

Υπερφόρτωση τελεστών

#6

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Άρτα)

Γκόγκος Χρήστος

Τελεστές

- Υπάρχουν πολλοί διαθέσιμοι τελεστές (+, -, *, /, ==, !=, <<, >>) που λειτουργούν με τους ενσωματωμένους τύπους (π.χ. `int`, `double`).
- Μπορούμε να φανταστούμε ότι οι τελεστές αυτοί υλοποιούνται με κλήσεις συναρτήσεων που γίνονται αυτόματα από τη C++:
 - Για παράδειγμα, η εντολή:
`int x = 1 + 2;`
 - Μπορεί να αντικατασταθεί αυτόματα από μια κλήση συνάρτησης όπως η ακόλουθη:
`int x = operator+(1,2);`
 - Με το ακόλουθο πρωτότυπο:
`int operator+(int p1, int p2); /* επιστρέφει το άθροισμα των
p1 και p2 */`

Τελεστές

- Ένα ακόμα παράδειγμα:

```
double var = 1.1;  
double x = 4.3 * 2.1 - var;
```

- Θα μπορούσε να αντικατασταθεί αυτόματα από τις εξής κλήσεις συναρτήσεων:

```
double x = operator-(operator*(4.3, 2.1), var);
```

- Με τα ακόλουθα πρωτότυπα:

```
double operator*(double p1, double p2);  
double operator-(double p1, double p2);
```

- Η C++ υποστηρίζει την υπερφόρτωση τελεστών που επιτρέπει σε γνώριμους τελεστές, όπως το +, να χρησιμοποιούνται με τύπους ορισμένους από τον χρήστη (όπως είναι τα αντικείμενα).

Παράδειγμα κίνητρο

- Παράδειγμα 1

- Παρατηρήστε τη χρήση των αριθμητικών τελεστών στο ακόλουθο παράδειγμα:

```
int x = 3, y = 6, z;  
float a=3.4, b = 2.1, c;  
z = x + y;  
c = a / b;
```

- Έστω ότι επιθυμούμε να πραγματοποιούμε πράξεις με αντικείμενα Fraction με τον ίδιο γνώριμο τρόπο:

```
1/2 + 3/4;  
2/3 - 1/3;
```

- Θα μπορούσαμε να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιώντας την κλάση Fraction ως εξής;

```
Fraction f1(1,2), f2(3,4), f3;  
f3 = f1 + f2; /* θα το δεχθεί ο μεταγλωττιστής; */
```

- Θα πρέπει να είναι σαφές ότι το παραπάνω δεν έχει νόημα για τον μεταγλωττιστή απευθείας. Το Fraction είναι ένας τύπος που έχει οριστεί από τον χρήστη. Πώς θα μπορούσε να γνωρίζει ο υπολογιστής περί κοινών παρονομαστών κ.λπ.;
- Ωστόσο, θα ήταν καλό να μπορούσαμε να χρησιμοποιούμε τα αντικείμενα Fraction με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούμε και τους άλλους αριθμητικούς τύπους (όπως το int και το double).

Παράδειγμα κίνητρο

- Παράδειγμα 2:

- Θεωρείστε την έξοδο του ακόλουθου κώδικα που γνωρίζουμε ότι είναι έγκυρη:

```
int x = 5;  
cout << x;
```

- Τι θα συμβεί όμως στην ακόλουθη περίπτωση;

```
Fraction f(3,4);  
cout << "The fraction f = " << f << endl;
```

- Πάλι, θα πρέπει να είναι σαφές ότι ο μεταγλωττιστής δεν θα μπορούσε να γνωρίζει πως το αντικείμενο Fraction θα έπρεπε να εμφανίζεται στην οθόνη.
- Μπορούμε να χρησιμοποιούμε υπερφόρτωση τελεστών για να παρέχουμε μια συνάρτηση που υλοποιεί την επιθυμητή συμπεριφορά για μια λειτουργία όπως η παραπάνω.

Υπερφόρτωση τελεστών (σύνταξη)

- Η υπερφόρτωση ενός τελεστή είναι απλά μια συνάρτηση. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να έχει τύπο επιστροφής, όνομα και λίστα παραμέτρων.
- Το όνομα της συνάρτησης υπερφόρτωσης ενός τελεστή είναι η σύνθεση της λέξης **operator** και του συμβόλου του τελεστή, για παράδειγμα:
operator+, operator++, operator<<, operator==, κ.λπ.
- Άρα, η δήλωση της υπερφόρτωσης ενός τελεστή είναι παρόμοια με μια συνάρτηση με τη λέξη operator να αποτελεί τμήμα του ονόματος της συνάρτησης:
τύποςΕπιστροφής operatorΣύμβολοΤελεστή(λίστα παραμέτρων);
- Παράδειγμα:
 - Η κλάση string έχει υπερφορτωμένο τον τελεστή << έτσι ώστε να μπορεί να παράγει έξοδο λεκτικών χρησιμοποιώντας το cout. Ο μεταγλωττιστής θα καλεί αυτόματα τη συνάρτηση operator<<() όταν χρησιμοποιούμε τον τελεστή << ή θα μπορούμε να καλούμε τη συνάρτηση ρητά.
- Δείτε το example1.cpp

Λεπτομέρειες σχετικά με την υπερφόρτωση τελεστών (1/2)

- Η υπερφόρτωση τελεστών έχει τους ακόλουθους περιορισμούς:
 - Η υπερφόρτωση ενός τελεστή δεν αλλάζει την προτεραιότητά του.
 - $a + b * c$ θα είναι πάντα ισοδύναμο με $a + (b * c)$
 - Η υπερφόρτωση ενός τελεστή δεν αλλάζει την προσεταιριστικότητά του.
 - $a + b + c$ θα είναι πάντα ισοδύναμο με $(a + b) + c$
 - Η υπερφόρτωση ενός τελεστή δεν μπορεί να αλλάξει την πληθικότητα του (δηλαδή, τον αριθμό των τελεστών του)
 - Η συνάρτηση που πραγματοποιεί το $a+b$ θα έχει πάντα 2 παραμέτρους, δεν γίνεται να γίνει η πράξη $a+b+c$ στη συνάρτηση.
 - Δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστούν νέοι τελεστές, μόνο νέες εκδόσεις των ήδη υπαρχόντων.
 - Η λειτουργία των τελεστών για τους ενσωματωμένους τύπους δεν αλλάζει.

Λεπτομέρειες σχετικά με την υπερφόρτωση τελεστών (2/2)

- Ορισμένοι τελεστές μπορούν να γραφούν ως συναρτήσεις μέλη μιας κλάσης.
- Ορισμένοι τελεστές μπορούν να γραφούν ως απλές συναρτήσεις, εκτός κλάσης.
 - Συχνά χρησιμοποιείται η δεσμευμένη λέξη friend σε αυτές τις περιπτώσεις.
- Ορισμένοι τελεστές μπορούν να γραφούν και με τους δύο τρόπους και είναι επιλογή του προγραμματιστή.
- Ένας δυαδικός τελεστής έχει δύο ορίσματα (π.χ. $f1+f2$).
 - Αν γραφεί ως απλή συνάρτηση (που δεν είναι συνάρτηση μέλος της κλάσης), και οι δύο τελεστέοι θα πρέπει να στέλνονται ως παράμετροι, άρα θα πρόκειται για μια συνάρτηση με δύο παραμέτρους.
 - Αν γραφεί ως συνάρτηση μέλος της κλάσης, ο πρώτος τελεστέος θα είναι το καλών αντικείμενο, και ο άλλος τελεστέος θα στέλνεται ως παράμετρος, άρα θα πρόκειται για συνάρτηση με μια παράμετρο.
- Ένας μοναδιαίος τελεστής έχει ένα τελεστέο (π.χ. $f++$).
 - Αν γραφεί ως απλή συνάρτηση (που δεν είναι συνάρτηση μέλος της κλάσης), ο τελεστέος θα στέλνεται ως παράμετρος.
 - Αν γραφεί ως συνάρτηση μέλος της κλάσης, η συνάρτηση δεν θα δέχεται παράμετρο καθώς θα επενεργεί στο καλών αντικείμενο.

Υπερφόρτωση αριθμητικών τελεστών (1/3)

- Επίδειξη της πρόσθεσης κλασμάτων υπερφορτώνοντας τον τελεστή `+`.
 - Επιθυμούμε να επιτύχουμε το:
`Fraction f1, f2(1,2), f3(3,4);`
`f1 = f2 + f3;`
 - Η δεύτερη σειρά του παραπάνω κώδικα μεταφράζεται σε:
`f1 = f2.operator+(f3);` // υπερφόρτωση συνάρτησης μέλους

ή

`f1 = operator+(f2,f3);` // υπερφόρτωση απλής συνάρτησης

Υπερφόρτωση αριθμητικών τελεστών (2/3)

- Υπερφόρτωση του + **με συνάρτηση μέλος**. Θα πρέπει να προσθέσουμε την ακόλουθη συνάρτηση στη δήλωση της κλάσης Fraction:

```
Fraction operator+(const Fraction& f) const;
```

- Η δήλωση (υλοποίηση) της συνάρτησης μέλους θα είναι:

```
Fraction Fraction::operator+(const Fraction& f) const {  
    Fraction r;  
    r.numerator = (numerator * f.denominator)  
                  + (f.numerator * denominator);  
    r.denominator = (denominator * f.denominator);  
    return r;  
}
```

https://github.com/chgogos/oop/tree/master/various/COP3330/lect6/fraction_member_overload

Υπερφόρτωση αριθμητικών τελεστών (3/3)

- Υπερφόρτωση του + **με απλή συνάρτηση**. Θα πρέπει να ορίσουμε τη συνάρτηση ως φίλη της κλάσης Fraction έτσι ώστε να επιτραπεί η πρόσβαση στα ιδιωτικά μέλη της κλάσης:

```
friend Fraction operator+(const Fraction &f1, const Fraction &f2);
```

- Η δήλωση (υλοποίηση) της συνάρτησης:

```
Fraction operator+(const Fraction &f1, const Fraction &f2) {  
    Fraction r;  
    r.numerator = (f1.numerator * f2.denominator) + (f2.numerator * f1.denominator);  
    r.denominator = f1.denominator * f2.denominator;  
    return r;  
}
```

https://github.com/chgogos/oop/tree/master/various/COP3330/lect6/fraction_alone_overload

Υπερφόρτωση συγκριτικών τελεστών

- Οι συγκριτικοί τελεστές, επίσης, μπορούν να υπερφορτωθούν είτε μέσω απλών συναρτήσεων είτε μέσω συναρτήσεων μελών.
 - Η συνάρτηση Equals είχε γραφεί ως εξής:
- Η συνάρτηση αυτή μπορεί να γραφεί υπερφορτώνοντας τον τελεστή ==
- Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κλήσεις των συναρτήσεων για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις:

```
Fraction f1, f2;  
if (Equals(f1,f2)) cout << "Equals";
```

vs.

```
Fraction f1, f2;  
if (f1==f2) cout << "Equals";
```

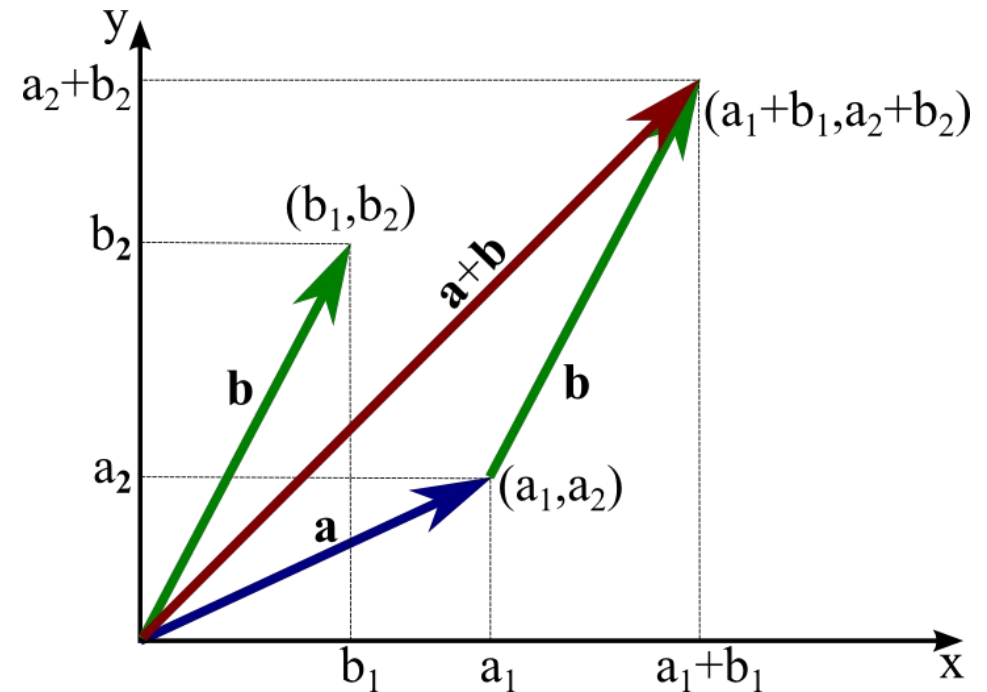
Υπερφόρτωση συγκριτικών τελεστών

- Για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλοι οι συγκριτικοί τελεστές, θα χρειαστεί να υπερφορτώσουμε και τους 6:
 - `operator==`
 - `operator!=`
 - `operator<`
 - `operator>`
 - `operator<=`
 - `operator>=`
- Εναλλακτικά μπορούν να υπερφορτωθούν μόνο οι `operator==` και `operator<` και να συμπληρωθεί:

```
#include <utility>
using namespace std::rel_ops;
```

Άσκηση #1 (υπερφόρτωση τελεστών): Εκφώνηση

- Να υλοποιήσετε μια κλάση `Vector2D` που να αναπαριστά ένα διάνυσμα στο δισδιάστατο χώρο με συντεταγμένες x και y τύπου `double`
- Η `Vector2D` να περιλαμβάνει κατασκευαστή για αρχικοποίηση των συντεταγμένων και συνάρτηση μέλος `print()` για την εκτύπωση του διανύσματος στη μορφή (x, y)
- Να υλοποιηθεί υπερφόρτωση του τελεστή `+` ώστε να επιτρέπει την πρόσθεση δύο διανυσμάτων (π.χ. $(2,3) + (1,4) = (3,7)$), με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα δεξιά)
- Να υλοποιηθεί υπερφόρτωση του τελεστή `++` (μοναδιαία προαύξηση) ώστε να αυξάνει και τις δύο συντεταγμένες κατά 1
- Στη συνάρτηση `main()` να δημιουργηθούν δύο αντικείμενα της κλάσης, να γίνουν πράξεις πρόσθεσης και μοναδιαίας αύξησης, και να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με την `print()`
- Πως θα μπορούσατε να υλοποιήσετε εναλλακτικά την υπερφόρτωση του τελεστή `+`;



https://mathinsight.org/image/vector_2d_add

Άσκηση #1: Λύση

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Vector2D {
private:
    double x, y;
public:
    Vector2D(double x_val = 0.0, double y_val = 0.0) : x(x_val), y(y_val) {}
    Vector2D operator+(const Vector2D& other) const {
        return Vector2D(x + other.x, y + other.y);
    }
    Vector2D& operator++() {
        ++x;
        ++y;
        return *this;
    }
    void print() const { cout << "(" << x << ", " << y << ")" << endl; }
};

int main() {
    Vector2D v1(2, 3); Vector2D v2(1, 4);
    Vector2D v3 = v1 + v2;
    ++v3;
    cout << "v1 = "; v1.print();
    cout << "v2 = "; v2.print();
    cout << "v3 = "; v3.print();
    return 0;
}
```

v1 = (2, 3)
v2 = (1, 4)
v3 = (4, 8)

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect6/exercise1.cpp>
https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect6/exercise1_alt.cpp

Υπερφόρτωση τελεστών stream (1/4)

- Ο τελεστής << (stream insertion=εισαγωγή ροής) και ο τελεστής >> (stream extraction=εξαγωγή ροής) δεν λειτουργούν αυτόματα για αντικείμενα νέων κλάσεων.
- Θα πρέπει να προστεθούν οι συναρτήσεις που πραγματοποιούν υπερφόρτωση των συγκεκριμένων τελεστών εφόσον επιθυμούμε αυτή τη λειτουργικότητα για τις κλάσεις που αναπτύσσουμε.
- Για παράδειγμα:
 - Στην κλάση string ο τελεστής << είναι υπερφορτωμένος ως εξής:
`ostream& operator<<(ostream &os, const string& s);`
 - Ωστόσο, τίθενται ορισμένα ερωτήματα:
 - Γιατί η πρώτη παράμετρος είναι ostream&;
 - Γιατί η πρώτη παράμετρος δεν είναι const;
 - Γιατί η συνάρτηση επιστρέφει ένα ostream&, δεν θα έπρεπε να είναι void;
 - Η υπερφορτωμένη συνάρτηση είναι απλή συνάρτηση, θα μπορούσε να είναι συνάρτηση μέλος;

Υπερφόρτωση τελεστών stream (2/4)

- Γιατί η πρώτη παράμετρος είναι ostream&?
 - Το cout είναι ένα αντικείμενο τύπου ostream. Καθώς η κλήση έχει τη μορφή cout << str, η πρώτη παράμετρος στην υπερφόρτωση είναι η cout και η δεύτερη η str.
- Γιατί η πρώτη παράμετρος δεν είναι const;
 - Το cout αναπαριστά την έξοδο στην οθόνη του Η/Υ. Αλλάζοντας την έξοδο στην οθόνη σημαίνει ότι η cout θα πρέπει να μπορεί να αλλάξει, άρα δεν μπορεί να είναι const.
- Γιατί η συνάρτηση επιστρέφει ένα ostream&, δεν θα έπρεπε να είναι void;
 - Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε να μπορούν να υποστηριχθούν διαδοχικές κλήσεις (cascading calls). Για παράδειγμα:
 - cout << s1 << s2 << s3; ➔ operator<<(cout, s1) << s2 << s3; ➔ cout << s2 << s3; ➔ operator<<(cout, s2) << s3; ➔ cout << s3; ➔ operator<<(cout, s3) ➔ cout; ➔ ;

Υπερφόρτωση τελεστών stream (3/4)

- Η υπερφορτωμένη συνάρτηση είναι απλή συνάρτηση, θα μπορούσε να είναι συνάρτηση μέλος;
 - Όχι, διότι η πρώτη παράμετρος είναι τύπου ostream, το καλών αντικείμενο θα έπρεπε να είναι ostream (συνεπώς η υπερφορτωμένη συνάρτηση θα έπρεπε να ήταν συνάρτηση μέλος της κλάσης ostream). Καθώς η κλάση ostream δεν έχει αναπτυχθεί από εμάς αλλά αποτελεί τμήμα της τυπικής βιβλιοθήκης της γλώσσας, αυτό δεν μπορεί να γίνει.

Υπερφόρτωση τελεστών stream (4/4)

- Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα prototypes για την υπερφόρτωση των τελεστών εισαγωγής και εξαγωγής στην κλάση Fraction.

```
friend ostream& operator<<(ostream& os, const Fraction& f);  
friend istream& operator>>(istream& is, Fraction& f);
```

- Και μια πιθανή υλοποίησή τους:

```
ostream &operator<<(ostream &os, const Fraction &f) {  
    os << f.numerator << '/' << f.denominator;  
    return os;  
}  
istream &operator>>(istream &is, Fraction &f) {  
    char slash;  
    is >> f.numerator >> slash >> f.denominator;  
    return is;  
}
```

- Εκτελέστε το main2.cpp.

Άσκηση #2 (υπερφόρτωση <<): Εκφώνηση

- Να υλοποιήσετε μια κλάση Player που αναπαριστά έναν χαρακτήρα ενός βιντεοπαιχνιδιού με μέλη name (όνομα χαρακτήρα), color (χρώμα κουστουμιού χαρακτήρα) και score (σκορ).
- Να υπερφορτωθεί ο τελεστής << έτσι ώστε να είναι δυνατή η εμφάνιση ενός αντικειμένου Player με το cout σε μορφή:

Name: <name>, Color: <color>, Score: <score>

- Στη main() να δημιουργηθούν οι ακόλουθοι δύο χαρακτήρες και να εμφανιστούν με το cout:
 - Player("Mario", "red", 1500)
 - Player("Luigi", "green", 1200)

Άσκηση #2: Λύση

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Player {
private:
    string name;
    string color;
    int score;

public:
    Player(string n, string c, int s) : name(n), color(c), score(s) {}
    friend ostream& operator<<(ostream& out, const Player& p) {
        out << "Name: " << p.name << ", Color: " << p.color
            << ", Score: " << p.score;
        return out;
    }
};

int main() {
    Player p1("Mario", "Red", 1500);
    Player p2("Luigi", "Green", 1200);
    cout << p1 << endl;
    cout << p2 << endl;
    return 0;
}
```

Name: Mario, Color: Red, Score: 1500
Name: Luigi, Color: Green, Score: 1200

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect6/exercise2.cpp>

Ερωτήσεις σύνοψης

- Τι είναι η υπερφόρτωση τελεστών;
- Πως μπορεί να γίνει η υπερφόρτωση του τελεστή << σε μια κλάση που αναπτύσσουμε;
- Αναφέρατε τρεις περιορισμούς της υπερφόρτωσης τελεστών.
- Αναφέρατε δύο πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει η υπερφόρτωση του τελεστή +.

Απαντήσεις στις ερωτήσεις σύνοψης

- Τι είναι η υπερφόρτωση τελεστών;
 - Η υπερφόρτωση τελεστών είναι η δυνατότητα να ορίζουμε νέα συμπεριφορά για τελεστές όπως το + όταν εφαρμόζονται σε αντικείμενα μιας κλάσης
- Πως μπορεί να γίνει η υπερφόρτωση του τελεστή << σε μια κλάση που αναπτύσσουμε;
 - Η υπερφόρτωση του τελεστή << γίνεται με ορισμό μιας φίλης συνάρτησης της κλάσης που δέχεται ως ορίσματα ένα αντικείμενο ostream και ένα αντικείμενο της κλάσης
- Αναφέρατε τρεις περιορισμούς της υπερφόρτωσης τελεστών.
 - Δεν μπορούν να υπερφορτωθούν νέοι τελεστές, δεν μπορεί να αλλάξει η προτεραιότητα των τελεστών, δεν μπορεί να αλλάξει το πλήθος των τελεστών
- Αναφέρατε δύο πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει η υπερφόρτωση του τελεστή +
 - Μπορεί να υλοποιηθεί ως συνάρτηση μέλος της κλάσης ή ως φίλη συνάρτηση της κλάσης

Αναφορές

- <http://www.cs.fsu.edu/~xyuan/cop3330/>