ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

Τεχνολογίες Υλοποίησης Αλγορίθμων

Χρήστος Ζαρολιάγκης

Καθηγητής
Τμήμα Μηχ/κων Η/Υ & Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Πατρών
email: zaro@ceid.upatras.gr

Εισαγωγή στη Βιβλιοθήκη Λογισμικού LEDA – 3

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο **«Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών»** έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Περιεχόμενα

- Η μέθοδος των αρχετύπων (template approach).
- Η προσέγγιση της LEDA.
- *Παράδειγμα Μελέτης:* η υλοποίηση ενός τύπου δεδομένων list.
  - Δηλώσεις (προδιαγραφές) της κλάσης $\rightarrow$ .h αρχείο
  - Υλοποίηση των μεθόδων της κλάσης $\rightarrow$ .c αρχείο

Αρχέτυπα και Προδιαγραφές κλάσης - Παράδειγμα (1/4)

```
//file: t_list.h - part A

template <class E>
class t_list
{
  public:
    // inserts in the front of the list
    void push(const E&);

    // removes first element and returns it
    void pop(E&);

    // returns first element
    const E& head() const;

    // returns the number of elements in the list
    int  size() const;

    t_list();
    t_list(const t_list<E>&);
    t_list();
```

Αρχέτυπα και Προδιαγραφές κλάσης - Παράδειγμα (2/4)

```
//file: t_list.h - part B

  private:
    struct list_elem
    {
      // local structure for representing
      // the elements of the list

      E entry;
      list_elem * succ;
      list_elem(const E& x, list_elem* s) :
                    entry(x), succ(s) {}
      friend class t_list;
    };

    list_elem * hd;  // head of list
    int         sz;  // size of list
};
```

Αρχέτυπα και Προδιαγραφές κλάσης - Παράδειγμα (3/4)

```
//file: t_list.c - part A
#include "t_list.h"

template <class E> t_list<E>::t_list()
{ hd = 0; sz = 0; }

int t_list<E>::size() const
{ return sz; }

template <class E> const E& t_list<E>::head() const
{ return hd->entry; }

template <class E> void t_list<E>::push(const E& x) {
  hd = new list_elem(x, hd);
  sz++;
}

template <class E> void t_list<E>::pop(E& y) {
  y = hd->entry;
  list_elem * p = hd;
  hd = p->succ;
  delete p; sz--;
}
```

Αρχέτυπα και Προδιαγραφές κλάσης - Παράδειγμα (4/4)

```
//file: t_list.c - part B

template <class E> t_list<E>::t_list(const t_list<E>& L)
{ // construct a copy of L
  hd = NULL;
  sz = L.sz;
  if (sz > 0) {
    hd = new list_elem(L.hd->entry,0); // first element
    list_elem * q = hd;
    for (list_elem * p = L.hd->succ; p != NULL; p = p->succ)
    { // subsequent elements
      q->succ = new list_elem(p->entry, NULL);
      q = q->succ;
    }
  }
}

template <class E> t_list<E>::t_list()
{ // destroy the list
  while (hd)
  {
    list_elem * p = hd->succ;
    delete hd;
    hd = p;
  }}
```

Χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου

- Δυναμική και κομψή για υλοποιητές και χρήστες.
- Πολλαπλασιάζει κώδικα κατά τη μεταγλώττιση (ανάλογα με το πόσες φορές χρησιμοποιείται) $\Rightarrow$ αύξηση του χρόνου μεταγλώττισης
- Ξεχωριστή μεταγλώττιση δεν είναι δυνατή: και τα δύο αρχεία t_list.h και t_list.c πρέπει να συμπεριληφθούν σε μια εφαρμογή και να μεταγλωττιστούν μαζί με την εφαρμογή. $\Downarrow$
  - Μεγάλος κώδικας και μεγάλοι χρόνοι μεταγλώττισης σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν πολλούς παραμετρικούς τύπους από μια βιβλιοθήκη.
  - Εξαναγκάζει τον υλοποιητή της βιβλιοθήκης να παρέχει δημόσια τις λεπτομέρειες της υλοποίησης (.c αρχεία).
- Η προ-μεταγλώττιση κώδικα που χρησιμοποιεί αρχέτυπα είναι προβληματική σε όλους τους μεταγλωττιστές της C++.

Η προσέγγιση της LEDA

- Κάθε παραμετρικός τύπος υλοποιείται από δύο κλάσεις:
  - *Κλάση Τύπου Δεδομένων:* κλάση για τον ΑΤΔ (π.χ. κλάση λεξικού).
  - *Κλάση Δομής Δεδομένων:* κλάση για τη δομή δεδομένων (π.χ. κλάση δυαδικού δένδρου) που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της κλάσης τύπου δεδομένων.

- Μόνο οι κλάσεις τύπων δεδομένων χρησιμοποιούν τον μηχανισμό αρχετύπων. Τα αρχεία κεφαλίδων τους βρίσκονται στον κατάλογο LEDAROOT/incl/LEDA.

- Οι κλάσεις δομών δεδομένων είναι προμεταγλωττισμένες στις βιβλιοθήκες με κώδικα αντικειμένου (object code) και συνδέονται σε προγράμματα εφαρμογών μέσω του διασυνδετή (linker) της C++.

Προμεταγλώττιση

- *Προμεταγλώττιση* μιας δομής δεδομένων είναι δυνατή μόνο αν η υλοποίησή της δεν εξαρτάται από τους πραγματικούς τύπους των παραμέτρων που ανήκουν στον παραμετρικό τύπο που υλοποιεί.
  - Η απεικόνιση της δομής δεδομένων στη μνήμη δεν πρέπει να εξαρτάται από το μέγεθος των αντικειμένων που αποθηκεύονται σε αυτήν.

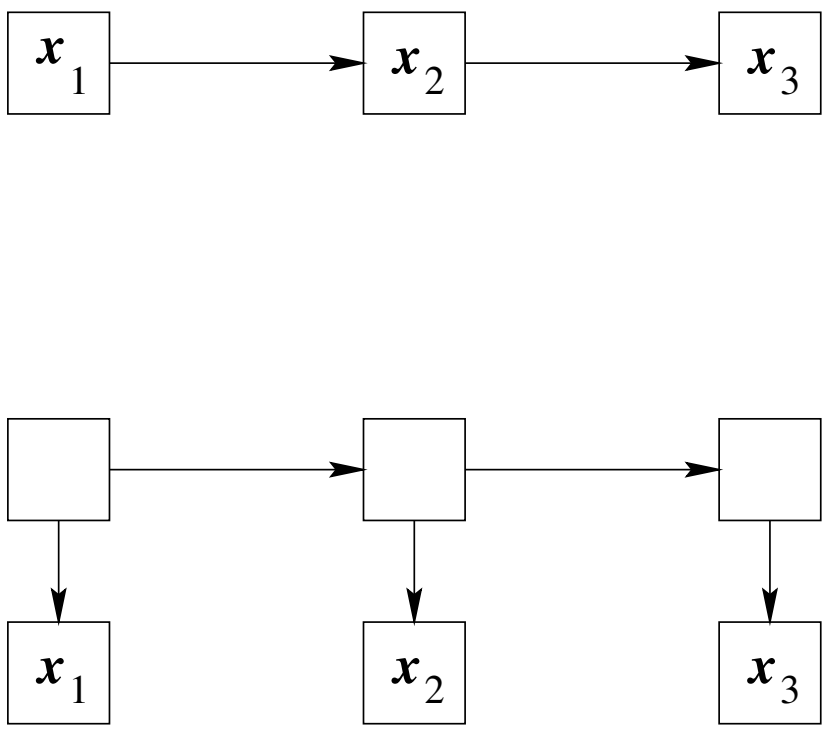
    ⇓

    Στην LEDA αυτό επιτυγχάνεται με την αποθήκευση δεικτών σε αντικείμενα (εκτός από τύπους αντικειμένων των οποίων το μέγεθος είναι μικρό, δηλ. δεν ξεπερνάει το μέγεθος ενός δείκτη).

  - Όλες οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση και των οποίων η σημασιολογία εξαρτάται από τους πραγματικούς τύπους των παραμέτρων χρησιμοποιούν τον μηχανισμό δυναμικής δέσμευσης (dynamic binding) της C++, δηλ. υλοποιούνται σαν εικονικές συναρτήσεις.

Βασικός Σχεδιασμός

- Τα πεδία δεδομένων στους περιέχοντες τύπους όλων των δομών δεδομένων είναι τύπου void∗, δηλ. του γενικευμένου τύπου δείκτη της C++. Περιέχουν δείκτες σε αντικείμενα πραγματικών τύπων παραμέτρων.
- Τα αντικείμενα ενός τύπου T δεν αποθηκεύονται άμεσα στη δομή δεδομένων, αλλά στη δυναμική μνήμη (σωρός).



Βασικός Σχεδιασμός (συνέχεια)

- Μια κλάση τύπου δεδομένων χρησιμοποιεί τον μηχανισμό αρχετύπων και παράγεται από την αντίστοιχη κλάση δομής δεδομένων (κλάση υλοποίησης).
- Χρησιμοποιείται μετατροπή τύπων (type casting) για την «γεφύρωση» μεταξύ του «άτυπου κόσμου» της κλάσης δομής δεδομένων (όλα τα δεδομένα είναι τύπου void $*$) και εκείνου της κλάσης του τύπου δεδομένων.

Παράδειγμα κλάση list_impl

*Υλοποίηση του παραμετρικού τύπου list<T> μέσω της list_impl, με χρήση δεικτών τύπου void *:*

```
//file: list_impl.h -- essentially t_list<void *>
class list_impl
{
  protected:
    list_impl();
    list_impl();

    void * head() const;
    void * pop();
    void   push(void* x);
    void   clear();
    int    size() const;

  private:
    struct list_impl_elem {
      void * entry;
      list_impl_elem * succ;
      list_impl_elem(void * x,list_impl_elem * s):entry(x),succ(s){}
      friend class list_impl;
    };

    list_impl_elem * hd;
    int              sz;
};
```

Υλοποίηση μεθόδων κλάσης list_impl

```
//file: ist_impl.c
#include "list_impl.h"

list_impl::list_impl() : hd(0), sz(0){}
list_impl:: list_impl() { clear(); }
void * list_impl::head() const { return  hd->entry; }

void list_impl::push(void * x) {
  hd = new list_impl_elem(x,hd);
  sz++;
}

void * list_impl::pop() {
  void * x =  hd->entry;
  list_impl_elem * p = hd;
  hd = p->succ;
  delete p;
  sz--;
  return x;
}

void list_impl::clear() { while (hd) pop(); }
int  list_impl::size() const { return sz; }
```

Η χρήση της list_impl

Βασικό ερώτημα: Πώς παράγεται τώρα ο τύπος list <T>;

- Η list_impl γίνεται μια *ιδιωτική* κλάση-βάσης της κλάσης list <T> και οι συναρτήσεις-μέλη της list <T> υλοποιούνται με χρήση των συναρτήσεων-μελών της κλάσης βάσης.
- Μια συνάρτηση-μέλος της list <T> με ένα όρισμα τύπου T:
  1. Αντιγράφει το όρισμα στη δυναμική μνήμη.
  2. Μετατρέπει έναν δείκτη στο αντίγραφο σε τύπο void $*$.
  3. Μεταβιβάζει τον δείκτη στην αντίστοιχη συνάρτηση της κλάσης βάσης.
- Όλες οι συναρτήσεις-μέλη της list <T> που επιστρέφουν ένα αποτέλεσμα τύπου T:
  1. Καλούν την αντίστοιχη συνάρτηση της κλάσης βάσης (η οποία επιστρέφει ένα αποτέλεσμα τύπου void $*$).
  2. Μετατρέπουν τον δείκτη σε τύπο T $*$.
  3. Επιστρέφουν τον αποαναφοροποιημένο δείκτη.

Παράδειγμα (1/3)

- Η συνάρτηση κατασκευής της list <T> κατασκευάζει μια κενή list_impl :

```
template<class T>
class list : private list_impl
{
  public:
    list() : list_impl() {}
```

- Η εντολή `L.push(x)` δημιουργεί ένα αντίγραφο του `x` στη δυναμική μνήμη (μέσω του τελεστή `new`) και μεταβιβάζει έναν δείκτη σε αυτό το αντίγραφο (με τύπο `void *`) στη συνάρτηση :

```
void push(const T& x)
{ list_impl::push((void *) new T(x)); }
```

- Επειδή η μετατροπή από `T*` σε `void*` είναι ενσωματωμένη στην C++, το «`(void *)`» μπορεί να παραληφθεί :

```
void push(const T& x)
{ list_impl::push(new T(x)); }
```

Παράδειγμα (2/3)

- Η εντολή L.head() μετατρέπει το αποτέλεσμα τύπου void* της list_impl ::head() σε έναν δείκτη τύπου T*, αποαναφοροποιεί το αποτέλεσμα και επιστρέφει το αντικείμενο σαν μια const-αναφορά.

```
const T&  head() const
{ return *(T*)list_impl::head(); }
```

- Η εντολή `L.pop(x)` μετατρέπει το, τύπου `void*`, αποτέλεσμα της `list_impl::pop()` σε έναν δείκτη τύπου `T*`, το αποαναφοροποιεί αντιγράφοντάς το στη μεταβλητή `x` και διαγράφει το αντίγραφο του που υπάρχει στη λίστα.

```
void pop(T& x)
{
    T * p = (T*)list_impl::pop();
    x = *p;
    delete p;
}
```

Παράδειγμα (3/3)

- Η συνάρτηση clear() πρώτα διαγράφει όλα τα στοιχεία της λίστας (συμπεριλαμβανομένων των συνολοστοιχείων στη δυναμική μνήμη) και μετά καλεί τη συνάρτηση list_impl::clear().

```
int size() const { return list_impl::size(); }

void clear()
{
  while (size() > 0)
    delete (T*)list_impl::pop();
       // cast absolutely necessary !

  list_impl::clear(); // not necessary
}
```

- Η συνάρτηση κατάργησης καλεί την `clear()` για να διαγράψει τα αντικείμενα που υπάρχουν στη δυναμική μνήμη (τα συνολοστοιχεία της λίστας). Η `~list_impl()` καλείται αυτόματα για να διαγράψει τη λίστα.

```
list() { clear(); }
```

Αξιολόγηση της υλοποίησης

- Σαφώς πιο πολύπλοκη από την μέθοδο αρχετύπων.
- Ο τύπος δεδομένων list <T> προσομοιώνει τον τύπο δεδομένων t_list <T>.
- Η υλοποίηση των μεθόδων του list <T> είναι σημαντικά απλούστερη.
- Μπορεί να γίνει προμεταγλώττιση της κλάσης υλοποίησης.
- Υπάρχει ασφάλεια τύπων (type safety).
- Είναι μία ολοκληρωμένη λύση.
- Γενίκευση:
  (α) ορισμός της list_impl $\equiv$ t_list <void $*$>.
  (β) ορισμός της list <T> ίσως όχι τόσο κομψός λόγω των διαφόρων μετατροπών τύπων. Αλλά, οι μετατροπές τύπων ακολουθούν έναν απλό κανόνα:
  εισερχόμενες τιμές μετατρέπονται σε void $*$ και εξερχόμενες πάλι πίσω σε T.

Πολυμορφισμός με Υποσκέλιση (Overriding)

Τι κάνουμε όταν η κλάση υλοποίησης χρειάζεται να έχει γνώση του πραγματικού τύπου των παραμέτρων της κλάσης τύπου δεδομένων;

- Π.χ.-1:
  θέλουμε να συμπεριλάβουμε μια μέθοδο print () στον τύπο λίστας που δημιουργήσαμε και θέλουμε να την υλοποιήσουμε σαν συνάρτηση-μέλος της κλάσης list_impl.
- Π.χ.-2:
  Κάθε υλοποίηση ενός παραμετρικού τύπου dictionary<K,I> η οποία βασίζεται σε συγκρίσεις κλειδιών (π.χ. δυαδικά δένδρα διερεύνησης) πρέπει να γνωρίζει πως να κάνει συγκρίσεις.
- Στην LEDA μια γραμμική διάταξη σε έναν τύπο κλειδιού K ορίζεται από μια καθολική συνάρτηση int compare(const K&, const K&)
  και επομένως η κλάση υλοποίησης πρέπει να μπορεί να καλεί αυτή τη συνάρτηση.

- Π.χ.-1: Η κλάση list_impl χρησιμοποιεί μια γνήσια εικονική συνάρτηση για να εκτυπώσει τα συνολοστοιχεία της λίστας.

```
class list_impl
{
  // declared as a pure virtual function
  virtual void print_elem(void*) const = 0;
  ...

  // can be used by other member functions
  void print() const
  {
    for(list_impl_elem* p = hd; p; p = p->succ)
      print_elem(p->entry);
  }
  ...
};
```

Εικονικές Συναρτήσεις και Δυναμική Δέσμευση

- Η υλοποίηση της print_elem() παρέχεται από την παραγόμενη κλάση list <T>.

```
template<class T>
class list : private list_impl
{
 // operator << must be defined for T
 void print_elem(void* p) const
 { cout << *(T*)p << endl; }

 void print() const { list_impl::print(); }
 ...
};
```

- Τι συμβαίνει όταν δηλώνουμε μια λίστα,
  π.χ. με `list<char * > L;`
  Ο ορισμός της `print_elem()` σε σχέση με τον τελεστή << συσχετίζεται με την `L`. Η κλήση `L.print()` οδηγεί σε μια κλήση της `list_impl::print_elem`, μέσω της `list_impl::print()`, στην οποία χρησιμοποιείται η υλοποίηση της `print_elem()` που είναι δεσμευμένη με την `L`.

Υλοποίηση μεθόδων της κλάσης

- Π.χ.-2:

  Έστω bin_tree η κλάση υλοποίησης (δυαδικό δένδρο διερεύνησης) ενός λεξικού dictionary<K,I>. Η bin_tree (όπως και κάθε κλάση υλοποίησης ενός dictionary<K,I>) χρησιμοποιεί για τη σύγκριση των κλειδιών μια γνήσια εικονική συνάρτηση int cmp_key (void*,void*).

```
class bin_tree
{
  virtual int cmp_key(void*,void*) const = 0;
  ...
};
```

- Στην παραγόμενη κλάση `dictionary<K,I>`, η `cmp_key()` ορίζεται μέσω της καθολικής συνάρτησης σύγκρισης του τύπου `K`.

```
template<class K, class I>
class dictionary: private bin_tree
{
  int cmp_key(void* x, void* y) const
  { return compare(*(K*)x,*(K*)y); }
  ...
};
```

Υλοποίηση μεθόδων της κλάσης

Συνάρτηση Κατασκευής Αντιγράφου, Συνάρτηση Κατάργησης, και Τελεστής Ανάθεσης

- *Πώς υλοποιείται η εντολή D1 = D2, όπου τα D1 και D2 είναι τύπου dictionary<K,I>;*

1. Υλοποίηση του τελεστή μέσα στην κλάση τύπου δεδομένων, δηλ. στην dictionary<K,I>. Π.χ.,

```
D1.clear();
forall_items(it,D2)
{ D1.insert(D2.key(it),D2.inf(it)); }
```

   $\Rightarrow$ η ανάθεση χρειάζεται χρόνο $O(n \log n)$.

2. Υλοποίηση του τελεστή μέσα στην κλάση δομής δεδομένων, δηλ. στην `bin_tree`. Σε αυτή την περίπτωση η κλάση `bin_tree` πρέπει να γνωρίζει πώς αντιγράφονται κλειδιά (αντικείμενα του τύπου `K`) και πληροφορίες (αντικείμενα του τύπου `I`) καθώς και πώς αυτά καταργούνται.

   $\Downarrow$

   Εικονικές συναρτήσεις και δυναμική δέσμευση.

Παράμετροι Υλοποίησης

Τί ιδιότητες πρέπει να έχει ένας μηχανισμός για επιλογή μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων ενός τύπου δεδομένων;

(1) Απλότητα στη σύνταξη. Π.χ.

```
_dictionary<K,I,rb_tree> D;
  // chooses the red-black tree
  // implementation of dictionaries

dictionary<K,I> D;
  // selects the default
  // implementation (skiplists)
```

Παρατήρηση: Χρησιμοποιούνται διαφορετικά ονόματα, γιατί σε παλαιότερους μεταγλωττιστές δεν επιτρεπόταν η υπερφόρτωση αρχετύπων. Στις νεότερες εκδόσεις της LEDA ο χαρακτήρας _ στην αρχή του ονόματος δεν είναι πλέον απαραίτητος.

Γενικευμένη χρήση

(2) Πρέπει να μπορούν να γραφούν εφαρμογές που να δουλεύουν με κάθε υλοποίηση. Π.χ.

```
void WORD_COUNT(const list<string>& L,
                dictionary<string,int>& D)
{
  string s;
  forall(s,L)
  {
    dic_item it = D.lookup(s);
    if (it == nil)
      D.insert(s,1);
    else
      D.change_inf(it,D.inf(it)+1);
  }
  dic_item it;
  forall_items(it,D)
    cout << D.key(it) << " appeared "
         << D.inf(it) << " times.";
}
```

Ορισμός διαφορετικών υλοποιήσεων

Με τις δηλώσεις

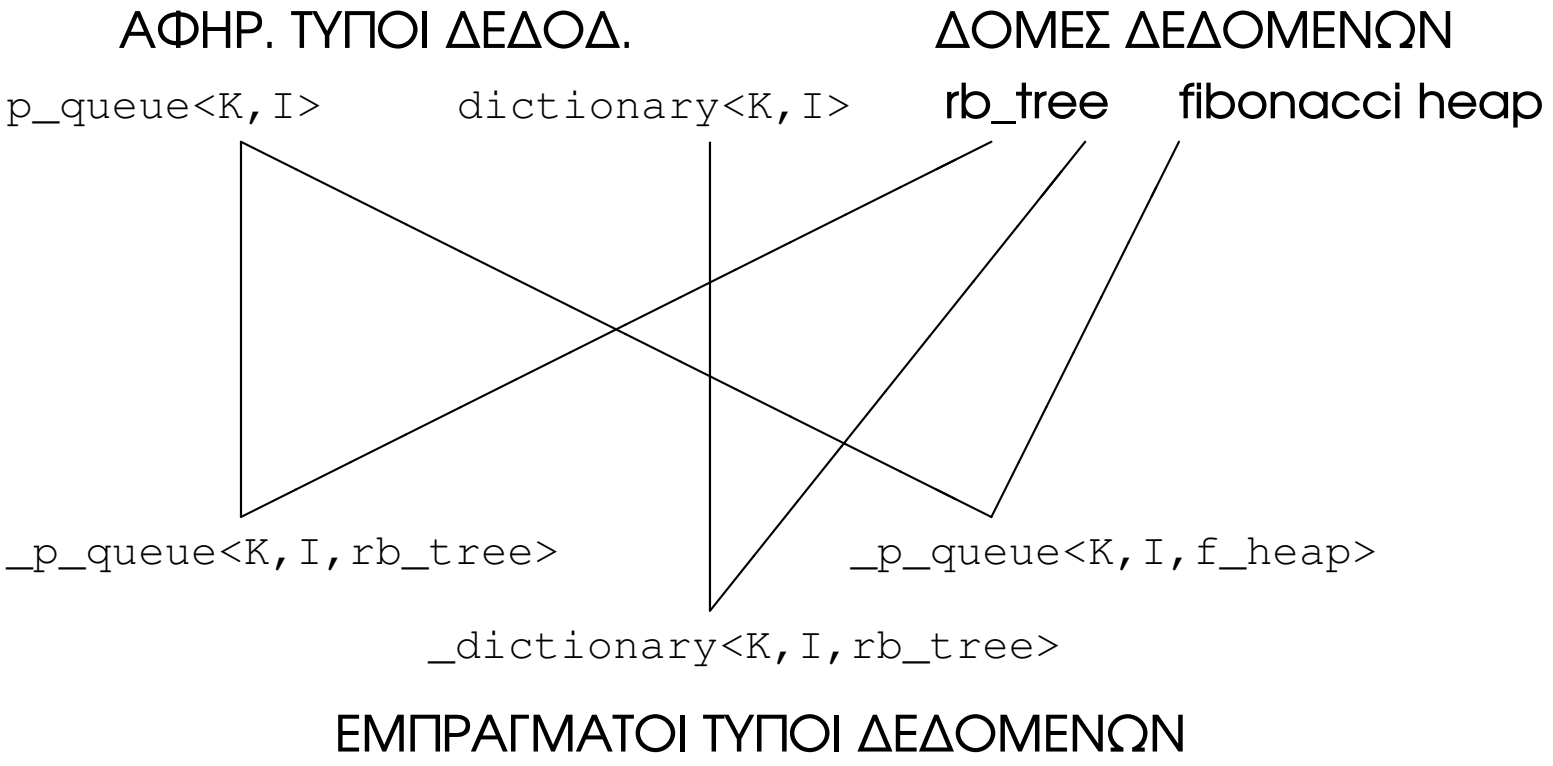
```
dictionary<string, int>                SL_D; // skiplists
_dictionary<string, int, rb_tree> RB_D; //red-black trees
_dictionary<string, int, my_impl> MY_D; //user implementation
```

μπορούμε να κάνουμε τις παρακάτω κλήσεις

```
WORD_COUNT(L,SL_D);
WORD_COUNT(L,RB_D);
WORD_COUNT(L,MY_D);
```

Επιλογή διαφορετικών υλοποιήσεων

- Η υλοποίηση του μηχανισμού επιλογής μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων ενός τύπου δεδομένων χρησιμοποιεί πολλαπλή κληρονομικότητα.



Ορισμός της κλάσης dictionary

```
typedef void * GenPtr;

template <class T>
inline T& leda_access(const T*, const GenPtr& p)
       { return *(T*)p; }
// returns a reference to the object of type T
// pointed to by p
#define LEDA_ACCESS(T,p) leda_access((T*)0,p)

template<class K,class I>
class dictionary : private default_impl
{
  int cmp_key(GenPtr x, GenPtr y)
  { return compare(LEDA_ACCESS(K,x), LEDA_ACCESS(K,y)); }

  void clear_key(GenPtr x)
  { leda_clear(LEDA_ACCESS(K,x)); }

public:
  virtual K        key(dic_item it) = 0;
  virtual dic_item lookup(K y)      = 0;
  virtual dic_item insert(K x, I y) = 0;
  virtual void     del(K y)         = 0;
  ... };
```

Ορισμός της κλάσης _dictionary

```
template <class T>
inline GenPtr leda_cast(const T& x) { return (GenPtr)&x; }

template<class K, class I,class IMPL>
class _dictionary : private IMPL, public dictionary<K,I>
{
  public:
  K         key(dic_item it)
  { return LEAD_ACCESS(K,IMPL::key(it)); }

  dic_item lookup(K y)
  { return IMPL::lookup(leda_cast(y)); }

  dic_item insert(K x, I y)
  { return IMPL::insert(leda_cast(x),leda_cast(y)); }

  void     del(K y)
  { IMPL::del(leda_cast(y)); }
  ...
};
```

Τέλος Ενότητας

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει :

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους