



פקולטה: מדעי הטבע

מחלקה: מדעי המחשב

שם הקורס: מבנה זיכרון ושפת C++

קוד הקורס: 2-7027810 כל הקבוצות - קבוצות 1,3,4,5

מועד א סמסטר: ב שנה: ה'תשעט

תאריך הבחינה: ט"ו בסיון ה'תשע"ט, 18/06/2019

משך הבחינה: 3 שעות

שם המרצים: אראל סגל-הלוי, גיל בן-ארצי

שאלה 1 [9 נק']

```
1. #include <iostream>
2. using namespace std;
3. class A {
4. public:
5.     A() { cout << "A(0)" << endl; }
6.     A(const A& a) { cout << "A(1)" << endl; }
7. };

8. class B {
9. public:
10.     B() : a() { cout << "B(0)" << endl; }
11.     B(const B& b) { cout << "B(1)" << endl; }
12. private:
13.     A a;
14. };
15.
16. int main() {
17.     B object1;
18.     B object2 = object1;
19.     return 0;
20. }
```

א [3 נק']. מה פלט התוכנית?
פתרון:

A(0) B(0) A(0) B(1)

בשורה 17 בונים עצם מסוג B בעזרת בנאי בלי ארגומנטים, המוגדר בשורה 10. לשם כך צריך קודם לבנות את השדה מסוג A, וזה נעשה בשורה 10 ע"י בנאי בלי ארגומנטים, המוגדר בשורה 5. לכן קודם מודפס A0 ואחר-כך B0.

בשורה 18 בונים עצם מסוג B בעזרת בנאי מעתיק, המוגדר בשורה 11. לשם כך צריך קודם לבנות את השדה מסוג A. כיוון ששורת האתחול לא אומרת איך לבנות את השדה הזה, משתמשים בבנאי בלי ארגומנטים של A, המוגדר בשורה 5. לכן קודם מודפס A0 ואחר-כך B1.

ב [3 נק']. אם מוחקים את שורה 11, מה פלט התוכנית?
פתרון:

A(0) B(0) A(1)

בשורה 17 מודפס A0 ואחר-כך B0 בדיוק כמו קודם.

בשורה 18 בונים עצם מסוג B בעזרת בנאי מעתיק, אבל אין בנאי מעתיק, ולכן קוראים לבנאי מעתיק ברירת-מחדל. ע"פ הגדרה, בנאי מעתיק ברירת-מחדל פשוט קורא לבנאי מעתיק של כל השדות. במקרה זה, יש רק שדה אחד מסוג A, ולכן קוראים לבנאי המעתיק שלו ומדפיסים A1.

ג [3 נק']. אם מחזירים את שורה 11 ומוחקים את שורה 6, מה פלט התוכנית?
פתרון:

A(0) B(0) A(0) B(1)

הפתרון זהה לסעיף א. העובדה שמחקנו את שורה 6 לא רלבנטית, כי במקרה זה אנחנו בכלל לא מגיעים לשורה 6 – ראו בהסבר של סעיף א. למרות שקוראים לבנאי מעתיק של B, הוא לא קורא לבנאי מעתיק של A אלא לבנאי בלי ארגומנטים.

שאלה 2 [9 נק']

```
1. #include <iostream>
2. using namespace std;
3.
4.     class A;
5.
6.     class B {
7.     public:
8.         explicit B (A& o) { cout << "B (A)" << endl; }
9.     };
10.
11.    class A {
12.    public:
13.        A() { cout << "A()" << endl; }
14.    };
15.
16.    void printit(B arg) {}
17.
18.    int main() {
19.        A a;
20.        B b(a);
21.        printit(a);
22.        return 0;
23.    }
```

א [3 נק']. בתוכנית יש שגיאת קומפילציה בשורה 21. הסבירו במילים שלכם מהי השגיאה ומדוע היא קורה.

פתרון: קוראים לפונקציה שמצפה לקבל B אבל מעבירים משתנה מסוג A (1 נק'). אמנם יש בנאי ממיר, אבל הוא מוגדר כ-explicit ולכן הקומפיילר לא קורא לו אוטומטית (2 נק').

ב [3 נק']. הציעו תיקון לשורה 21 כך שהתוכנית תתקמפל ותרוץ בלי שגיאות. אין לשנות שורות אחרות.

הפתרון שרצינו שתכתבו: לקרוא בפירוש לבנאי הממיר: `printit(B(a))`.
פתרון נוסף שמתקבל כנכון: `printit(b)`.

ג [3 נק']. מהו פלט התוכנית לאחר התיקון?
פתרון: לפי הפתרון הראשון:

A(),B(A), B(A)

לפי הפתרון השני:

A(),B(A)

שאלה 3 [9 נק']

```
1. #include <iostream>
2.
3. using namespace std;
4.
5. class Shape {
6. public:
7.     virtual void draw() = 0;
8.     virtual ~Shape() { cout << "~Shape()" << endl; }
9. };
10.
11.
12. class Circle : public Shape {
13. public:
14.     void draw() { cout << "Circle::draw()" << endl; }
15.     ~Circle() { cout << "~Circle()" << endl; }
16. };
17.
18.
19. void drawTheShape(Shape s) {
20.     s.draw();
21. }
22.
23. int main() {
24.     Circle c;
25.     drawTheShape(c);
26.     return 0;
27. }
```

א [3 נק']. בתוכנית יש שגיאת קומפילציה בשורה 19. הסבירו במילים שלכם מהי השגיאה ומדוע היא קורה.

פתרון: כיוון שמעבירים את הפרמטר by value, אמור להיווצר משתנה חדש מסוג Shape בכניסה לפונקציה, אבל המחלקה היא וירטואלית-טהורה ולכן אי-אפשר ליצור משתנה ממחלקה זו.

ב [3 נק']. הציעו תיקון לשורה 19 כך שהתוכנית תתקמפל ותרוץ בלי שגיאות. אין לשנות שורות אחרות.

הפתרון שרצינו שתכתבו: להעביר את הפרמטר by reference, כך:
void drawTheShape(Shape& s)
במקרה זה רק כתובת המשתנה מועברת, ולא נוצר משתנה חדש.

פתרון אחר שמתקבל כנכון:

void drawTheShape(Circle s)

ג [3 נק']. מהו פלט התוכנית לאחר התיקון?

לפי הפתרון הראשון לסעיף ב:

```
Circle::draw()  
~Circle()  
~Shape()
```

לפי הפתרון השני לסעיף ב:

```
Circle::draw()  
~Circle()  
~Shape()  
~Circle()  
~Shape()
```

שאלה 4 [9 נק']

נתונה התוכנית:

```
01  #include <iostream>
02  #include <string>
03  using namespace std;
04
05  class string {
06      const char* p;
07  public:
08      string(const char* p) {this->p = p;}
09  };
10
11  int main() { // a demo program
12      string s = "abc";
13  }
```

כשמריצים make מתקבלת ההודעה הבאה:

```
main.cpp:12:2: error: reference to 'string' is ambiguous
string s = "abc";
^
```

א [3 נק']. מה סוג השגיאה (קומפילציה / קישור / זמן-ריצה / לוגית / דליפת זיכרון)? מה בדיוק גורם לשגיאה?

פתרון: שגיאת קומפילציה. היחידות `string`, `iostream`, `std::string` כוללות את `std::string` (1 נק'), וכשמבצעים `using namespace std` המחלקה עוברת למרחב הראשי (2 נק'). בשורה 5 מוגדרת מחלקה אחרת בשם `string`. לכן בשורה 12 הקומפיילר לא יודע לאיזה `string` אנחנו מתכוונים, וצועק שהשורה היא רב-משמעית – `ambiguous`.

ב [3 נק']. איך אפשר לתקן את הבאג ע"י מחיקה של שורה אחת? אין לשנות את התוכנית הראשית.

פתרון: למחוק את שורה 3. ואז המחלקה התקנית `string` תישאר במרחב השם `std` ולא תתנגש עם ה-`string` שאנחנו מגדירים (לשם כך נועד מרחב-שם).
• הערה: הפתרון של מחיקת שורה 2 לא מספיק, כי `string` מוגדר גם ב-`iostream`. הוא מזכה ב-2 מתוך 3 נקודות.

ג [3 נק']. במחלקה הנתונה יש פוינטר `p` אבל אין מפרק (destructor). האם זה עלול לגרום לשגיאה כלשהי? אם כן, מה סוג השגיאה שעלולה להיווצר? אם לא, מדוע לא?

פתרון: זו לא שגיאה, אין צורך לפרק שום דבר כי הבנאי של `string` לא בונה שום דבר. הוא מקבל את הפוינטר מבחוץ. המחיקה צריכה להתבצע ע"י אותו גורם שיצר את הפוינטר ע"י `new`.

שאלה 5 [22 נק']

סטודנט כתב תבנית-מחלקה (class template) בשם Tree המייצגת עץ-מיון בינארי.

כיתבו בדיקות-יחידה מקיפות עבור המחלקה. יש לבדוק את הדרישות הבאות:

- אפשר ליצור עץ בינארי עם כל סוג שיש לו אופרטור "קטן מ-" (>).
- העץ אמור לשמור על סדר הפריטים בתוכו, בהתאם לאופרטור "קטן מ-" שלהם.
- העץ אמור לאפשר הכנסה (insert), וכן לבדוק מי הבן השמאלי (left) של פרט כלשהו בעץ.

א [11 נק']: תיכנון הבדיקות: כיתבו (בעברית) רשימה מפורטת של מקרים שאתם מתכוונים לבדוק. פתרון: יש לבדוק לפחות שלושה עצים – שניים מהם יכולים להיות העצים הנתונים (מחרוזות ומספר), ועץ שלישי צריך להיות עם מחלקה חדשה (למשל Person) שיש לה אופרטור "קטן מ-".

כמו כן, יש להכניס לכל עץ לפחות 5 עצמים ולבדוק לפחות שלושה מצבים, כגון:

- עץ ימני בלבד
- עץ שמאלי בלבד
- עץ מאוזן
- וכד'..

ב [11 נק']: מימוש הבדיקות: מצורף קובץ עם בדיקות לדוגמה. עליכם להרחיב אותו ולהוסיף לו את הבדיקות בהתאם לתכנון שכתבתם בסעיף א. הפונקציות CHECK_OK, CHECK_EQUAL, CHECK_THROWS כבר מוגדרות בקובץ badkan.hpp, כמו במטלות. אין צורך לממש אותן. מותר להוסיף, לצורך הבדיקות, מחלקות ו/או פונקציות לפני התוכנית הראשית.

פתרון אפשרי בעמוד הבא.

בכל סעיף, מלוא הניקוד ניתן למי שבדק לפחות שלושה עצים, אחד מהם עם מחלקה חדשה עם אופרטור >, וכל עץ כולל לפחות 5 הכנסות הבודקות מקרים שונים.

שימו לב: יש סטודנטים שהציעו לבדוק עץ עם מחלקה שאין לה אופרטור "קטן מ-", ולבדוק שזה גורם לחרגייה. הבעיה היא שזה לא גורם לחרגייה – זה גורם לשגיאת קומפילציה, כך שאי-אפשר לבדוק את זה ע"י CHECK_THROWS. בדומה לכך, יש סטודנטים שרצו לבדוק הכנסה של מספר לעץ של מחרוזת – גם זה יגרום לשגיאת קומפילציה ולא לחרגייה.

```

#include <iostream>
#include "badkan.hpp"
#include "Tree.hpp"
using namespace std;

struct Person {
    string name;
    int age;

    // compare by age
    bool operator< (const Person& other) {
        return age < other.age;
    }

    // for CHECK_EQUAL
    bool operator==(const Person& other) {
        return age==other.age && name==other.name;
    }
};

int main() {
    ariel::Tree<int> itree;
    ariel::Tree<string> stree;
    ariel::Tree<Person> ptree;
    badkan::TestCase testcase("Binary tree");

testcase
    .setname("Tree of string, left only")
    .CHECK_OK (stree.insert("eee"))
    .CHECK_OK (stree.insert("ddd"))
    .CHECK_OK (stree.insert("ccc"))
    .CHECK_OK (stree.insert("bbb"))
    .CHECK_OK (stree.insert("aaa"))
    .CHECK_OK (stree.left("eee"), string{"ddd"})
    .CHECK_OK (stree.left("ddd"), string{"ccc"})
    .CHECK_OK (stree.left("ccc"), string{"bbb"})
    .CHECK_OK (stree.left("bbb"), string{"aaa"})
    .CHECK_THROWS(stree.left("aaa"))
    .CHECK_THROWS(stree.left("xxx"))
    ;

testcase
    .setname("Tree of int, right only")
    .CHECK_OK (itree.insert(1))

```

```
.CHECK_OK (itree.insert(2))
.CHECK_OK (itree.insert(3))
.CHECK_OK (itree.insert(4))
.CHECK_OK (itree.insert(5))
.CHECK_THROWS(itree.left(1))
.CHECK_THROWS(itree.left(2))
.CHECK_THROWS(itree.left(3))
.CHECK_THROWS(itree.left(4))
.CHECK_THROWS(itree.left(5))
.CHECK_THROWS(itree.left(6))
;
```

```
Person pa{"a",55}, pb{"b",22}, pc{"c",88}, pd{"d",11}, pe{"e",33},
pf{"f",77}, pg{"g",99};
```

```
testcase
```

```
.setname("Balanced tree of custom class (Person), ordered by age")
.CHECK_OK (ptree.insert(pa))
.CHECK_OK (ptree.insert(pb))
.CHECK_OK (ptree.insert(pc))
.CHECK_OK (ptree.insert(pd))
.CHECK_OK (ptree.insert(pe))
.CHECK_OK (ptree.insert(pf))
.CHECK_OK (ptree.insert(pg))
.CHECK_EQUAL(ptree.left(pa), pb)
.CHECK_EQUAL(ptree.left(pb), pd)
.CHECK_EQUAL(ptree.left(pc), pf)
.CHECK_THROWS(ptree.left(pd))
.CHECK_THROWS(ptree.left(pe))
.CHECK_THROWS(ptree.left(pf))
.CHECK_THROWS(ptree.left(pg))
```

```
.print();
```

```
}
```

שאלה 6 [22 נק']

הגדירו תבנית (template) של מחלקה בשם `matrix` המייצגת מטריצה. יש לממש את ה-`template` בשם כך שניתן יהיה להריץ בעזרתו את התוכנית הראשית ללא שגיאות. המחלקה צריכה לתמוך בפעולות הבאות:

- איתחול (בניה) מתוך וקטור של וקטורים. חתימת הבנאי:
`Matrix(const std::vector<std::vector<T>>& V);`
 - הדפסת מטריצה בעזרת אופרטור הפלט;
 - חיבור שתי מטריצות באותו גודל בעזרת אופרטור `+`;
 - כפל מטריצה בוקטור בעזרת אופרטור `*`.
- הגדרת מכפלת מטריצה בוקטור: נתונה מטריצה `KxM` ווקטור `Mx1`. המכפלה שלהם הינה מטריצה/וקטור בגודל `Kx1`. האיבר ה-`j` הינו המכפלה של השורה ה-`j` במטריצה בוקטור הנתון.

הערות:

- בנוסף לפונקציות הכתובות למעלה, יש לממש כל פונקציה נוספת הדרושה כדי שהתוכנית תעבוד.
- בכל מצב של קלט לא תקין, יש לזרוק חריגה.

```
int main() {
    std::vector<std::vector<int>> Mat {{1,2,3},{4,5,6},{7,8,9}};
    Matrix<int> a (Mat); // constructs a matrix from vector of vectors
    Matrix<int> b ( {
        {4, 5, 6},
        {9, 0, 1},
        {7, 8, 7} });
    std::cout << "a: \n" << a;
    std::cout << "b: \n" << b;
    std::cout << "a + b: \n" << a+b; // should print:
        // 5 7 9
        // 13 5 7
        // 14 16 16
    Matrix<int> d ( {
        {1, 2},
        {4, 5},
        {7, 8} });
    std::vector<int> d_vector = {1, 2};
    std::cout << "d * d_vector: \n" << d * d_vector; // should print:
        // 5
        // 14
        // 23

    return 0;
}
```

פתרון אפשרי בעמוד הבא. מפתח ניקוד:
סעיף א [11 נק']: כותרות נכונות לכל השיטות;
סעיף ב [11 נק']: מימושים נכונים ויעילים לכל השיטות.

```

// Matrix.hpp
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <initializer_list>

template<typename T> class Matrix;

template<typename T>
std::ostream& operator<<(std::ostream&, const Matrix<T>& );

template<typename T>
Matrix<T> operator+(const Matrix<T>& , const Matrix<T>& );

template<typename T>
Matrix<T> operator*(const Matrix<T>& , const std::vector<T>& );

template<typename T>
Matrix<T> operator*(const Matrix<T>& , const Matrix<T>& );

// Class definition
template<typename T>
class Matrix {
    friend std::ostream& operator<< <>(std::ostream& , const Matrix<T>&);
    friend Matrix operator+ <>(const Matrix& , const Matrix& );
    friend Matrix operator* <>(const Matrix& , const std::vector<T>& );
    friend Matrix operator* <>(const Matrix& , const Matrix& );

public:
    Matrix(size_t r, size_t c);
    Matrix(const std::vector<std::vector<T>>&);
    Matrix& operator=(const Matrix& );

private:
    size_t rows;
    size_t cols;
    std::vector<std::vector<T>> data;
};

template<typename T>
std::ostream& operator<<(std::ostream& out, const Matrix<T>& m) {
    for (const auto& row : m.data) {
        for (const auto& element : row)
            out << element << '\t';
        out << '\n';
    }
}

```

```

    }
    return out;
}

```

```

template<typename T>
Matrix<T>::Matrix(size_t r, size_t c) : rows(r), cols(c) {

    data.reserve(r);
    for (auto row : data)
        row.reserve(c);
}

```

```

template< typename T>
Matrix<T>::Matrix(const std::vector<std::vector<T>>& V){

    rows=V.size();
    cols=V.at(0).size();
    data = V;
}

```

```

template<typename T>
Matrix<T> operator+(const Matrix<T>& left, const Matrix<T>& right) {

    if ((right.rows != left.rows) || (right.cols != left.cols)){
        throw std::range_error("matrix rows/cols is out of range");
    }

    Matrix<T> result (left.rows, left.cols);

    std::vector<T> temp;

    for (size_t i = 0; i < left.rows; i++) {
        temp.clear();
        auto lvec = left.data.at(i);
        auto rvec = right.data.at(i);
        temp.resize(lvec.size());
        std::transform(lvec.begin(), lvec.end(), rvec.begin(),
temp.begin(), std::plus<T>());
        result.data.push_back(temp);
    }

    return result;
}

```

```

template<typename T>
Matrix<T> operator*(const Matrix<T>& left, const std::vector<T>& right)
{

    if (right.rows != left.cols){
        throw std::range_error("matrix rows/cols is out of range");
    }

    Matrix<T> result(1, left.rows);
}

```

```

std::vector<T> temp;

for (size_t i = 0; i < left.rows; i++) {
    auto vec = left.data.at(i);
    int sum = 0;

    for (size_t index = 0; index < left.cols; index++) {
        sum += vec.at(index) * right.at(index);
    }
    temp.clear();
    temp.push_back(sum); // to make it vector with one element
    result.data.push_back(temp); // to make it our vectors of
vectors
}
return result;
}

```

שאלה 7 [22 נק']

כיתבו מחלקה בשם Money, המייצגת סכום-כסף מסוים במטבע מסוים. המחלקה צריכה לאפשר חיבור של סכומי-כסף במטבעות שונים, תוך המרה אוטומטית של יחידות.

שער-החליפין של כל מטבע, בשקלים, נקבע בתחילת התוכנית.

מצורפת תוכנית דוגמה. עליכם לממש את כל הפונקציות הדרושות כדי שהתוכנית תעבוד בהתאם להערות המופיעות בגוף הקוד. אין צורך לממש פונקציות נוספות. הערות:

- אין צורך להתייחס לשגיאות עיגול של מספרים ממשיים בפלט.
- עליכם לכתוב שני קבצים: Money .hpp ו-Money .cpp.

```
#include <iostream>
using namespace std;
#include "Money.hpp"
using ariel::Money;

int main() {
    // Set the exchange rates in shekels:
    Money::set_rate("ILS", 1);
    Money::set_rate("USD", 4);
    Money::set_rate("EUR", 6);

    // Define amounts and do calculations:
    Money shekel1(1, "ILS");
    Money dollar3(3, "USD");
    Money sum = shekel1 + dollar3;
    cout << sum << endl; // 13 ILS
    cout << (dollar3 + Money(1, "EUR")) << endl; // 4.5 USD
    (sum += Money(2, "EUR")) += Money(0.5, "ILS");
    cout << sum << endl; // 25.5 ILS
    // Money(1, "XXX"); // throws an exception
}
```

פתרון אפשרי בעמוד הבא. **מפתח ניקוד:**

- סעיף א [11 נק']. קובץ הכותרת;
- סעיף ב [11 נק']. קובץ המימוש.

מלוא הנקודות ניתנו רק לפתרון קצר יעיל וכללי, למשל פתרון ששמר את שער-החליפין ב-map באופן המאפשר להוסיף מטבעות נוספים (מאפשר קריאה וכתובה בשורה אחת), במקום לכתוב פקודת תנאי ארוכה עם 3*3 מקרים.


```

/*****/
/**** Money.hpp ****/
/*****/

#include <string>
#include <map>
#include <iostream>
using std::string, std::map, std::endl, std::ostream, std::ifstream;

namespace ariel{

class Money {
    double amount;
    string currency;
    double rate;

    static map<string, double> map_currency_to_rate;

public:
    Money(double amount, string currency): amount(amount), currency(currency) {
        rate = map_currency_to_rate.at(currency); // throws exception if not found
    }

    friend Money operator+(const Money& a, const Money& b);
    friend Money& operator+=(Money& a, const Money& b);
    friend ostream& operator<< (ostream& out, const Money& m);

    static void set_rate(string currency, double rate) {
        map_currency_to_rate[currency] = rate;
    }
};

/*****/
/**** Money.cpp ****/
/*****/

#include "Money.hpp"

namespace ariel{

Money operator+(const Money& a, const Money& b) {
    double amount = a.amount + b.amount*b.rate/a.rate;
    return Money(amount, a.currency);
}

Money& operator+=(Money& a, const Money& b) {
    a.amount += b.amount*b.rate/a.rate;
    return a;
}

ostream& operator<< (ostream& out, Money m) {
    return (out << m.amount << " " << m.currency) << endl;
}

map<string, double> Money::map_currency_to_rate{};

}

```

שאלה 8 - מענקים

א. האם השתמשנו בבדיקות שלכם באחת המטלות? אם כן אנא ציינו באיזו מטלה בדיוק.

[3 נקודות]

ב. האם זכיתם באחד משלושת המקומות הראשונים בתחרות בול-פגיעה? אם כן ציינו באיזה מקום.

[4 נקודות למקום ראשון, 3 נקודות למקום שני, 2 נקודות למקום שלישי]

ג. האם הודענו לכם שנשתמש בפתרון שלכם למטלה 6 בשנה הבאה?

[5 נקודות]