

Templates (πρότυπα)

#16

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών (Άρτα)

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Γκόγκος Χρήστος

Πρότυπα

- Τα πρότυπα επιτρέπουν την περιγραφή λειτουργιών που μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλαπλούς τύπους δεδομένων.
 - Γενερικός προγραμματισμός (generic programming)
 - Επαναχρησιμοποίηση κώδικα
- Πρότυπα συναρτήσεων (function templates)
 - Επιτρέπουν τον ορισμό λογικής με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η ίδια αλγοριθμική λογική να μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλαπλούς τύπους δεδομένων.
- Πρότυπα κλάσεων (class templates)
 - Επιτρέπουν τον ορισμό generic προτύπων κλάσεων που δίνουν τη δυνατότητα προσάρτησης συγκεκριμένων τύπων δεδομένων έτσι ώστε να προκύπτουν νέες κλάσεις.

Πρότυπα συναρτήσεων

- Οι συναρτήσεις της C++ λειτουργούν με συγκεκριμένους τύπους δεδομένων. Συχνά προκύπτει η ανάγκη του να γράψουμε διαφορετικές συναρτήσεις για να πραγματοποιηθεί η ίδια λειτουργία με διαφορετικούς τύπους δεδομένων.

```
int maximum(int a, int b, int c)
{
    int max = a;
    if (b>max) max = b;
    if (c>max) max = c;
    return max;
}
```

```
float maximum(float a, float b, float c)
{
    float max = a;
    if (b>max) max = b;
    if (c>max) max = c;
    return max;
}
```

- Η λογική είναι ακριβώς η ίδια, αλλά ο τύπος δεδομένων είναι διαφορετικός.
- Τα πρότυπα συναρτήσεων επιτρέπουν στη λογική να γραφεί μια φορά και να χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους δεδομένων (generic functions).

Πρότυπα συναρτήσεων

- Generic συνάρτηση εύρεσης μεγαλύτερης τιμής από τρεις τιμές.

```
template <class T>
T maximum(T a, T b, T c)
{
    T max = a;
    if (b>max) max = b;
    if (c>max) max = c;
    return max;
}
```

ή

```
template <typename T>
T maximum(T a, T b, T c)
{
    T max = a;
    if (b>max) max = b;
    if (c>max) max = c;
    return max;
}
```

- Ένα πρότυπο συνάρτησης δεν αποτελεί μια πλήρως ορισμένη συνάρτηση για το μεταγλωττιστή, καθώς ο μεταγλωττιστής χρειάζεται να γνωρίζει τον πραγματικό τύπο δεδομένων για να δημιουργήσει τον αντίστοιχο κώδικα. Συχνά, πρότυπα συναρτήσεων τοποθετούνται σε αρχεία επικεφαλίδων (.h ή .hpp) για να συμπεριληφθούν σε προγράμματα που χρησιμοποιούν τη συνάρτηση. Ο μεταγλωττιστής δημιουργεί τον κώδικα της συνάρτησης με βάση την πραγματική χρήση του προτύπου συνάρτησης.

Χρήση προτύπων συνάρτησης

- Από τη στιγμή που ένα πρότυπο συνάρτησης έχει οριστεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί περνώντας παραμέτρους πραγματικών τύπων.

```
template <class T>
T maximum(T a, T b, T c)
{
    T max = a;
    if (b>max) max = b;
    if (c>max) max = c;
    return max;
}
int i1, i2, i3;
int m = maximum(i1, i2, i3);
```

- Η κλήση θα προκαλέσει την κλήση του προτύπου συνάρτησης με $T=int$. Η δε τιμή επιστροφής της συνάρτησης θα είναι int .

Ένα ακόμα παράδειγμα

```
template <class T>
void printArray(const T *a, const int count)
{
    for(int i=0;i<count;i++)
        cout << array[i] << " ";
    cout << endl;
}
...
char cc[100];
int ii[100];
double dd[100];
myclass xx[100]; // μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και τύπος ορισμένος από το χρήστη
...
printArray(cc,100);
printArray(ii,100);
printArray(dd,100);
printArray(xx,100);
```

Χρήση προτύπου συνάρτησης

- Μπορεί οποιοσδήποτε τύπος ορισμένος από το χρήστη να χρησιμοποιηθεί με ένα πρότυπο συνάρτησης;
 - Όχι πάντα, μόνο οι τύποι δεδομένων που υποστηρίζουν όλες τις λειτουργίες που χρησιμοποιούνται στη συνάρτηση.
 - Στο προηγούμενο παράδειγμα αν η κλάση `myclass` δεν έχει υπερφορτώσει τον τελεστή `<<`, τότε η συνάρτηση `printArray` δεν θα λειτουργήσει για το συγκεκριμένο τύπο δεδομένων.

Άσκηση #1: Templated function

- Γράψτε μια γενερική συνάρτηση με όνομα `index_of` που δέχεται ένα `std::vector` οποιουδήποτε τύπου, και μια τιμή στόχο, και επιστρέφει τη θέση της πρώτης εμφάνισης της τιμής στόχου ή `-1` αν δεν βρεθεί.
- Γράψτε μια δεύτερη γενερική συνάρτηση με όνομα `swap_values` που ανταλλάσσει τις τιμές δύο μεταβλητών του ίδιου τύπου.
- Στη `main()` δημιουργήστε διανύσματα δύο διαφορετικών τύπων (`int` και `std::string`), και καλέστε την `index_of` για κάθε περίπτωση και εμφανίσετε τα αποτελέσματα.
- Επίσης καλέστε μέσα από `main()` την `swap_values` για δύο τύπους δεδομένων (`int` και `float`) και εμφανίστε αποτελέσματα που να επιδεικνύουν την λειτουργία της συνάρτησης.

Άσκηση #1: Λύση

```
template <typename T>
int index_of(const std::vector<T>& vec,
const T& target) {
    for (int i = 0; i < vec.size(); ++i) {
        if (vec[i] == target) {
            return i;
        }
    }
    return -1;
}
```

```
template <typename T>
void swap_values(T& a, T& b) {
    T temp = a;
    a = b;
    b = temp;
}
```

```
int main() {
    std::vector<int> v_int = {10, 20, 30, 40, 50};
    std::vector<std::string> v_str = {"arta", "ioannina", "preveza",
                                     "igoumenitsa"};

    int idx_int = index_of(v_int, 30);
    int idx_str = index_of(v_str, std::string("preveza"));

    std::cout << "position of 30 in v_int: " << idx_int << std::endl;
    std::cout << "position of \"preveza\" in v_str: " << idx_str << std::endl;

    int a = 5, b = 9;
    std::cout << "\nbefore swap (int): a = " << a << ", b = " << b << std::endl;
    swap_values(a, b);
    std::cout << "after swap (int): a = " << a << ", b = " << b << std::endl;

    float x = 1.5f, y = 3.7f;
    std::cout << "\nbefore (float): x = " << x << ", y = " << y << std::endl;
    swap_values(x, y);
    std::cout << "after (float): x = " << x << ", y = " << y << std::endl;

    return 0;
}
```

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect16/oop16_ask1.cpp

position of 30 in v_int: 2
position of "preveza" in v_str: 2
before swap (int): a = 5, b = 9
after swap (int): a = 9, b = 5

before (float): x = 1.5, y = 3.7
after (float): x = 3.7, y = 1.5

Πρότυπα κλάσεων (class templates)

- Μερικές φορές είναι χρήσιμο να επιτρέπεται η αποθήκευση τιμών διαφορετικών τύπων σε μια κλάση.
- Δείτε τα παραδείγματα `simplelist1` και `simplelist2`

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/simplelist1.h>

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/simplelist1.cpp>

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/main_simplelist1.cpp

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/simplelist2.cpp>

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/simplelist2.cpp>

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/main_simplelist2.cpp

Λίστα 10
θέσεων με
ακεραίους

Λίστα 10
θέσεων με
ακεραίους ή
πραγματικούς

Πρότυπα κλάσεων

- Η ίδια ιδέα με τα πρότυπα συναρτήσεων εφαρμόζεται και στα πρότυπα κλάσεων.
- Δείτε το παράδειγμα `simplelist3`

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variou/COP3330/lect16/simplelist3.h>

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variou/COP3330/lect16/simplelist3.cpp>

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variou/COP3330/lect16/main_simplelist3.cpp

Πρότυπα κλάσεων

- Για να γίνει μια κλάση, πρότυπο κλάσης χρειάζεται να τοποθετηθεί στην αρχή της δήλωσης της κλάσης ο ακόλουθος κώδικας:
 - `template<class T>` ή `template<typename T>`
 - Εδώ το T είναι απλά μια παράμετρος που υποδηλώνει έναν τύπο.
 - Όταν θα δημιουργηθούν αντικείμενα της κλάσης, το T αντικαθίσταται με έναν πραγματικό τύπο.
- Για να οριστεί μια συνάρτηση μέλος της κλάσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη σύνταξη:
 - `className<T>::memberName(...){...}`
- Αντίστοιχα, για να δηλωθεί μια μεταβλητή του προτύπου κλάσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη σύνταξη:
 - `className<υπαρκτός τύπος δεδομένων> variable;`

Ένα ακόμα παράδειγμα με πρότυπο κλάσης

- Το πρότυπο MemoryCell μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιοδήποτε τύπο Object με τις ακόλουθες προϋποθέσεις:
 - Το Object να έχει κατασκευαστή χωρίς παραμέτρους.
 - Το Object να έχει κατασκευαστή αντιγραφής.
 - Το Object να έχει τελεστή αντιγραφής.
- Συμβάσεις
 - Η δήλωση μιας κλάσης προτύπου και ο ορισμός της συνήθως συνδυάζονται στο ίδιο αρχείο.
 - Δεν είναι εύκολο να διαχωριστούν διότι η συγγραφή του κώδικα γίνεται πολύπλοκη.
 - Αυτό αποτελεί διαφορετική σύμβαση σε σχέση με αυτή που ακολουθείται για άλλες κλάσεις και η οποία διαχωρίζει τη δήλωση και την υλοποίηση της κλάσης σε ξεχωριστά αρχεία.

```
template <class Object>
class MemoryCell
{
private:
    Object storedValue;

public:
    explicit MemoryCell(const Object &initialValue
= Object()) : storedValue(initialValue) {}
    const Object &read() const
    {
        return storedValue;
    }
    void write(const Object &x)
    {
        storedValue = x;
    }
};
```

Χρήση του προτύπου κλάσης

- Η κλάση MemoryCell μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκεύει τόσο πρωτογενείς τύπους όσο και τύπους κλάσεων.
- Η MemoryCell δεν είναι κλάση, αλλά είναι ένα πρότυπο κλάσης.
- Κλάσεις είναι οι:
 - MemoryCell<int>
 - MemoryCell<string>

```
#include <string>
#include <iostream>
#include "memorycell.h"

using namespace std;

int main()
{
    MemoryCell<int> m1;
    MemoryCell<string> m2("hello");
    m1.write(37);
    m2.write(m2.read() + " world");
    cout << m1.read() << endl << m2.read() << endl;
}
```

<https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect16/memorycell.h>

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect16/main_memorycell.cpp

Άσκηση #2: Templated κλάση

- Να υλοποιήσετε μια γενερική κλάση στοίβας (stack) σε C++ χρησιμοποιώντας (templates) και εσωτερική αναπαράσταση με `std::vector`.
- Η κλάση να υποστηρίζει τις βασικές λειτουργίες μιας στοίβας:
 - `push()` για εισαγωγή στοιχείου,
 - `pop()` για αφαίρεση του τελευταίου στοιχείου,
 - `top()` για ανάγνωση του τελευταίου στοιχείου χωρίς αφαίρεση,
 - και `empty()` για έλεγχο κατάστασης.
- Η δομή πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται οποιονδήποτε τύπο δεδομένων (π.χ. `int`, `double`, `std::string`).
- Στο κύριο πρόγραμμα (`main`) να δημιουργήσετε δύο στοίβες διαφορετικών τύπων και να επιδείξετε τη λειτουργία όλων των μεθόδων της κλάσης.

Άσκηση #2: Λύση

```
template <typename T>
class Stack {
    std::vector<T> data;

public:
    void push(const T& value) { data.push_back(value); }
    void pop() {
        if (!data.empty()) data.pop_back();
    }
    T top() const { return data.back(); }
    bool empty() const { return data.empty(); }
};
```

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/various/COP3330/lect16/oop16_ask2.cpp

```
int main() {
    Stack<int> s1;
    s1.push(10);
    s1.push(20);
    std::cout << "Top of int stack: " << s1.top() << "\n";
    s1.pop();
    std::cout << "After pop, top: " << s1.top() << "\n";

    Stack<std::string> s2;
    s2.push("Arta");
    s2.push("Ioannina");
    std::cout << "Top of string stack: " << s2.top() << "\n";
    s2.pop();
    std::cout << "After pop, top: " << s2.top() << "\n";

    return 0;
}
```

```
Top of int stack: 20
After pop, top: 10
Top of string stack: Ioannina
After pop, top: Arta
```


Επίλυση της άσκησης 2 με κλάσεις της βιβλιοθήκης STL

```
#include <iostream>
#include <stack>
#include <string>
#include <vector>

int main() {
    std::stack<int, std::vector<int>> s1;
    s1.push(10);
    s1.push(20);
    std::cout << "Top of int stack: " << s1.top() << "\n";
    s1.pop();
    std::cout << "After pop, top: " << s1.top() << "\n";

    std::stack<std::string, std::vector<std::string>> s2;
    s2.push("Arta");
    s2.push("Ioannina");
    std::cout << "Top of string stack: " << s2.top() << "\n";
    s2.pop();
    std::cout << "After pop, top: " << s2.top() << "\n";

    return 0;
}
```

Top of int stack: 20
After pop, top: 10
Top of string stack: Ioannina
After pop, top: Arta

https://github.com/chgogos/oop/blob/master/variuous/COP3330/lect16/oop16_ask2b.cpp

Ερωτήσεις σύνοψης

- Τι είναι τα πρότυπα συναρτήσεων (function templates);
- Τι είναι τα πρότυπα κλάσεων (class templates);
- Τι είναι ο γενερικός προγραμματισμός (generic programming);

Απαντήσεις στις ερωτήσεις σύνοψης

- Τι είναι τα πρότυπα συναρτήσεων (function templates);
 - Τα πρότυπα συναρτήσεων είναι ένα μηχανισμός της C++ που επιτρέπει τη συγγραφή μιας συνάρτησης σε γενική μορφή ώστε να λειτουργεί με οποιονδήποτε τύπο δεδομένων. Ο μεταγλωττιστής αναλαμβάνει να παράξει την κατάλληλη υλοποίηση ανάλογα με την κλήση της συνάρτησης.
- Τι είναι τα πρότυπα κλάσεων (class templates);
 - Τα πρότυπα κλάσεων είναι ένα μηχανισμός της C++ μέσω του οποίου μπορούμε να γράφουμε έναν ενιαίο ορισμό κλάσης που είναι παραμετρικός ως προς τους τύπους δεδομένων. Ο μεταγλωττιστής δημιουργεί διαφορετικές εκδόσεις της κλάσης για τους συγκεκριμένους τύπους δεδομένων κλάσης που χρησιμοποιούνται.
- Τι είναι ο γενερικός προγραμματισμός (generic programming);
 - Γενερικός προγραμματισμός είναι ο προγραμματισμός που στοχεύει στη συγγραφή κώδικα που είναι ανεξάρτητος από συγκεκριμένους τύπους δεδομένων. Η C++ υποστηρίζει τον γενερικό προγραμματισμό μέσω των προτύπων συναρτήσεων (ή συναρτήσεων με πρότυπα) και των προτύπων κλάσεων (ή κλάσεων με πρότυπα). Ο γενερικός προγραμματισμός ενισχύει την επαναχρησιμοποίηση.

Αναφορές

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