Isima

PARTIE IV

Généricité

Bruno Bachelet

Loïc Yon

Historique

- Concept apparu dès les années 70
- Ce n'est pas un concept objet
  - Les principes objets ne sont pas nécessaires
- … mais proposé par les langages objets
  - ADA
  - C++
  - Java, C#

Généricité *(1/2)*

- Définir des entités abstraites du type de données
  - Structures de données: vecteur, pile, file, ensemble…
  - Algorithmes: chercher, trier, insérer, extraire…

⇒ Abstraction de données

- Autre manière de factoriser le code
  - Dans une fonction, les paramètres sont des valeurs
    - Dans sa définition, des valeurs sont inconnues
    - Au moment de l'appel (à l'exécution), ces valeurs sont fixées
  - Dans un générique, les paramètres sont des types
    - Dans sa définition, des types sont inconnus
    - Au moment d'utiliser le générique (à la compilation), ces types sont fixés

Généricité *(2/2)*

- Un générique est un modèle
  - Instanciation = création d'un élément à partir d'un modèle
  - Instancier un générique ⇒ fixer le type de ses paramètres

- Spécificités en C++
  - Génériques appelés *«templates»*
  - Des constantes peuvent aussi être des paramètres
  - Peuvent être génériques: fonctions, classes ou méthodes
    - Depuis C++14: variables globales ou attributs de classe
  - Possibilité de «spécialisation statique»
    - Une autre forme de polymorphisme
    - Permet la spécialisation pour certains types de données

Exemples

- Algorithme de tri
  - Fonctionne de la même manière sur tout type de données
    - Entiers, flottants, chaînes, instances d'une classe *A*…
  - Suppose des fonctionnalités sur le type manipulé
    - Une relation d'ordre
      - Opérateur «<»
      - Une fonction ou un objet tiers (e.g. foncteur)
    - Un mécanisme de copie
      - Opérateur «=»

- Type pile
  - Fonctionne de la même manière sur tout type de données
  - Suppose un mécanisme de copie

Héritage et généricité complémentaires

- Tous les deux fournissent une forme de polymorphisme
  - La généricité agit à la compilation | L'héritage agit à l'exécution
- Contribuent tous les deux à développer du code générique
  - Tous les deux font abstraction du type
  - L'un par un mécanisme de paramètre | L'autre par un processus de généralisation
- Avec l'héritage
  - Plus de flexibilité, mais moins de sûreté (e.g. `vector<ObjetGraphique *>`)
  - Contrôles de type effectués à l'exécution
  - Peut entraîner des ralentissements significatifs
- Avec la généricité
  - Moins de flexibilité, mais plus de sûreté (e.g. `vector<T>`)
  - Contrôles de type effectués à la compilation
  - Moins de ralentissement (voire aucun) à l'exécution

Généricité en C++

- Mot-clé «`template`»
- Précède un composant générique
  - Fonction, classe ou méthode
  - Ou variable (depuis C++14)
- `template <`*liste_paramètres*`>` *composant*
- Définit une liste de paramètres de différentes natures
  - Point commun: leur valeur sera fixée à la compilation ⇒ instanciation
  - Les plus courants
    - Un type: `typename T` (ou `class T`)
    - Une constante: `int N`
  - Les autres
    - Un *template*: `template <typename> class C`
    - Un «pack» de paramètres: `typename... P` (depuis C++11, cf. *variadic templates*)

Fonction générique

- Définition d'une fonction générique

```
template <typename T>
const T & min(const T & a, const T & b)
{ return (a<b ? a : b ); }
```

- Suppose l'opérateur de comparaison sur le type paramétré «T»

- Appel à une fonction générique (instanciation + exécution)

```
int i,j;
…
int k = min<int>(i,j);
```

- Instanciation ⇒ fixer les types paramétrés

Polymorphisme statique

- Pas obligatoire de préciser les types paramétrés à l'instanciation
- Si le compilateur a suffisamment d'informations, il déduit les types
  - Comme avec la surcharge de nom
  - Forme de polymorphisme statique
  - `int i,j; … min(i,j);` ⇒ instanciation de `min<int>`
  - `double a,b; … min(a,b);` ⇒ instanciation de `min<double>`
- Le compilateur peut effectuer des conversions implicites si les types ne correspondent pas tout à fait

Classe générique

- Définition d'une classe générique

```
template <typename T, int N>
class Pile {
 private:
  T elements[N];
  int sommet;
 public:
  Pile();
  void ajouter(const T &);
  T retirer();
};
```

- Instanciation d'une classe générique
  - `Pile<int,256> p;`
  - `using pile_double_t = Pile<double,100>;`

Paramètres par défaut *(1/2)*

- Possibilité d'une valeur par défaut pour un paramètre

- Constante par défaut
  - ```
    template <typename T, int N = 256>
    class Pile;
    ```
  - `Pile<int>` ⇒ instanciation de `Pile<int,256>`

- Type par défaut
  - ```
    template <typename T, typename C = int>
    class TableHachage;
    ```
  - `TableHachage<string>`
    ⇒ instanciation de `TableHachage<string,int>`

Paramètres par défaut *(2/2)*

- Exemple plus subtil
  - Le type de structure utilisée pour modéliser une pile devient un paramètre

- Définition de la classe

```
template <typename T, typename C>
class Pile {
 private:
  C elements;
 …
};
```

- Instanciation: `Pile<int,std::vector<int>>`

- Possibilité d'une structure par défaut
  - `template <typename T, typename C = std::vector<T>>`
    `class Pile;`
  - `Pile<int>` ⇒ instanciation de `Pile<int,std::vector<int>>`

Paramètre *«template template»*

- Possibilité d'avoir une classe générique comme paramètre
  - Mot-clé «`template`» utilisé dans les paramètres du générique
  - Exemple: pile paramétrée par la classe générique de la structure sous-jacente

- Définition de la classe

```
template <typename T, template <typename> class C>
class Pile {
 private:
  C<T> elements;
 …
};
```

- Instanciation: `Pile<int,std::vector>`

- Attention: «`C`» n'est pas un type mais bien un modèle !
  - `C` = classe générique, `C<T>` = type de la structure sous-jacente
  - `Pile<int,std::vector<int>>` est donc incorrect

Méthodes génériques

- Exemple: copie de piles de types différents

```
Pile<double> p1;
Pile<int> p2;
…
p1 = p2; // Incorrect, "p1" et "p2" de types différents
```

- Solution avec une méthode générique

```
template <typename T> class Pile {
 …
 template <typename U> void copier(const Pile<U> &);
};
```

- Appel à la méthode générique
  - Instanciation implicite: `p1.copier(p2);`
  - Instanciation explicite: `p1.copier<int>(p2);`

- Opérateur d'affectation générique
  - `template <typename U> Pile<T> & operator=(const Pile<U> &);`

Implémentation d'un template *(1/2)*

- Normalement, séparation interface et implémentation
  - Fichier entête
    - Déclaration méthodes + attributs
  - Fichier implémentation
    - Définition méthodes + attributs statiques
- Pour la suite, méthode *«template»*
  = méthode générique ou méthode d'une classe générique
- Implémentation des méthodes *template* dans un entête
  - Utilisation des méthodes *template* «similaire» aux méthodes *inline*
  - Ce sont des modèles de méthodes
  - Leur implémentation doit être visible au moment de l'appel
- Conseil: placer les implémentations en dehors de la classe

Implémentation d'un template *(2/2)*

```
template <typename T, int N>
class Pile {
 private:
  T elements[N];
  int sommet;
 public:
  Pile();
  void ajouter(const T &);
  T retirer();
};

template <typename T, int N> Pile<T,N>::Pile() : sommet(0) {}

template <typename T, int N>
void Pile<T,N>::ajouter(const T & e) { elements[sommet++] = e; }

template <typename T, int N>
T Pile<T,N>::retirer() { return elements[--sommet]; }
```

Compilation d'un générique *(1/2)*

- Un code générique n'est pas compilé
  - Analyse «succincte» au niveau syntaxique
- Un code instancié est compilé
  - Analyse «complète» au niveau sémantique
- Instanciation = réécriture
  - Code générique dupliqué
  - Types paramètres remplacés par types concrets
- Equivalent d'un copier-coller-remplacer
  - Permet une efficacité optimale du code

Compilation d'un générique *(2/2)*

- Attention: une instance par jeu de paramètres
  - Travail du compilateur important ⇒ temps de compilation
  - Duplication de code ⇒ taille de l'exécutable

- Attention: aucun lien entre deux instances (en C++)
  - Pas de parenté entre les instances d'une classe générique
  - Pas de passerelle de conversion
    - `Pile<int> p1;`
    - `Pile<double> p2;`
    - `p2 = p1;` ⇒ interdit (bien que la conversion `int` → `double` existe)
  - Même dans le cas de constantes
    - `Pile<int,10> p1;`
    - `Pile<int,20> p2;`
    - `p2 = p1;` ⇒ interdit

Relation d'amitié *(1/2)*

- Amitié = rompre l'encapsulation avec un composant bien identifié
  - Mot-clé «`friend`»
- A éviter, mais parfois nécessaire
  - Entre composants d'un même module
  - Evite des méthodes publiques inutiles hors module
  - En C++, pas d'amitié implicite inter-module comme en Java
- Autoriser la classe «`B`» à voir les membres cachés de la classe «`A`»
  - ```
    class A {
     friend class B;
     …
    };
    ```
  - Membre caché = «`protected`» ou «`private`»
- L'amitié n'est pas réciproque (ni transitive)
  - Pour avoir la réciprocité ⇒ `class B { friend class A; … };`
    ```

Relation d'amitié *(2/2)*

- Une fonction peut être amie
  - `class A { friend void f(int); … };`
  - La fonction «`f(int)`» voit les membres cachés de «`A`»
  - Ce n'est pas le cas des autres surcharges de «`f`»
- Une méthode peut être amie
  - `class A { friend void B::g(); … }`
  - La méthode «`g`» de la classe «`B`» voit les membres cachés de «`A`»
- Déclaration préalable pas nécessaire pour établir une amitié
  - Sauf cas particuliers avec généricité (voir plus loin)
- L'amitié ne remplace pas une déclaration
  - «`A`» ne peut pas utiliser «`f`» ou «`B`» sans déclaration préalable

Déclaration anticipée *(1/3)*

- Pour utiliser une classe ou une fonction, celle-ci doit être connue
  - Elle doit être déclarée
  - Pour une fonction ⇒ prototype
  - Pour une classe ⇒ déclaration complète ou «anticipée»

- Dépendance réciproque entre classes
  ⇒ déclaration anticipée (*«forward declaration»)*

- Avant chaque classe, déclaration anticipée de l'autre classe
  - Entête classe A

```
class B; // Déclaration anticipée
…
class A { … void m1(B & b); … };
```

  - Entête classe B

```
class A; // Déclaration anticipée
…
class B { … void m2(A & a); … };
```

Déclaration anticipée *(2/3)*

- Déclaration anticipée = déclaration partielle d'un type
  - Seul le nom est indiqué
  - Rien n'est précisé sur la structure du type

⇒ Restrictions tant qu'il n'est pas complètement déclaré

- Aucune méthode ou attribut ne peut être appelé
  - `A a;` ⇒ interdit
  - `A::x;` ⇒ interdit
  - `A::m();` ⇒ interdit

- Le type peut être utilisé sans restriction dans les déclarations
  - `void m(A *);` ⇒ ok
  - `void m(A &);` ⇒ ok
  - `void m(A);` ⇒ ok

Déclaration anticipée *(3/3)*

- Seuls les pointeurs et références peuvent être utilisés dans les définitions
  - Variables
    - `A * a;` ⇒ ok
    - `A & a;` ⇒ ok
    - `a->m();` ⇒ interdit
  - Arguments
    - `void m(A *) {…}` ⇒ ok
    - `void m(A &) {…}` ⇒ ok
    - `void m(A) {…}` ⇒ interdit
- Possibilité de faire des alias d'une déclaration anticipée
  - `using mon_ami = A;`

Amitié et généricité *(1/2)*

- Exemples
  - `template <typename T> class B;`
  - `template <typename T> void f();`
- Amitié avec toutes les instances
  - `class A { template <typename T> friend class B; … };`
  - `class A { template <typename T> friend void f(); … };`
- Amitié avec une instance particulière
  - Attention: une déclaration préalable (de «`B`» et «`f`») est nécessaire
  - `class A { friend class B<int>; … };`
  - `class A { friend void f<int>(); … };`

Amitié et généricité *(2/2)*

- Cas d'une classe générique: exemple d'amitié avec une instance

```
template <typename T> class Vecteur; // Déclaration anticipée

template <typename T> // Prototype nécessite déclaration
ostream & operator << (ostream &, const Vecteur<T> &);

template <typename T> class Vecteur {
 // Amitié nécessite prototype
 friend ostream & operator<< <T> (ostream &, const Vecteur<T> &);

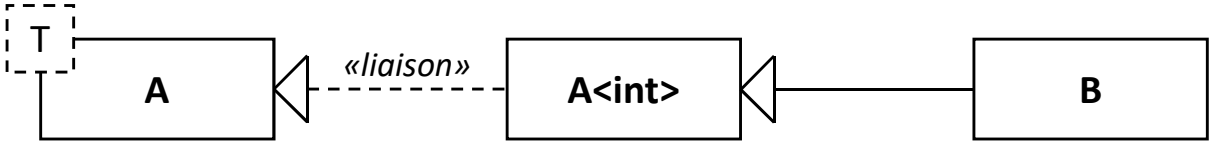
 private:
  T * elements;
  int nb;
 …
};

template <typename T> // Définition nécessite amitié
ostream & operator<<(ostream & f, const Vecteur<T> & v) {
 for (int i = 0; i < v.nb; ++i) f << v.elements[i] << " ";
 return f;
}
```

Héritage et généricité *(1/4)*

- Héritage «simple»
  - Héritage d'une instance d'une classe générique
  - Exemple: «`NuagePoint`» hérite de «`Vecteur<Point>`»

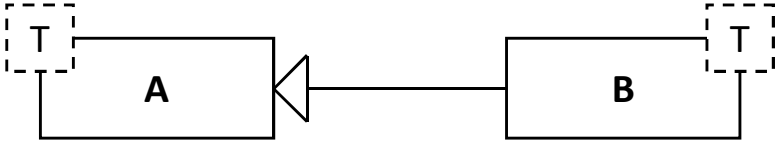
- Illustration
  - ```
    template <typename T>
    class A {…};
    ```
  - ```
    class B : public A<int> {…};
    ```



Héritage et généricité *(2/4)*

- Héritage «classique»
  - Héritage entre deux classes génériques
  - Exemple: «`FileAttente<T>`» hérite de «`Vecteur<T>`»

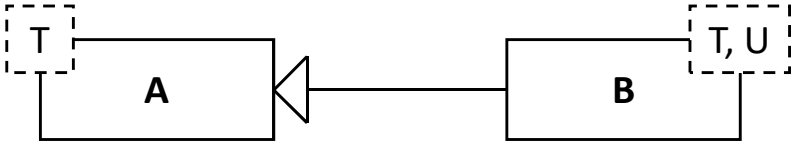
- Illustration
  - ```
    template <typename T>
    class A {…};
    ```
  - ```
    template <typename T>
    class B : public A<T> {…};
    ```



Héritage et généricité *(3/4)*

- Héritage avec «extension»
  - Héritage entre classes génériques avec ajout d'un paramètre
  - Exemple: «`FilePriorite<T,C>`» hérite de «`Vecteur<T>`»
    - `C` = objet comparateur qui indique la relation d'ordre

- Illustration
  - ```
    template <typename T>
    class A {…};
    ```
  - ```
    template <typename T, typename U>
    class B : public A<T> {…};
    ```



Héritage et généricité *(4/4)*

- Héritage «générique»
  - Héritage d'une classe qui est un paramètre
    - Extension potentielle de toutes les classes
  - Exemple: «`Comparable<T>`» hérite de «`T`»
    - Toute classe peut devenir un «comparable»

- Illustration
  - `template <typename T> class B : public T {…};`