

## פרק 11 מפה

### 1. הזמן הנדרש

6 שעות.

### 2. מטרות

1. תרגול כל החומר הכלול ביחידה: מידול של בעיה, בחירת ייצוגים, מימוש, השוואת יעילות.
2. הכרת טיפוס נתונים מופשט חדש – המפה.
3. ייצוג טיפוס מופשט בעזרת רשימה ועץ-חיפוש-בינרי.

### 3. מבנה הפרק

#### מבוא כללי

#### טיפוס הנתונים מפה (טיפוס נתונים מופשט)

- כפי שצוין בפרק, המערך הוא למעשה מפה המקשרת בין מפתחות, שהם האינדקסים במערך, לבין הערכים השמורים בתאי המערך. מגבלות המערך נסקרו בעבר ומובאות גם כאן. אנו מעוניינים להרחיב את מושג המפה, לשמור כל אוסף גנרי של מפתחות וערכים ללא הגבלת כמות, ולטפל בו כך שיישמר המיפוי שבין מפתח (כלשהו) לבין ערך. לאחר הצגת הבעיה באופן כללי בפרק, אנו מתמקדים במפתחות מטיפוס מחרוזתי בלבד.
- טיפוס האוסף מפה מוכר לתלמידים מחיי היום יום וגם מתוך היחידה: הן ספר הטלפונים והן הרשימה הכיתתית הם מפות. בעוד שספר הטלפונים והרשימה הכיתתית הם אוספים ספציפיים, הרי המפה היא טיפוס אוסף כללי שיכול לשמש לייצוג אוספים שונים.
- הטיפוס מפה מוגדר על ידי פעולותיו בלבד, ללא כל התייחסות לייצוגים אפשריים. טיפוס הפרמטרים וערכי החזרה של הפעולות כוללים רק את טיפוס המפתחות והערכים המאוחסנים, אך אינם מתייחסים ליצוג אפשרי, לכן זהו טיפוס נתונים מופשט. הטיפוס עוסק באוספים דינמיים של קשרי מפתח-ערך, כיוון שפעולותיו כוללות הכנסה והוצאה, ואין בו מגבלה על גודל האוסף, והוא מאפשר טיפול נוח ויעיל באוספים כאלו.
- לאחר שנכתוב מחלקה מפה המגדירה טיפוס נתונים מופשט זה, נוכל להשתמש בה לצורך פתרון בעיות ובניית יישומים שבהם נדרש לבנות ולטפל באוספים של קשרי מפתח-ערך (ראו את התרגילים שבסוף הפרק).
- בתרגילים שבסוף הפרק יתבקשו התלמידים לכתוב את המחלקה ספר טלפונים תוך ייצוג בעזרת מפה.
- הפרק מדגים את הרעיון של טיפול באוסף שהוא ממטרות היחידה, ומהווה תרגול של כל מה שנלמד ביחידה עד לכאן: הגדרת טיפוס נתונים מופשט, הפרדה מוחלטת בין ממשק למימוש, ייצוגים ומימושים שונים לטיפוס נתונים מופשט, שימוש בטיפוס אוסף כללי לצורך הייצוג

והטיפול באוספים קונקרטיים, הגדרת טיפוס נתונים (כתיבת מחלקות), שיקולי יעילות בהחלטה על מימוש של טיפוס מופשט ועוד. חשוב שהתרגיל יתבצע במלואו, באופן מבוקר, בנוכחותכם ובהנחייתכם המורים. כך תוכלו לוודא שהחומר מובן לתלמידים, וכן תוכלו לחזור ולהסביר קטעים בעייתיים שיעלו במהלך התרגול.

- הפרק כולו בנוי כתרגיל מונחה ומומלץ לתת לתלמידים לבצעו במלואו. הפרק מציג רובד ראשוני של טיפוס האוסף החדש. ככל שמתקדמים בשלבי הפרק, רמת ההפשטה עולה ונדרשת הבנה מעמיקה יותר מן התלמידים. כל מורה יחליט עד כמה הוא מעוניין להרחיב ולהתעמק בשלבים אלה (בעיקר השלבים המתקדמים של תרגיל המילון). בכל זאת, כדאי לציין שתרגיל המפה מסמן את כיוון החשיבה והניתוח הנדרשים ביחידת הלימוד, ומשמש משום כך כסמן לרמת ההבנה הנדרשת בתום לימוד היחידה. לכן לא כדאי לחסוך בזמן המוקדש לתרגול זה. ניתן להתמקד רק בחלק מהסעיפים והמטלות, על פי היקף הזמן ורמת הכיתה. במקרה זה מומלץ ששלבים שעליהם תבחרו לדלג יוצגו בעזרת קטעי קוד מוכנים וינותחו עם הכיתה. אפשרות שיכולה להתאים לכיתות מסוימות היא ללמד את הפרק בכמה שלבים, כאשר מימושים חדשים למפה נלמדים לאחר שארגז הכלים העומד לרשות התלמידים הועשר בטיפוסים חדשים. כך, ניתן לממש מפה על ידי רשימה או רשימה ממוינת לאחר לימוד פרק רשימה, ועל ידי עץ-חיפוש-בינרי לאחר לימוד פרק עצים.

## א – המפה

הגדרת טיפוס הנתונים מפה כטיפוס המאפשר טיפול באוסף של קשרי מפתח-ערך.

## ב – דיון בפעולות הממשק

- הגדרת הפעולות הדרושות לטיפוס מפה. כדאי להגיע לאוסף הפעולות המוצגות בממשק באופן מובנה ומונחה, ולא להציג את הממשק הקיים. כך התלמידים יבינו את הנחיצות של כל אחת מהפעולות ואת משמעותן.
- בג'אווה: הפעולה `getValue(...)` מחזירה את הערך הקשור למפתח הנתון כפרמטר. כיוון שהסכמנו שאין במפה מפתח שהערך הצמוד אליו הוא `null`, הרי החזרת `null` משמעותה שהמפתח הנדרש אינו קיים במפה. לכן אין צורך להגדיר פעולה מיוחדת לבדיקה האם מפתח קיים במפה. (מותר להגדיר פעולה כזו, אם מעוניינים בכך משיקולי נוחות).
- בסעיף ב.2. בפרק 7 במדריך למורה הזכרנו כי הטיפוסים הבסיסיים בסישרפ נחשבים לעצמים, אך הערך `null` אינו יכול להיות ערך קביל עבור כלל הטיפוסים, משום שהוא אינו יכול להיות ערך של טיפוס בסיסי. הבעיה מתעוררת בפעולה נוסח `GetValue(...)` שלפנינו. שלא כמו בג'אווה, לא ניתן להגדיר פעולה גנרית שכזו בסישרפ. אם המפתח אינו קיים במפה לא ניתן להחזיר `null`, כי אולי הערך הוא "מטיפוס בסיסי". משמעות הדבר היא שיש להגדיר את הפעולה עם ההנחה שהמפתח אכן קיים במפה, ולפני שמזמנים אותה להשתמש בפעולה לבדיקה האם המפתח אמנם קיים במפה. לכן יש להוסיף פעולה כזו לממשק. הפעולה `ContainsKey(...)` תופיע רק בממשק המפה בסישרפ. על פי הערך הבוליאני שתחזיר, ניתן

יהיה להחליט אם אפשר לזמן את הפעולה `GetValue(...)`. נזכיר כי כאשר אנו מציינים הנחה בממשק, אנו למעשה אומרים לכותב המחלקה שהוא אינו צריך לבדוק מצב זה בתוך מימוש הפעולה, ומספיק שציין ב"חווה השימוש" (תיעוד הפעולה) את ההנחה הזו. עם זאת, על המשתמש במחלקה לוודא שהוא אכן לא מזמן את הפעולה עבור מפתח שאינו קיים. לכן עליו להיעזר בפעולה `ContainsKey(...)` ולוודא שהמפתח קיים במפה.

- הגנריות של המפתח: במסגרת חומר הלימוד של היחידה, K לא יכול להיות גנרי. אך יש לדעת שמגנון הממשקים הקיים בשפות יכול היה לאפשר ל-K להיות גנרי ובר-השוואה, אם במחלקה Map טיפוס המפתח K יוגדר כממש את הממשק Comparable.

```
public class Map<K extends Comparable, V>
```

- מסעיף זה המפתח אליו נתייחס הוא מחרוזתי בלבד. יש לציין שהמפה תבחין בין אותיות קטנות לגדולות (case sensitive), כלומר יכול להיות שבמפה יהיו שני מפתחות שערכיהם אותה מחרוזת אך הם נבדלים בגדלי האותיות (או חלקן). לדוגמה, אם נתייחס למפה המייצגת ספר טלפונים pb, אז הקוד הבא:

```
pb.insert("Moshe", "02-1234567");
```

```
pb.insert("moshe", "04-7654321");
```

ייצר שני זוגות שונים במפה למרות שהמפתח מבחינה תכנית שווה בשניהם.

### תשובות לשאלות המחשבה המופיעות בסעיף זה:

? נמקו את הטענה האחרונה: "הפעולות הנזכרות אינן מאפשרות לבצע מחוץ למחלקה Map פעולות כגון מציאת המפתח המינימלי הקיים במפה או אחזור כל הזוגות שבה".

#### **תשובה:**

הפעולה היחידה המבצעת אחזור שהגדרנו עד כה היא הפעולה המאחזרת ערך הקשור למפתח נתון. כדי לאחזר את כל הזוגות שבמפה, יש לעבור על כל העצמים האפשריים מטיפוס המפתח, ולכל אחד לבדוק אם הוא קיים במפה, ואם כן, מהו הערך הקשור אליו. לטיפוסים מסויימים, כגון `String / string`, מספר העצמים האפשריים הוא למעשה אינסופי. גם לטיפוסים כגון `Integer / int` שלהם מספר העצמים האפשריים סופי, המספר גדול מאוד, כך שפרקטית הוא אינסופי. לכן על ידי שימוש בפעולת האחזור לא נוכל לאתר מפתח או לאחזר זוגות מהמפה ועלינו להגדיר פעולות נוספות.

? הסבירו כיצד הפעולה `getAllKeys() / GetAllKeys()` מאפשרת לבצע את כל פעולות החיפוש שלא התאפשרו קודם לכן.

#### תשובה:

הפעולה מחזירה אוסף ממוין של כל המפתחות הקיימים במפה, ולכן ניתן בקלות לשלוח את המפתח המינימלי או לאחזר את כל הערכים הקשורים לכל המפתחות שבאוסף בעזרת `getValue(...) / GetValue(...)`. כך לקבל את אוסף כל הזוגות שבמפה.

### ג – שימוש במפה

המחלקה `Elections` היא מחלקה שמנהלת את המפה של ההצבעות. בכיתות לא חזקות, ניתן להציג את הפעולות על המפה (פעולת הצבעה, פעולת בחירת המנצח), ולאחר מכן לשאול את התלמידים היכן פעולות אלה נמצאות. קיימות שתי אפשרויות: הפעולות יכולות להיות פעולות סטטיות המוגדרות במחלקה הראשית, או פעולות פנימיות במחלקה שמנהלת את המפה. הגישה השנייה היא הגישה המתאימה לרוח של תכנות מונחה עצמים ולמידול נכון במסגרת זו. על פי גישה זו, מוגדרת בפרק המחלקה `Elections`.

### ד – ייצוגים אפשריים למפה

- בסעיף מועלים רעיונות שונים לייצוג המפה (שני מערכים, שתי רשימות). חבל להתעמק בייצוגים אלו מעבר להעלאת הרעיון וחשיבה קצרה עליו. המטרה היא להגיע לחידוש של מפה כרשימה של זוגות!
- ההחלטה על ייצוג המפה כרשימה של זוגות: מפתח-ערך. הקניית ההבנה שיש צורך להגדיר את טיפוס הנתונים זוג, ולשלב במימוש המפה מבלי שהממשק של המפה ישתנה.
- שימו לב שאין מניעה להגדיר את `Pair` כגנרי בשני ערכיו, שכן אף פעולה אינה נעשית על ערכי המפתח והערך. בזמן השימוש ב"זוג" בתוך מפה, המפתח יוגדר כמחרוזת. הגדרת המפתח של `Pair` כגנרי תאפשר ליישומים נוספים להשתמש במחלקה הכללית `Pair`.
- שימו לב כי מרגע שעלה רעיון הזוגות והוגדרה המחלקה `Pair`, הפרק ממשיך ומתייחס לייצוג המפה בעזרת רשימה של זוגות, וכי אף שהמחלקה `Pair` מוגדרת כגנרית בשני ערכיה, הרי מסעיף זה אנו מדברים על זוגות שהמפתח שלהם מחרוזת.
- אפשרות אחרת שאינה בתחום הידע של יחידה זו היא להגדיר את `Pair` כמחלקה פנימית (`inner class`). במקרה זה היא משמשת אך ורק לצורך המימוש הנוכחי של המפה, והמפתח נקבע להיות מטיפוס `String`.

## 4. תרגילים

פתרונות לתרגילים ולדף העבודה מופיעים באתר המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים ונגישים רק לציבור המורים:

[http://sites.huji.ac.il/science/unit4\\_2007/](http://sites.huji.ac.il/science/unit4_2007/)

### שאלה 1 – שימוש במפה

זהו תרגיל הדומה מאוד למשימה הנלווית של הרשימה הכיתתית. המפה מקשרת בין תעודות הזרות של התלמידים לבין עצמים מטיפוס Student (ברשימת התלמידים המקורית, הקישור הוא בין שמות התלמידים לעצמים מטיפוס Student). השאלה מתרגלת שימוש במפה. מומלץ לפתור בכיתה.

### שאלה 2 – מימוש ספר טלפונים

מומלץ לתת כשיעורי בית ולעבור על התרגיל בכיתה. זוהי חזרה אחרונה אל המשימה הנלווית של ספר הטלפונים שליוותה את היחידה.

### דף עבודה מספר 1 – מימוש מילון

מומלץ להתחיל בכיתה ולסיים בבית.

- המילון מדגים יישום המטפל באוסף של קשרי מפתח-ערך. המילון משמש אותנו בחיי היום יום, ולכן יש לקוות שדוגמה כזו תעניין את התלמידים. שימו לב שהגדרת מילון שבו לכל מילה יש תרגום אחד בלבד, היא בדיוק שימוש במפה שהגדרנו. כל פעולה של המילון היא בדיוק פעולה של מפה, ולכן יישום כזה הוא "משעמם" לכאורה.
- כדי שהתרגול של טיפוס נתונים יהיה מעניין יותר ומעמיק יותר, אנו מגדירים את המילון כך שלכל מילה במילון יהיו כמה תרגומים. התלמיד יצטרך להבין שהערך הגנרי V שהוגדר במפה מצריך, בזמן הגדרת המילון, הגדרת טיפוס חדש שהוא אוסף התרגומים של המילה. על נתונים אלה צריכות להיות מוגדרות הפעולות בנייה של האוסף, חיפוש איבר, הכנסה של איבר אם הוא לא קיים עדיין באוסף והחזרה של איבר, כמפורט בהדרכה שבשאלה.
- אוסף התרגומים לכל מילה במילון הוא אוסף ממוין של מחרוזות ללא חזרות. ניתן לייצג אוסף זה באופנים שונים:
  - ניתן להגדיר את האוסף בעזרת מערך אלא שניהולו מסורבל ויקר. ניתן להשתמש ברשימה ממוינת שכבר ראינו (IntSortedList) תוך שינוי טיפוס הערך השמור ברשימה ומניעת כפילויות בערכים השמורים בה.
  - ניתן להשתמש גם בעץ-חיפוש-בינרי ולמנוע את כפילויות הערכים. עץ-החיפוש הוא צורה יעילה לשמירת התרגומים שכן החזרת התרגומים בצורה ממוינת תהיה קלה וכן הפעולה המזהה אם תרגום מסוים כבר קיים במילון. בייצוג זה של אוסף התרגומים לא יהיה שימוש לפעולת הוצאה שכן לא ניתן למחוק תרגום בודד מתוך המילון.

- ניתן גם לייצג את אוסף התרגומים של מילה במילון באמצעות מפה נוספת. מפה זו תהיה מפה "מנוונת": במפתחות המפה יישמרו התרגומים ולערך V לא תהיה משמעות (נצטרך למלא את V בערך שרירותי כלשהו). הבחירה במפה נובעת מכך שהמפתחות מוחזרים באופן ממוין והם ייחודיים – בדיוק לפי ההגדרה של תרגום. בנוסף, המפה מאפשרת ביצוע מהיר וישיר עבור פעולות המילון: אין צורך להגדיר את הפעולות מחדש שכן המפה מספקת את כל הפעולות הדרושות לגבי תרגומים (הוספת תרגום, מציאה האם תרגום קיים וכד').
- אפשרות נוספת לייצוג אוסף התרגומים היא להגדיר טיפוס חדש בשם Translations. טיפוס זה יטפל בניהול האוסף על פי ההגדרות (שמירת מיון ואי חזרה על ערכים). האחריות לטיפול בתרגומים תהיה באחריות המחלקה Translations המגדירה אוסף ספציפי של מחרוזות, ממוין וללא כפילויות.
- נקודה למחשבה לפני שתיגשו לפתרון: בדקו האם ברור לכם ההבדל היסודי בין מפה למילון? המפה היא טיפוס אוסף כללי. לכן נוכל להיעזר בו לצורך ייצוג אוספים שונים המטפלים בקשרי מפתח-ערך. המילון לעומתה הוא אוסף ספציפי לחלוטין, ולא נוכל להשתמש בו לצורך ייצוג אוספים אחרים.
- **חלק א:** כאמור, כדי שהשאלה תהיה מעניינת יותר נקבע שלכל מילה יש מספר תרגומים. לכן צריך להגדיר טיפוס נתונים נוסף לשמירת אוסף התרגומים.
- **הערה:** בחלק א בסעיף 1, התלמידים נדרשים לכתוב את המחלקה "מילון". בהנחיות מצוין שהמילון אינו מבחין בין אותיות קטנות וגדולות. מאחר והתלמידים מתבקשים לממש את המילון באמצעות מפה, שהיא כן רגישה לאותיות גדולות וקטנות, יצטרכו התלמידים לבצע השוואה מיוחדת בעזרת פעולות הקיימות במחלקה String / string. עדיף לוותר לתלמידים על אילוץ זה הכתוב בהערות החשובות בסעיף ב, ולהיצמד להגדרה המקורית של המפה המבחינה בין אותיות גדולות וקטנות.
- **חלק א של המילון:**
  - בסעיפים 2-3, יש צורך לקלוט משפט שלם ולתרגם אותו. בשל המגבלות על הדפסה של עברית בסישרפ, נאלצנו בגרסה של סישרפ לכתוב את המילים העבריות באותיות לועזיות.
  - בסעיף 2.ב. יש לקלוט משפט בעברית ולתרגם אותו מילה במילה. כדי לפרק את המשפט למילים יש להשתמש בפעולה split(...) / Split(...). הקיימת במחלקה String / string.
- **חלק ב של המילון:**
  - סעיפים 1-2: הפעולה, שהיא כמובן פעולה פנימית, אמורה לבדוק קיום תרגום לכל מילה במילון. לשם הגיוון מחזירה הפעולה רשימה של מחרוזות ולא מערך, כפי שהחזירה הפעולה getAllKeys().
  - בסעיף 2 הפעולה מקבלת משפט ובודקת קיום תרגומים למילים המופיעות בו. לצורך כך יש לפרק את המשפט למילים. לצורך כך יש להשתמש בפעולה split(...) / Split(...). הקיימת במחלקה String / string.