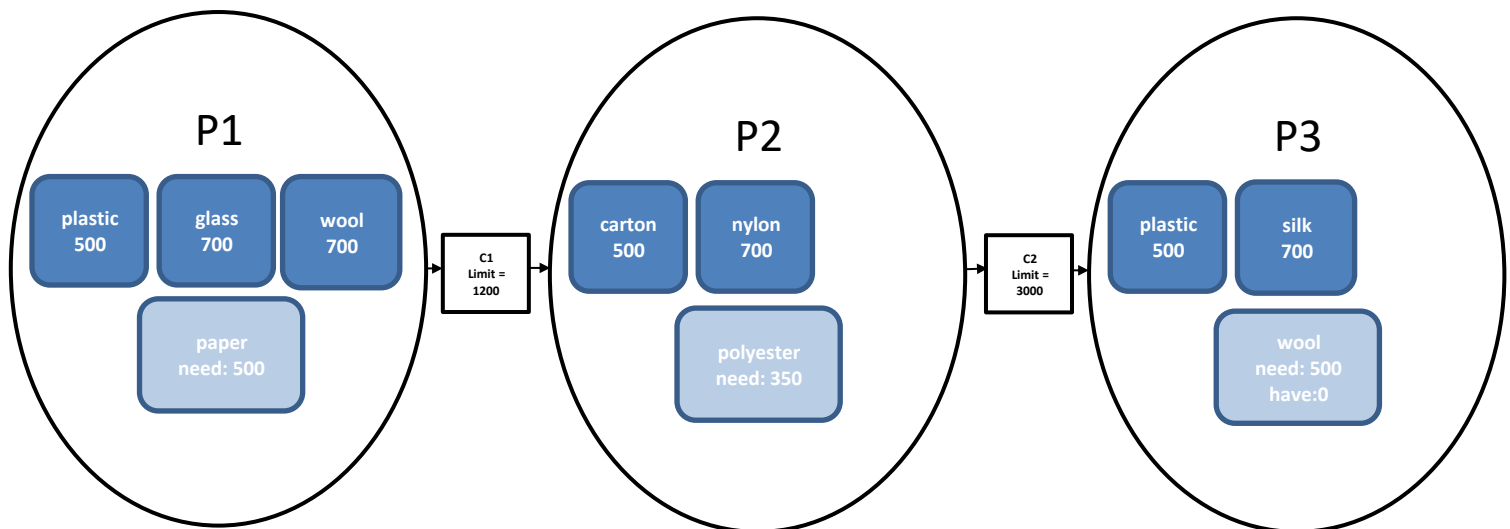
1. על המחלקה לספק פעולה בשם `simulate()` שתבצע סימולציה של סבב אחד במערכת, תוך שימוש בפסאודו-קוד הנ"ל.
2. על הסימולטור לתמוך בביצוע סימולציה על `BipartiteGraph` עם צמתים כלשהם. ההנחה היחידה על הצינורות והמסננים היא שהם מממשים את הממשק הנתון `Simulatable`.

להגשה ממוחשבת : המחלקה Simulator.

שאלה 3 (25 נקודות)

בשאלה זו תבדקו את הסימולטור שבניתם עבור מערכת המדמה ערוצי מחזור. אובייקטי העבודה יהיו תרומות מחזור המסננים יהיו שחקנים אשר רוצים למחזר מוצרים ולתרום אותם אחד לשני.

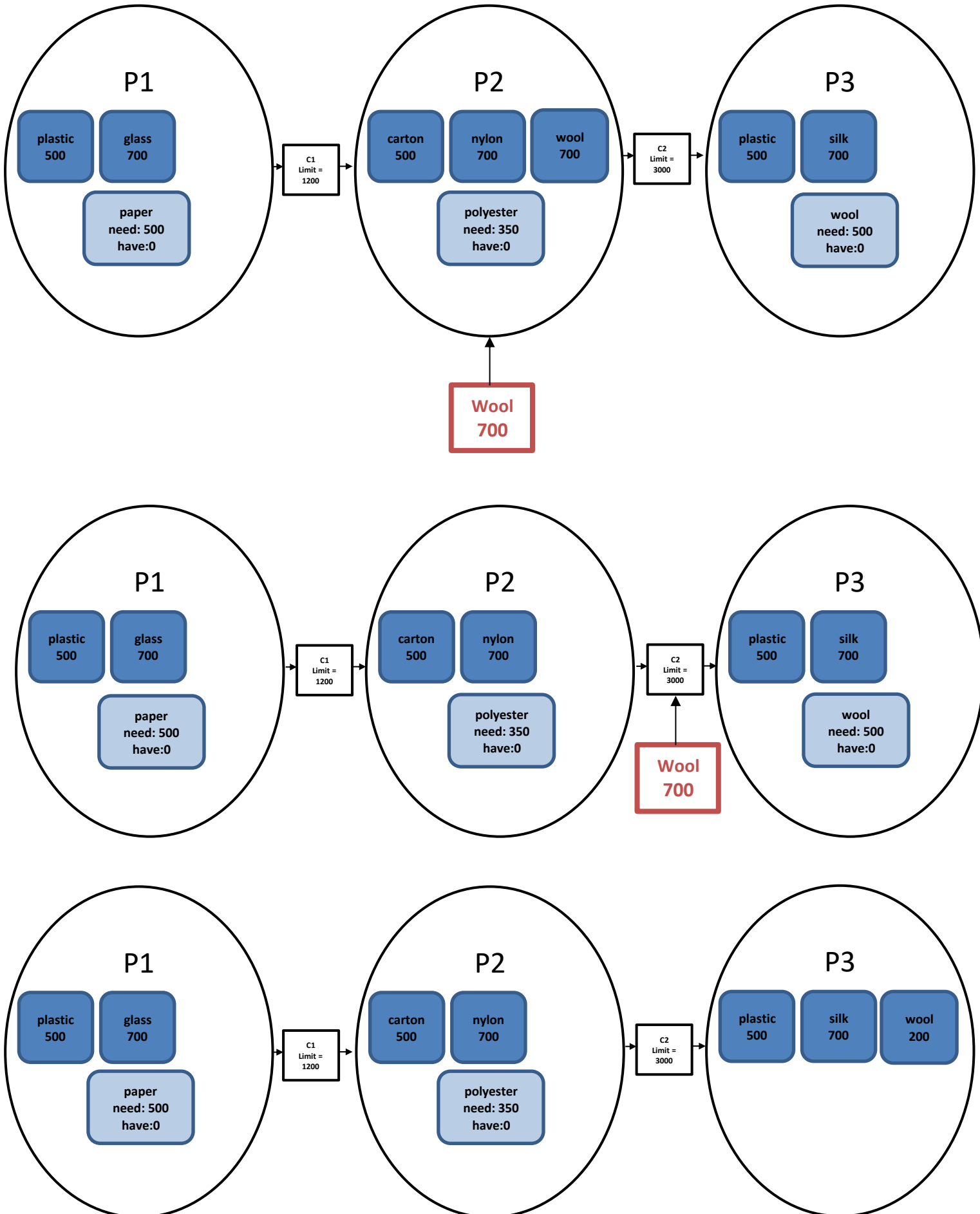
נרצה לבנות מערכת שבה השחקנים רוצים לבצע העברות של מוצרים שונים שאינם זקוקים להם עוד. התרומה תעבור בין השחקנים עד אשר יימצא שחקן אשר מעוניין במוצר בכמות קטנה או שווה לזו שמציעה התרומה. במידה ועדיין ישארו מוצרים בתרומה, היא תמשיך לעבור בין השחקנים עד אשר יימצא שחקן אשר מעוניין בה. השחקנים מחוברים אחד לשני על ידי צינורות, וייתכן שתרומה תתחלק בין מספר שחקנים בדרך. כמו כן, ייתכן כי חלק מהשחקנים רק יהיו מתווכים בין שחקנים אחרים.



בדוגמא, שחקן 1 יכול להעביר תרומה (של צמר) ששחקן 3 נזקק לה. במקרה זה, שחקן 2 מהווה מתווך בלבד.

העברה (Transaction) הוא אובייקט המכיל סוג מוצר וכמות. ניתן להניח כי סוג המוצר הוא מילה בודדת, ללא תווים מיוחדים/מספרים שנכתבת בuppercase. בעוד שאת הכמות ניתן לעדכן, את סוג המוצר לא ניתן לשנות.

המחלקה Channel תממש צינור שיהווה ערוץ להעברת תרומות. ל Channel אין הגבלה על מספר התרומות בו בכל רגע, אבל קיימת לו קיבולת - מגבלה על הכמות הכוללת של מוצרים לתרומה שיכולה לעבור דרך אותו צינור בזמן נתון. במידה והסכום הכולל של המוצרים בהעברות בערוץ מגיע ל limit לא ניתן יותר להעביר תרומות דרך ערוץ זה עד אשר יתפנה מקום. במידה ותרומה חורגת בכמות הניתנת למעבר בערוץ, אזי התרומה בפועל שתכנס לערוץ תהיה בעלת הכמות המותרת לכניסה לערוץ ושאר התרומה תזרק. אם התרומה לא הצליחה להכנס לאף ערוץ, אזי היא תשמר אצל השחקן שאליה הגיעה עד כה.



דגשים וחידודים לסימולציה:

- בסבב בודד,
 - שחקן יעביר העברה אחת.
 - Channel יעביר לאחד השחקנים העברה אחת.
- שימו לב שמוצר אינו יכול להופיע בו זמנית גם מוצרים שמחכים להתרם וגם במוצר הדרוש.
- על מנת לבצע העברה, מונחת העברה על אחד מערוצי התרומה היוצא מהשחקן. כך אתם יכולים לדמות התחלה של ההעברה בסימולטור.

הנחות:

- לצורך הפשטות, נניח שהגרף הוא גרף עץ חד כיווני. כלומר שחקן שמקבל העברה יצטרך לנסות להעביר אותה לאחד הערוצים היוצאים ממנו. ניתן להניח כי קיים ערוץ כניסה בודד לכל שחקן.
- במידה ושחקן "נתקע" עם ההעברה מכיוון שכל הערוצים היוצאים ממנו הגיעו ל limit הוא ישמור אותה אצלו אשר אשר יתפנה מקום. שימו לב, שניתן לשלוח תרומה אחרת לפני ההעברה שנתקעה – אין חשיבות לסדר הוצאת/כניסת התרומות.
- מטרת התרגיל היא לבצע שימוש במבנה הנתונים אותו ממשותם בשאלות הקודמות ולא להוות סימולטור מושלם של החיים האמיתיים. לכן אין צורך לדאוג לגבי התנהגות לא צודקת של שחקנים או מקרים בהן תרומה לא מגיעה לאף שחקן.
- ניתן להניח כי לא קיימות העברות עם כמות 0.
- סדר הוצאת התרומות אינו משנה.
- מוצר יכול להופיע יותר מפעם אחת ברשימת המוצרים המחכים להתרם.
- לאחר ששחקן מקבל את המוצר הנדרש שלו, הוא אינו מעוניין במוצרים נוספים.
- כאשר יוצרים שחקן, ניתן להניח שכמות המוצר הנדרש הינה גדולה מ0.

א.

תכננו וממשו את המחלקות Participant ו-Channel. כדי שמחלקות אלה יהיו שימושיות בסימולטור שבניתם, על המחלקות לממש את הממשק הנתון Simulatable. ניתן להניח כי מחלקות אלה פועלות עם תוויות מטיפוס String בלבד.

כתבו מפרט עבור מחלקות אלה, כולל פסקאות @requires, @modifies ו-@effects. יש לרשום גם מספר שורות סקירה כללית של כל המחלקה ושל מה שהיא מייצגת.

ב.

בדיקת המימוש של הסימולטור תתבצע בעזרת המחלקה SimulatorTestDriver שהמפרט שלה נתון. ממשו מחלקה זו בהתאם למפרט הנתון. במידה והסימולטור שלכם זורק חריגות, ניתן להוסיף אותן להצהרות של הפונקציות ב SimulatorTestDriver. (אבל לא לשנות את הממשק Simulatable).

ג.

עליכם לרשום מחלקה בשם SimulatorTest שתשתמש ב-JUnit ובמחלקה SimulatorTestDriver לשם ביצוע בדיקות קופסה שחורה של המחלקה Simulator. עליכם לוודא שכל הבדיקות עוברת בהצלחה.

להגשה ממוחשבת: המחלקות Participant, Channel, SimulatorTestDriver ו-SimulatorTest, כולל תיעוד מתאים.



עבודה נעימה!

