

Betriebssystemtechnik

Operating System Engineering (OSE)

“Synthesizing Objects”^[1]

(U. Eisenecker und K. Czamecki)



1

Motivation

- Produktlinienkomponenten müssen wiederverwendbar sein
 - statisch/dynamisch konfigurierbar
 - generisch formuliert
- Welche Programmiersprachenmechanismen für die generische Programmierung können genutzt werden?
 - **C++ Templates!**
- Wie beschreibt man Variabilität auf einem problemadequaten abstrakten Niveau?
 - **Merkmalmodelle!**

➔ **Merkmal-getriebene Generierung mittels Templates**

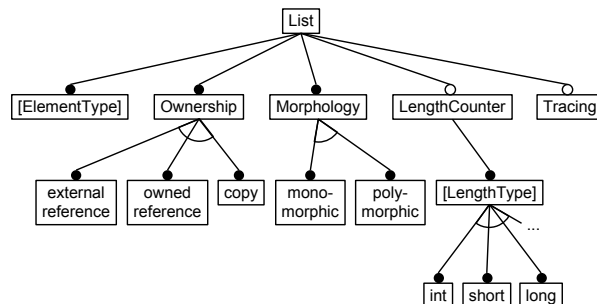


© 2007 Olaf Spinczyk

2

Beispielszenario - Merkmale

- eine Familie von Listen-Klassen



© 2007 Olaf Spinczyk

3

Beispielszenario - Architektur

- ... in Form einer (erweiterten) funktionalen Hierarchie
 - optionale Merkmale werden optionale obere Schichten
 - weitere Variabilität durch Konfigurierbarkeit der Schichten
 - Basisschicht mit Konfigurationswissen

Tracing Layer	TracedList
Counter Layer	LenList
BasicList	PtrList
Config	
ElementType	: [ElementType]
Destroyer	: EmptyDestroyer ElementDestroyer
TypeChecker	: DynamicTypeChecker EmptyTypeChecker
Copier	: PolymorphicCopier MonomorphicCopier EmptyCopier
LengthType	: int short long ...
ReturnType	

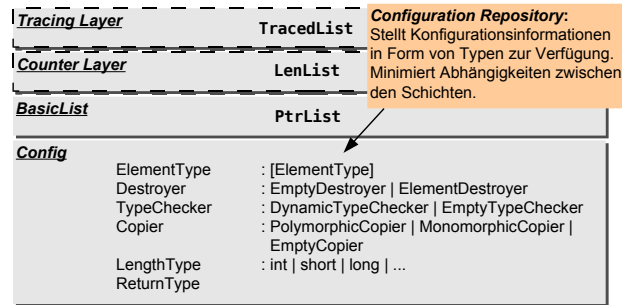


© 2007 Olaf Spinczyk

4

Beispielszenario - Architektur

- ... in Form einer (erweiterten) funktionalen Hierarchie
 - optionale Merkmale werden optionale obere Schichten
 - weitere Variabilität durch Konfigurierbarkeit der Schichten
 - Basisschicht mit Konfigurationswissen



© 2007 Olaf Spinczyk

5

PtrList (1) – Daten und Typen

```
template <class Config_>
class PtrList {
public:
    // Config als Member-Typ zur Verfügung stellen:
    typedef Config_ Config;
private:
    // Weitere Typen aus dem Configuration Repository:
    typedef typename Config::ElementType ElementType;
    typedef typename Config::SetHeadElementType SetHeadElementType;
    typedef typename Config::ReturnType ReturnType;

    // Diese Typen repräsentieren Policies!
    typedef typename Config::Destroyer Destroyer;
    typedef typename Config::TypeChecker TypeChecker;
    typedef typename Config::Copier Copier;
private:
    // Datenelemente
    ElementType *head_; // jede Liste speichert einen Zeiger auf 1 Element
    ReturnType *tail_; // weitere Elemente stecken in der Liste tail_
public:
    // Methoden (siehe nächste Folie)
    ...
};
```

© 2007 Olaf Spinczyk

6

PtrList (2) - Methoden

```
// Konstruktor: erzeugt eine neue Liste
PtrList(SetHeadElementType &h, ReturnType *t=0) : head_(0), tail_(t) {
    setHead(h);
}

// Destruktor: ggf. das referenzierte Element löschen
~PtrList() { Destroyer::destroy(head_); }

// Initialisierung des Elements: ggf. Typprüfung und Kopie
void setHead(SetHeadElementType &h) {
    TypeChecker::check(h);
    head_ = Copier::copy(h);
}

// Setter und Getter Funktionen
ElementType &head() { return *head_; }
void setTail(ReturnType *t) { tail_ = t; }
ReturnType *tail() const { return tail_; }
};
```

- wozu eigentlich SetHeadElementType?
 - je nachdem, ob die Elemente kopiert werden, ist das ElementType& oder const ElementType&

© 2007 Olaf Spinczyk

7

Policies (1) - Destroyer

```
template <class ElementType>
struct ElementDestroyer {
    static void destroy(ElementType *e) {
        delete e; // Heap Speicher wird freigegeben, Destruktor ausgeführt
    }
};

template <class ElementType>
struct EmptyDestroyer {
    static void destroy(ElementType *e) {
        // NICHTS!
    }
};
```

- der ElementDestroyer muss verwendet werden, wenn die Liste Elemente vor dem Einfügen kopiert
- Aufrufe von EmptyDestroyer::destroy() kann der Optimierer komplett eliminieren!

© 2007 Olaf Spinczyk

8

Policies (2) - TypeChecker

```
template <class ElementType>
struct DynamicTypeChecker {
    static void check(const ElementType &e) {
        // Typüberprüfung mittels RTTI zur Laufzeit (Debug-Modus)
        assert(typeid(e)==typeid(ElementType));
    }
};

template <class ElementType>
struct EmptyTypeChecker {
    static void check(const ElementType &e) {
        // NICHTS
    }
};
```

- der DynamicTypeChecker sorgt dafür, dass alle Elemente der List den selben Typ haben (*monomorphic list*)
- ... und noch eine Klasse, die **NICHTS** tut.



Policies (3) - Copier

```
template <class ElementType>
struct PolymorphicCopier {
    static ElementType *copy(const ElementType &e) {
        return e.clone(); // Kopieren mittels einer virtuellen Methode
    }
};

template <class ElementType>
struct MonomorphicCopier {
    static ElementType *copy(const ElementType &e) {
        return new ElementType(e); // Kopieren mittels Copy-Konstruktor
    }
};

template <class ElementType>
struct EmptyCopier {
    static ElementType *copy(ElementType &e) {
        return &e; // liefert einfach das Original
    }
};
```



Zwischenfazit – Traits & Policies

- unser PtrList Template ist hochgradig generisch:
 - variable Aktivitäten werden durch Policies realisiert
 - der Zugriff auf die richtige Policy-Klasse wird über das Configuration Repository gesteuert: eine Traits-Klasse
- was sind Traits und Policies?

- *Traits represent natural additional properties of a template parameter*
- *Policies represent configurable behavior for generic functions and types*

D. Vandevoorde and M. Josuttis
C++ Templates: The Complete Guide



LenList – optionale Wrapper Klasse 1

```
template <class BaseList>
class LenList : public BaseList { // Template Parameter wird Basisklasse
public: // Ermittlung des Configuration Repository
    typedef typename BaseList::Config Config;
private: // Ermittlung weiterer Typen aus dem Configuration Repository:
    typedef typename Config::ElementType ElementType;
    typedef typename Config::SetHeadElementType SetHeadElementType;
    typedef typename Config::ReturnType ReturnType;
    typedef typename Config::LengthType LengthType;
private: // Datenelemente
    LengthType length_; // Anzahl der Elemente in der Liste

public: // Methoden: Erweiterungen zur Verwaltung der Länge ...
    LenList(SetHeadElementType &h, ReturnType *t=0) : BaseList(h,t),
        length_(computedLength()) {}

    void setTail(ReturnType *t) {
        BaseList::setTail(t);
        length_ = computedLength();
    }

    const LengthType &length() const { return length_; }

    LengthType computedLength() const { return tail()? tail()->length()+1 : 1; }
};
```



TracedList – optionaler Wrapper 2

```
template <class BaseList>
class TracedList : public BaseList { // Template Parameter wird Basisklasse
public: // Ermittlung des Configuration Repository
    typedef typename BaseList::Config Config;
private: // Ermittlung weitere Typen aus dem Configuration Repository:
    typedef typename Config::ElementType ElementType;
    typedef typename Config::SetHeadElementType SetHeadElementType;
    typedef typename Config::ReturnType ReturnType;

public: // Methoden: Wrapper zur Ausgabe des Funktionsnamens
    TracedList(SetHeadElementType &h, ReturnType *t=0) : BaseList(h,t) {}

    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        cout << "setHead(" << h << ")" << endl;
        BaseList::setHead(h);
    }
    ElementType &head() {
        cout << "head()" << endl;
        return BaseList::head();
    }
    void setTail(ReturnType *t) {
        cout << "setTail(t)" << endl;
        BaseList::setTail(t);
    }
};
```

Konfigurierung – Variante 1

- ... erfolgt durch Anlegen eines *Configuration Repository*

```
struct TracedCopyMonoPersonLenListConfig {

    // typedefs, die von den Komponenten benötigt werden
    typedef Person ElementType;
    typedef const ElementType SetHeadElementType;
    typedef int LengthType;
    typedef ElementDestroyer<ElementType> Destroyer;
    typedef DynamicTypeChecker<ElementType> TypeChecker;
    typedef MonomorphicCopier<ElementType> Copier;

    // PtrList wird in LenList und TracedList verpackt
    typedef TracedList<
        LenList<
            PtrList<TracedCopyMonoPersonLenListConfig> > > ReturnType;
};

// und nun noch ein kürzerer Name...
typedef TracedCopyMonoPersonLenListConfig::ReturnType MyList1;
```

Konfigurierung – Variante 1

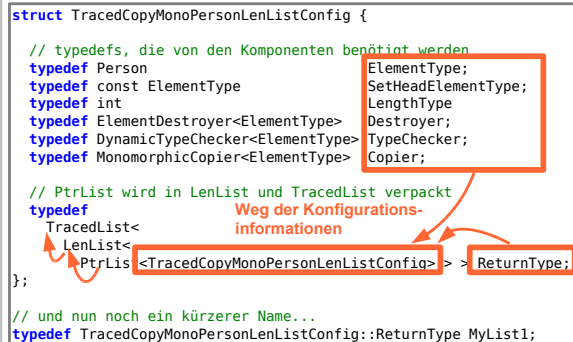
- ... erfolgt durch Anlegen eines *Configuration Repository*

```
struct TracedCopyMonoPersonLenListConfig {

    // typedefs, die von den Komponenten benötigt werden
    typedef Person ElementType;
    typedef const ElementType SetHeadElementType;
    typedef int LengthType;
    typedef ElementDestroyer<ElementType> Destroyer;
    typedef DynamicTypeChecker<ElementType> TypeChecker;
    typedef MonomorphicCopier<ElementType> Copier;

    // PtrList wird in LenList und TracedList verpackt
    typedef TracedList<
        LenList<
            PtrList<TracedCopyMonoPersonLenListConfig> > > ReturnType;
};

// und nun noch ein kürzerer Name...
typedef TracedCopyMonoPersonLenListConfig::ReturnType MyList1;
```



Konfigurierung – Variante 2

- ... oder z.B. so:

```
struct RefPolyPersonListConfig {

    // typedefs, die von den Komponenten benötigt werden
    typedef Person ElementType;
    typedef ElementType SetHeadElementType;
    typedef EmptyDestroyer<ElementType> Destroyer;
    typedef EmptyTypeChecker<ElementType> TypeChecker;
    typedef EmptyCopier<ElementType> Copier;

    // PtrList wird direkt verwendet
    typedef PtrList<RefPolyPersonListConfig> ReturnType;
};

// und nun noch ein kürzerer Name...
typedef RefPolyPersonListConfig::ReturnType MyList2;
```

Zwischenfazit

- mit Hilfe von unterschiedlichen *Configuration Repositories* lassen sich 24 verschiedene Listentypen erzeugen
- wer erstellt die *Configuration Repositories*?
 - der Listen-Entwickler
 - bei 24 Varianten gerade noch machbar, bei tausenden nicht!
 - der Anwender der Listen
 - mühsam und fehlerträchtig
 - viel Wissen über interne Strukturen nötig
- Antwort:
 - Konfigurierung durch den Anwender auf abstrakter Ebene mit Hilfe der Merkmale
 - das *Configuration Repository* muss generiert werden; das ist die Aufgabe des **Configuration Generator**
 - Template Metaprogrammierung!



Der Configuration Generator (1)

- ... erwartet Merkmale als Eingabe:

```
enum Ownership { ext_ref, own_ref, cp };
enum Morphology { mono, poly };
enum CounterFlag { with_counter, no_counter };
enum TracingFlag { with_tracing, no_tracing };
```

- ... basiert auf einem kleinen Hilfs-Template:

```
template <bool cond, class ThenType, class ElseType>
struct IF {
    typedef ThenType RET;
};

// Spezialisierung für false
template <class ThenType, class ElseType>
struct IF<false, ThenType, ElseType> {
    typedef ElseType RET;
};
```

- ... und wird so benutzt: **ganz einfach!**

```
typedef LIST_GENERATOR<Person, ext_ref, poly>::RET MyList3;
```



Der Configuration Generator (2)

```
template <
    class ElementType_ = int, Ownership ownership = cp,
    Morphology morphology = mono, CounterFlag counterFlag = no_counter,
    TracingFlag tracingFlag = no_tracing, class LengthType_ = int>
class LIST_GENERATOR {
public:
    typedef LIST_GENERATOR<ElementType_, ownership, ...> Generator;
private:
    // Konfigurierungslogik wird durch IFs ausgedrückt...
    typedef IF<ownership==cp || ownership==own_ref,
        ElementDestroyer<ElementType_>,
        EmptyDestroyer<ElementType_> >::RET Destroyer_;
    typedef IF<morphology==mono,
        DynamicTypeChecker<ElementType_>,
        EmptyTypeChecker<ElementType_> >::RET TypeChecker_;
    ...
    typedef PtrList<Generator> List;
    typedef IF<counterFlag==with_counter, LenList<List>, List>::RET
        List_with_counter_or_not;
    typedef IF<tracingFlag==with_tracing,
        TracedList<List_with_counter_or_not>,
        List_with_counter_or_not>::RET
        List_with_tracing_or_not;
    // öffentliche Typen ... (nächste Seite)
```



Der Configuration Generator (3)

```
public:
    // öffentliche Typen
    typedef List_with_tracing_or_not RET;

    struct Config {
        typedef ElementType_      ElementType;
        typedef SetHeadElementType_ SetHeadElementType;
        ...
        typedef RET                ReturnTyp;
    };
```

- da Config jetzt eine generierte Klasse im Generator ist, muss die PtrList Klasse minimal angepasst werden.

```
template <class Generator>
class PtrList {
public:
    typedef typename Generator::Config Config;
    // der Rest wie gehabt ...
};
```



Zusammenfassung

- C++ Templates bilden das notwendige Handwerkszeug, um mit C++ generisch zu programmieren
- Merkmalmodelle bilden das Handwerkszeug, um Variabilität von Produktlinien zu beschreiben
- in „Synthesizing Objects“ verbinden U. Eisenecker und K. Czarnecki beide Techniken
 - Trennung der Belange durch Configuration Repositories und Configuration Generators
 - Anwendung der Template Metaprogrammierung
- der Ansatz erfordert, dass man die Nachteile der Programmierung mit C++ Templates in Kauf nimmt
 - Fehlermeldungen, Übersetzungszeiten, Syntax, ...



Literatur

- [1] K. Czarnecki und U. Eisenecker, *Synthesizing Objects. Concurrency: Practice and Experience*, John Wiley & Sons, Ltd.

