236703 – תכנות מונחה עצמים

תרגיל 5: Advanced C++

מבוא

בתרגיל זה נתרגל את האפשרויות המתקדמות של C++. התרגיל מורכב משני חלקים **בלתי תלויים** המתמודדים עם נושאים שונים. בחלק הראשון נממש מנגנון החסר בשפת C++ והוא מנגנון Events בדומה למנגנון ב-C# והחלק השני יעסוק בשימוש במערכת ה-Meta-Programming Templates של השפה לצורך בניית משחק, ש"ירוץ" בזמן קומפילציה ויציג את התוצאה בעת הרצת התוכנית.

חלק א' – מימוש מנגנון דמוי Events ב-C++

מבוא:

בחלק זה של התרגיל נממש מנגנון המבוסס על תבנית התיכון Observer Pattern. בתבנית זו אובייקט הנקרא **Subject** "מכיר" קבוצת אובייקטים אחרים שנקראים **Observers** והוא שולח **לכולם**, אחד אחרי השני, הודעות על שינויים המתרחשים בו. "שליחת ההודעות" מתבצעת ע"י קריאה לפונקציה מסוימת של ה-**Observers**.

התבנית באה להגדיר יחס תלות של רבים-אחד בין ה-**Observers** ל-**Subject**. אובייקט ה-**Subject** אינו תלוי ב-**Observers** שלו, אך הם כן. (תלויים בכך שנקראת פונקציה שלהם כאשר ה-**Subject** מחליט להודיע הודעה).
בנוסף, תבנית זו תורמת **לאנקפסולציה** של מערכת – אבסטרקציה של רכיבי מערכת מרכזיים בתור Subject ורכיבים משתנים בתור Observers.
לדוגמה – ממשקי משתמש גרפיים (GUI) יוזמים טיפול מבוזר באירועים שתלויים במשתמש, כאשר המתכנת יכול להוסיף טיפול מותאם אישית להם – כך למשל באפליקציות אנדרואיד המתכנת יכול לכתוב פונקציית טיפול בנגיעה בכפתור, שתקרא ברגע שהמשתמש נוגע בו.

בתרגול של C# הכרתם את מערכת ה-Delegates וה-Events. מערכת זו מהווה מימוש ל-Observer Pattern.
(דוגמת חיישן הטמפרטורה והמזגנים)

בגרסה שלנו, נגדיר 2 מחלקות גנריות – **Observer** ו-**Subject**. הפרמטר הגנרי שלהן יהיה הטיפוס אותו מעביר ה-Subject בתור הודעה ל-Observers שלו. בנוסף המחלקה Observer תהיה וירטואלית טהורה – מחלקות שירשו ממנה יממשו את פונקציית הטיפול באירוע.
למעשה המחלקה Observer היא מעין Interface המצהיר על כוונת מחלקות היורשות ממנו להיות בעלות היכולת להירשם כ-Observer אצל Subject כלשהו.

המחלקה Subject (בקובץ Subject.h):

המחלקה הגנרית תקבל את T בתור הטיפוס הגנרי ותכיל בנאי חסר פרמטרים.

המחלקה תממש את המתודות הבאות:

- **`void notify(const T&)`** – מתודה המקבלת ארגומנט מהטיפוס הגנרי ושולח אותו כהודעה **לכל** ה-Observers אותם העצם מכיר. (קריאה למתודה `handleEvent()` שתוגדר בהמשך עבור המחלקה Observer)
  סדר הקריאה לכל ה-Observers יהיה לפי סדר ההוספה שלהם ל-Subject.
- **`void addObserver(Observer<T>&)`** – מתודה המקבלת עצם Observer ומוסיפה אותו לקבוצת האובייקטים אותם מקבל ההודעה מכיר. אם העצם כבר מוכר למקבל ההודעה יש לזרוק את החריגה **`ObserverAlreadyKnownToSubject`** המוגדרת בקובץ OOP5EventExceptions.h.
- **`void removeObserver(Observer<T>&)`** – מתודה המקבלת עצם Observer ומוחקת אותו מקבוצת האובייקטים אותם מקבל ההודעה מכיר. אם העצם אינו מוכר למקבל ההודעה יש לזרוק את החריגה **`ObserverUnknownToSubject`** המוגדרת בקובץ OOP5EventExceptions.h.
- **`Subject<T>& operator+=(Observer<T>&)`** – אופרטור += המקבל עצם Observer ומוסיף אותו לקבוצת העצמים המוכרים ל-Subject עליו הפעילו את האופרטור (תוך שימוש במתודת addObserver). יש להחזיר את עצם ה-Subject **לאחר** ההוספה.
- **`Subject<T>& operator-=(Observer<T>&)`** – אופרטור -= המקבל עצם Observer ומוחק אותו מקבוצת העצמים המוכרים ל-Subject עליו הפעילו את האופרטור (תוך שימוש במתודת removeObserver). יש להחזיר את עצם ה-Subject **לאחר** המחיקה.
- **`Subject<T>& operator()(const T&)`** – אופרטור () המקבל ארגומנט מהטיפוס הגנרי ושולח כהודעה לכל ה-Observers שהעצם מכיר (תוך שימוש במתודת notify). יש להחזיר את עצם ה-Subject **לאחר** השליחה.

המחלקה Observer (בקובץ Observer.h):

המחלקה הגנרית תקבל את T בתור הטיפוס הגנרי ותכיל בנאי חסר פרמטרים.
המחלקה תכיל את המתודה הוירטואלית הטהורה `void handleEvent(const T&)` שתהיה המתודה הנקראת על ידי ה-Subject בקריאה למתודת `notify`. מתודה זו היא למעשה "מצביע הפונקציה" שמוסיפים ל-Delegate ב-#C.

דוגמת שימוש במנגנון בקובץ Part1Examples.cpp המצורף.

חלק ב' – Template Meta-Programming

מבוא:

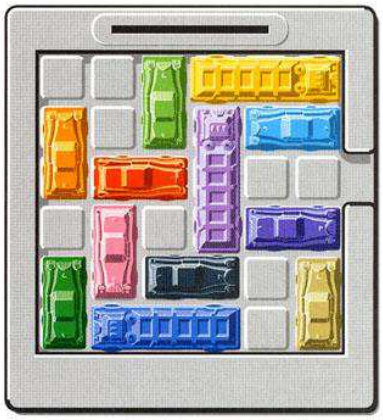
כפי שראיתם בתרגול, מערכת ה-Templates ב-++C היא **טיורינג שלמה**. למעשה, זה אומר שניתן לממש בעזרתה כל תכנית מחשב, כבר בזמן הקומפילציה. בחלק זה נדגים תכונה זו על ידי כתיבת גרסה משלנו למשחק **Rush Hour**.

מטרת חלק זה היא להכיר לעומק את מערכת התבניות ולהכיר את הכוח הרב הטמון בה. בחלק זה נשתמש בין היתר ב-**Template Specialization/Partial Specialization**, במילה השמורה **typename**, באופרטור **sizeof…** ובמאקרו **static_assert**.

מומלץ מאוד לקרוא את כל הדרישות והטיפים לפני שמתחילים לחשוב על פתרון.

במשחק זה נתון לוח ריבועי מגודל 6x6 (בגרסה שלנו נוכל לקבוע גודל אחר) עם פתח יציאה בדופן הימנית. על הלוח מונחות מכוניות ומשאיות, כל אחת **בצבע אחר**. עליכם להזיז אותן כך שהמכונית האדומה תוכל לצאת מהלוח.

רכב יכול לנוע רק בכיוון בו הוא מונח (בתמונה המכונית האדומה יכולה לזוז אופקית בלבד והמכוניות הירוקות אנכית).



קישור לגרסת אונליין למשחק: כאן (תהנו!)

בגרסה שלנו המשתמש יכתוב לתוכנית את הלוח ואת סדרת המהלכים שלו ויקמפל אותה. **בזמן הקומפילציה** היא תבדוק את הפתרון המוצע ותאפשר **בזמן ריצה** גישה למידע האם סדרת המהלכים הובילה למצב בו למכונית האדומה יש את היכולת לצאת מהלוח.

את הלוח נייצג בתור רשימה של רשימות. כל רשימה תייצג שורה, וכל כניסה בה תייצג את סוג המשבצת – ריקה או עם מכונית.

מהלך מוגדר כוקטור (Type, Direction, Amount) – העבר את המכונית מסוג Type בכיוון Direction לאורך Amount משבצות, **והמשחק** יוגדר כסדרת מהלכים + לוח.

<u>בחלק זה, כל האינדקסים מתחילים מ-0 (שורות ועמודות)</u>

איך מכשילים את הקומפילציה?

בחלק זה של התרגיל נטפל בשגיאות קלט (כמו מהלכים לא חוקיים, או סדרת מהלכים שלא פותרת את המשחק) על ידי הכשלת תהליך הקומפילציה.

C++11 הוסיפה לסטנדרט של השפה את המאקרו **`static_assert`** שפעולתו זהה לפעולת המאקרו assert, אך עובד **בזמן קומפילציה**. ניתן להשתמש במאקרו בכל חלק בקוד ובעזרתו נוכל לעצור את הקומפילציה במידת הצורך.

הגדרת המאקרו היא `static_assert(bool_constexpr, message)`. אם bool_constexpr משוערך בזמן קומפילציה לערך false הקומפילציה תיכשל וההודעה message תוצג.

דוגמת שימוש (פשוטה אך שימושית):

```
int main(){
    static_assert(sizeof(long) == 8, "Sorry, can't use non 64bit longs!");
    // rest of code
}
```

בכל מקום בחלק זה של התרגיל בו צריך להכשיל את הקומפילציה יש להשתמש במאקרו. **הודעת השגיאה לא תיבדק ולכן אפשר לבחור הודעה אקראית (לצרכי דיבוג, מומלץ לתת הודעה אינפורמטיבית!).**

לשם ההתחלה, נגדיר מס' מבני עזר בשביל מימוש המשחק (כל מבנה מוגדר בקובץ המתאים):

List: (קובץ List.h)

המבנה הראשון שנגדיר הוא רשימה מקושרת של **איברים** **<u>גנריים</u>**.
הרשימה תקבל טיפוסים בתור איבריה (ולא ערכים) ותכיל את השדות הבאים:

- **<u>head</u>** – איבר הראש של הרשימה
- **<u>next</u>** – טיפוס של רשימה מקושרת המכילה את שאר איברי הרשימה
- **<u>size</u>** – שדה מטיפוס int שיכיל את גודל הרשימה

דוגמת שימוש ברשימה: (הניחו שהטיפוס Int<N> הוגדר במקום אחר)

```
typedef List<Int<1>, Int<2>, Int<3>> list;
list::head; // = Int<1>
typedef typename list::next listTail; // = List<Int<2>, Int<3>>
list::size; // = 3
```

בנוסף להגדרת הרשימה עצמה נגדיר מספר מבני עזר לרשימה:

- **PrependList** – מבנה שיקבל **טיפוס** ו**רשימה** (בסדר הזה) ויכיל את הטיפוס **<u>list</u>** שיהיה רשימה המכילה את הטיפוס שהועבר, ואחריו כל איברי הרשימה.
  דוגמת שימוש במבנה:

```
typedef List<Int<1>, Int<2>, Int<3>> list;
typedef typename PrependList<Int<4>, list>::list newList; // = List< Int<4>, Int<1>, Int<2>, Int<3>>
```

- **GetAtIndex** – מבנה שיקבל **מספר שלם N** ו**רשימה** (בסדר הזה) ויכיל את הטיפוס **<u>value</u>** שיהיה האיבר שנמצא באינדקס ה-Nי ברשימה. (האינדקסים מתחילים מ-0)
  ניתן להניח שלא יועברו אינדקסים שחורגים מגודל הרשימה או אינדקסים שליליים.
  דוגמת שימוש במבנה:

```
typedef List<Int<1>, Int<2>, Int<3>> list;
GetAtIndex<0, list>::value; // = Int<1>
GetAtIndex<2, list>::value; // = Int<3>
```

- **SetAtIndex** – מבנה שיקבל **מספר שלם N**, **טיפוס** ו**רשימה** (בסדר הזה) ויכיל את הטיפוס **<u>list</u>** שיהיה רשימה הזהה לרשימה שהועברה, פרט לאיבר ה-Nי שהוחלף באיבר שהועבר. (האינדקסים מתחילים מ-0)
  ניתן להניח שלא יועברו אינדקסים שחורגים מגודל הרשימה או אינדקסים שליליים.

```
typedef List<Int<1>, Int<2>, Int<3>> list;
typedef typename SetAtIndex<0, Int<5>, list>::list listA; // = List<Int<5>, Int<2>, Int<3>>
typedef typename SetAtIndex<2, Int<7>, list>::list listA; // = List<Int<1>, Int<2>, Int<7>>
```

דוגמת שימוש במבנה:
רמז למימוש: חישבו כיצד ניתן להשתמש ב-PrependList.

Conditional: (קובץ Utilities.h)

תחת סעיף זה נגדיר **2 מבנים** – **Conditional** ו-**ConditionalInteger**:

שני המבנים יהיו למעשה מימוש בזמן קומפילציה למבנה הבקרה if-else.

המבנים יקבלו ביטוי בוליאני, ו-2 תוצאות, אחת עבור ביטוי בוליאני false ואחת עבור ביטוי בוליאני true. המבנים יכילו את השדה/הטיפוס **value** שיהיה התוצאה המתאימה.
חתימות המבנים יהיו:

- **Conditional<bool, typename, typename>**: המבנה המתאים לטיפוסים (ולא לערכים מספריים). הטיפוס הראשון יהיה טיפוס התוצאה (value) אם הפרמטר הראשון משוערך ל-true והשני יהיה טיפוס התוצאה אם הפרמטר הראשון משוערך ל-false.
- **ConditionalInteger<bool, int, int>**: מבנה זה **זהה** בהגדרתו למבנה Conditional, אך ערכי התוצאה יהיו מספרים שלמים ולא טיפוסים.

דוגמת שימוש במבנים (הניחו שהטיפוס Int<N> הוגדר במקום אחר):

```
int val = ConditionalInteger<(0 != 1), 0, 1>::value; // = 0
val = ConditionalInteger<(0 == 1), 0, 1>::value; // = 1

typedef typename Conditional<(0 != 1), Int<0>, Int<1>>::value test1; // = Int<0>
typedef typename Conditional<(0 == 1), Int<0>, Int<1>>::value test2; // = Int<1>
```

אחרי החימום, נעבור למימוש רכיבי המשחק העיקריים.

כל תא בלוח המשחק ייוצג בעזרת 3 מאפיינים – סוג התא, אורך המכונית הנמצאת עליו וכיוונה. (**עבור תא ריק אורך המכונית וכיוונה ייבחרו שרירותית**)

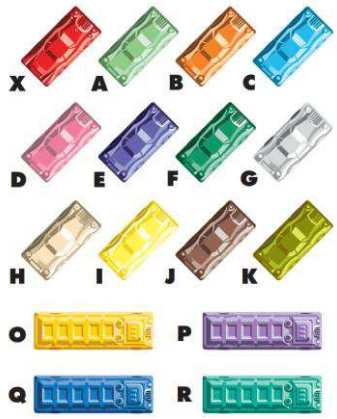
כך למשל 2 תאים עליהם נמצאת מכונית אדומה (שסימונה במשחק X) מאורך 2 וכיוון תנועה מעלה יתוארו

כ-(X, UP, 2) ותא ריק יתואר כ-(EMPTY, LEFT, 0). **(הכיוון והגודל של התא הריק נבחרו שרירותית)**

CellType: (קובץ CellType.h)

על מנת לייצג סוגי תאים נגדיר את ה-enum CellType.

ערכי ה-enum יהיו **EMPTY** ושאר הערכים בהתאם למפתח בתמונה:



(להעתקה מהירה ונוחה: X, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, O, P, Q, R)

Direction: (קובץ Direction.h)

על מנת לייצג כיוונים במשחק נגדיר את ה-enum Direction.

ערכי ה-enum יהיו:

- **UP** = 0
- **DOWN** = 1
- **LEFT** = 2
- **RIGHT** = 3

השימוש ב-Direction יהיה בתאי הלוח (כיווני המכוניות המונחות על תאים) ובמהלכי המשחק.

בפועל, מכיוון שנשתמש ב-enum גם בשביל הגדרת מהלכים, בהם צריך 4 כיוונים של תנועה, בשימוש בו **בהגדרת תאים בלוח** הכיוונים **UP** ו-**DOWN** שקולים לתנועה אנכית והכיוונים **LEFT** ו-**RIGHT** שקולים לתנועה אופקית.

BoardCell: (קובץ BoardCell.h)

כעת נוכל להגדיר את המבנה שייצג תא בלוח.

המבנה **BoardCell** יקבל את סוג התא, כיוון המכונית עליו ואת אורך המכונית **בסדר זה** (שימו לב שמכונית אחת יכולה להיות ממוקמת על כמה תאים צמודים).

המבנה יכיל את השדות הבאים:

- **type** – יכיל את סוג התא
- **direction** – יכיל את כיוון המכונית שנמצאת על התא
- **length** – יכיל את גודל המכונית שנמצאת על התא

GameBoard: (קובץ GameBoard.h)

מבנה זה ייצג את לוח המשחק.

המבנה יקבל רשימה של רשימות של **BoardCell**.

המבנה יכיל את השדות הבאים:

- **board** – יכיל את הרשימה הראשית.
- **width** – יכיל את הרוחב של הלוח (כמות העמודות)
- **length** – יכיל את האורך של הלוח (כמות השורות)

ניתן להניח שתמיד יועברו רשימות תקינות למבנה.

תנועת מכוניות – MoveVehicle והמבנה Move: (קובץ MoveVehicle.h)

בשביל לממש את מנגנון הזזת המכוניות על הלוח נממש מספר מבנים.

Move:

מבנה זה ייצג מהלך משחק. כפי שהוגדר, מהלך הוא וקטור (Type, Direction, Amount).

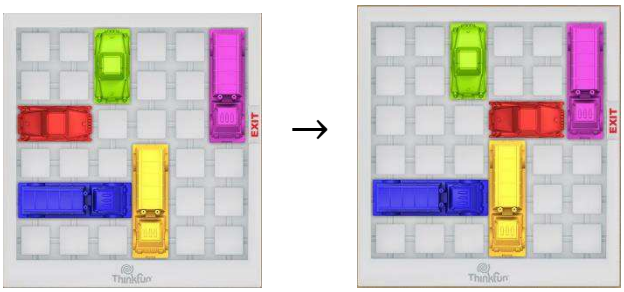
המבנה יקבל את סוג המכונית שרוצים להזיז, כיוון התנועה המבוקש ואת כמות המשבצות שיש להזיז אותה בכיוון (בסדר הזה).

המבנה יכיל את השדות הבאים:

- **type** – יכיל את סוג המכונית שרוצים להזיז
- **direction** – יכיל את כיוון התנועה המבוקש
- **amount** – יכיל את כמות המשבצות שיש להזיז את המכונית בכיוון

בזמן יצירת המבנה יש לוודא כי סוג התא המועבר שונה מ-EMPTY (כי לא ניתן להזיז EMPTY). אם מועבר סוג תא של משבצת ריקה יש להכשיל את הקומפילציה.

כדוגמת שימוש במבנה, המעבר הבא:



מתואר על ידי Move<X, RIGHT, 3>.

תהליך הקומפילציה אמור להיכשל עבור קטע הקוד הבא:

```
int amount = Move<EMPTY, UP, 1>::amount;
```

ואילו קטע הקוד הבא אמור לעבור קומפילציה בהצלחה:

```
int amount = Move<X, RIGHT, 1>::amount;
```

MoveVehicle:

המבנה המורכב והעיקרי במשחק. מבנה זה יקבל לוח (מטיפוס **GameBoard**), אינדקס שורה **R**, אינדקס עמודה **C**, כיוון **D** ומספר שלם **A** (בסדר הזה) ויחזיק טיפוס יחיד **board** (של **GameBoard**) שיהיה הלוח, **אחרי הזזת המכונית** שנמצאת על התא בשורה R ועמודה C, בכיוון D, A משבצות, כאשר האינדקסים (0,0) מציינים את הפינה השמאלית עליונה בלוח. יש לשים לב לכך שיש להזיז את **כל** המכונית, ולא רק את התא שמועבר.

לדוגמה, בהינתן המבנה MoveVehicle<gameBoard, 2, 1, RIGHT, 3> והטיפוס gameBoard שמייצג את הלוח הבא:

הטיפוס **board** של המבנה צריך לייצג את הלוח:

<u>הערה:</u> עבור הלוח בדוגמה לעיל המבנה `MoveVehicle<gameboard, 2, 0, RIGHT, 3>` מוביל לאותה תוצאה!

<u>ניתן להניח שלא ייבדקו מהלכים שמוציאים מכונית מהלוח.</u>

במקרים הבאים יש **<u>להכשיל את הקומפילציה</u>**:

- **מועברות קואורדינטות (R,C) שלא נמצאות על הלוח**
- **מועברות קואורדינטות של משבצת ריקה (type = EMPTY)**
- **מועברות קואורדינטות של מכונית שלא יכולה לנוע בכיוון שהועבר**
- **המהלך יגרום למכונית לעבור בתא בו יש מכונית אחרת (מכונית יכולה לזוז רק על תאים מסוג EMPTY)**

רמזים למימוש:

- הפרידו בטיפול בין תנועה אופקית לבין תנועה אנכית.
- השתמשו במבנה **`Transpose`** שמקבל מטריצה (רשימה של רשימות) ומחזיק טיפוס **<u>`transposed`</u>** שהוא המטריצה המשוחלפת. המבנה נמצא בקובץ המצורף **TransposeList.h**, חישבו כיצד לנצל את המבנה בשביל לחסוך קוד.
- ממשו מבנה עזר שמזיז מכונית **משבצת אחת בכל פעם**. נצלו את העובדה שכל תאי הלוח שמציינים את אותה מכונית זהים מבחינת שדות.

מבנה המשחק CheckSolution והמבנה CheckWin: (קובץ RushHour.h)

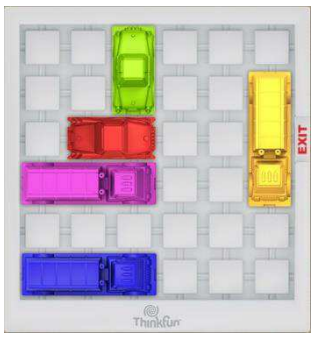
לסיום המשחק נגדיר 2 מבנים אחרונים: `CheckSolution` ו-`CheckWin`.

CheckWin:

מבנה זה יקבל את לוח המשחק (כ-**GameBoard**) ויבדוק אם המשחק פתור. המשחק מוגדר כפתור אמ"מ המכונית האדומה יכולה לנוע בחופשיות (במהלך חוקי) לעבר פתח היציאה. (כלומר הדרך ריקה ממכוניות)

כך לדוגמה הלוח הבא פתור:

והלוח הבא **לא** פתור:



המבנה יכיל את השדה הבוליאני **<u>`result`</u>** שיהיה שווה ל-true אם המשחק פתור ול-false אחרת.

CheckSolution:

השימוש במשחק יתבצע דרך מבנה זה.

המבנה מקבל את לוח המשחק (כ-**GameBoard**) וסדרת מהלכים (כרשימה של **Move**) (בסדר הזה) ויכיל שדה בוליאני **result** שערכו יהיה true אם סדרת המהלכים פותרת את המשחק ו-false אחרת.

שימו לב, יש לבצע את **כל** המהלכים ורק אז לבדוק אם המשחק פתור (בעזרת CheckWin)

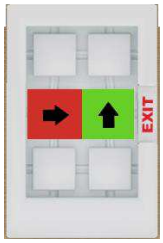
הערה: שימו לב שהמבנה Move מקבל את סוג התא ולא את מיקומו והמבנה MoveVehicle מקבל את מיקום המכונית. **מומלץ לממש מבנה עזר** שמקבל את הלוח ואת סוג התא ומוצא את מיקום המכונית על הלוח. (בשביל נוחות – קבעו שהמבנה מחזיר את התא הראשון או האחרון של המכונית על הלוח, כאשר התא הראשון יהיה מוגדר להיות התא השמאלי-עליון ביותר, לדוגמה). **מבנה זה אינו חובה ולא ייבדק**.

דוגמת שימוש במשחק:

```
typedef GameBoard<List< List< BoardCell<EMPTY, UP, 0>,  BoardCell<EMPTY, UP, 0>>,
                        List< BoardCell<X, RIGHT, 1>,   BoardCell<A, UP, 1>>,
                        List< BoardCell<EMPTY, UP, 0>,  BoardCell<EMPTY, UP, 0>>>> gameBoard;
typedef List<Move<A, UP, 1>> moves;
typedef CheckSolution<gameBoard, moves> gameState;

static_assert(gameState::result, "Fail!"); // gameState::result should be true
```

הלוח בדוגמה הזו הוא הלוח:



הקוד לעיל אמור לעבור קומפילציה בהצלחה.

יש לדאוג לכך שמהקובץ **RushHour.h** תהיה גישה **לכל** פונקציונליות המוגדרת בחלק זה (כלומר יש לעשות include לכל קובץ שמימשתם + הקבצים שהוגדרו בתרגיל).

בקובץ **Part2Examples.cpp** מצורפות דוגמאות שימוש במבנים ובמשחק, עברו עליהן וודאו כי הפתרון שלכם עובר קומפילציה!

לנוחיותכם, מצורף הקובץ **Printer.h** בו מוגדר הטיפוס **Printer** שמכיל את הפונקציה **print**. הפונקציה מקבלת ערוץ הדפסה (למשל std::cout) ומדפיסה אליו את תוכן המבנה שהטיפוס מקבל כפרמטר גנרי. דוגמת שימוש ב-Printer:

```
typedef GameBoard<List< List< BoardCell<EMPTY, UP, 0>,  BoardCell<EMPTY, UP, 0>>,
                        List< BoardCell<X, RIGHT, 1>,   BoardCell<A, UP, 1>>,
                        List< BoardCell<EMPTY, UP, 0>,  BoardCell<EMPTY, UP, 0>>>> gameBoard;
Printer<gameBoard>::print(std::cout);
```

ניתן להעביר ל-Printer את הטיפוסים List, BoardCell ו-GameBoard.

חזרו על התרגול של תבניות ב-C++ והבינו את הנושא היטב. עברו על המבנים המצורפים לתרגיל (Transpose ו-Printer), הבינו איך (ולמה) הם עובדים. הבנה טובה של הנושא תעזור מאוד במימוש התרגיל.

הערות והנחות:

- בכל מקום בו כתוב מבנה הכוונה היא ל-struct.
- פתח היציאה מהלוח תמיד יהיה בשורה של המכונית האדומה, **ותמיד בצד הימני** של הלוח (המכונית האדומה יכולה לנוע **רק בתנועה אופקית**).
- **ניתן ואף רצוי להוסיף שדות, מבנים וטיפוסים נוספים.**
- מומלץ להקפיד על חלוקה לקבצים שונים לפי קטגוריות. יש לוודא כי קובץ ה-Header הראשי (**RushHour.h**) יכלול include לכל קובץ Header שיצרתם. חלק מהבדיקות בחלק זה של התרגיל יכילו include יחיד והוא ל-$RushHour.h$.

הערות לשני החלקים של התרגיל:

- בדיקת התרגיל תכלול הן את הפונקציונליות של המערכת כולה (אינטגרציה של כל הרכיבים) והן את הפונקציונליות של כל רכיב בפני עצמו (בדיקות יחידה). ודאו שכל רכיב עומד בדרישות התרגיל! לשם כך, מומלץ מאוד לכתוב ולהריץ בדיקות!
- עליכם לדאוג לשחרר את כל האובייקטים שהקצתם ב-2 חלקי התרגיל!
- הקוד יקומפל בעזרת הפקודה:

g++ -std=c++11 *.cpp

יש להריץ/לקמפל את העבודה כולה על שרת ה-csl2, שכן העבודה שלכם תבדק עליו.

באופן ברירת מחדל, על שרתי ה csl2, מותקנת גרסה ישנה של gcc אשר אינה תומכת ב C++11. על מנת לעדכן את הקומפיילר שלכם ב- csl2 / t2 באופן הבא:

```
1. gcc --version # If GCC is 4.7 or above, stop here.
2. bash
3. . /usr/local/gcc4.7/setup.sh
4. cd ~
   echo . /usr/local/gcc4.7/setup.sh >> .bashrc # This makes the change permanent
```

הוראות הגשה

- **בקשות לדחייה, מכל סיבה שהיא, יש לשלוח למתרגל האחראי על הקורס (נתן) במייל בלבד תחת הכותרת HW5 236703. שימו לב שבקורס יש מדיניות איחורים, כלומר ניתן להגיש באיחור גם בלי אישור דחייה – פרטים באתר הקורס תחת General info.**
- הגשת התרגיל תתבצע אלקטרונית בלבד (יש לשמור את אישור השליחה!)
- יש להגיש קובץ בשם OOP5_<ID1>_<ID2>.zip המכיל:
  - קובץ בשם readme.txt המכיל שם, מספר זיהוי וכתובת דואר אלקטרוני עבור כל אחד מהמגישים בפורמט הבא:

    Name1 id1 email1
    Name2 id2 email2
  - תיקייה בשם part1 שתכיל את כל הקבצים **שמימשתם** בחלק הראשון של התרגיל + הקובץ **OOP5EventException.h** שסופק לכם. (**לא** כולל Part1Examples.cpp!)

- תיקייה בשם part2 שתכיל את כל הקבצים **שמימשתם** בחלק השני של התרגיל + הקובץ **TransposeList.h** שסופק לכם. (**לא** כולל Part2Examples.cpp!)

```
OOP5_123456789_112233445.zip/
    |_ readme.txt
    |_ part1/
            |_ OOP5EventException.h
            |_ Subject.h
            |_ Observer.h
            |_ additional files…

    |_ part2/
            |_ BoardCell.h
            |_ CellType.h
            |_ Direction.h
            |_ GameBoard.h
            |_ MoveVehicle.h
            |_ RushHour.h
            |_ TransposeList.h
            |_ additional files…
```

- נקודות יורדו למי שלא יעמוד בדרישות ההגשה (rar במקום zip, קבצים מיותרים נוספים, readme בעל שם לא נכון וכו')

בהצלחה!