

Betriebssystemtechnik

Operating System Engineering (OSE)

“Feature-Oriented Programming”^[1]

(D. Batory)



1

Motivation

- Software wird heute auf einem zu niedrigen Abstraktionsniveau modelliert
 - im Zentrum der Betrachtung sind meist Klassen, Funktionen und Objekte
 - erschwert wird dadurch ...
 - die Konstruktion von Applikationen aus Komponenten und die **automatische Analyse** von Kompositionen
 - **automatisches Generieren** von Applikationen (Produktlinienvarianten) aus Spezifikationen höherer Ebene

→ **Merkmal-basierte Systembeschreibung und -generierung**

© 2006 Olaf Spinczyk

2

Merkmal-basierte Beschreibung

- Anwender beschreiben Programme und deren Varianten mit Hilfe von abstrakten Merkmalen. Warum nicht auch die Entwickler beim Entwurf?
- Individuelle Programme werden in Form von Gleichungen repräsentiert:

```
f    // Programm mit Merkmal „f“  
g    // Programm mit Merkmal „g“
```

f und g sind „Konstanten“

```
i(x) // fügt Merkmal „i“ zu „x“ hinzu  
j(x) // fügt Merkmal „J“ zu „x“ hinzu
```

i und j sind „Funktionen“, sog. „Refinements“

```
app1 = i(f)      // Merkmale i, f  
app2 = j(g)      // Merkmale j, g  
app3 = i(j(f))  // Merkmale i, j, f
```

dieses „GenVoca“ Modell beschreibt eine Produktlinie!

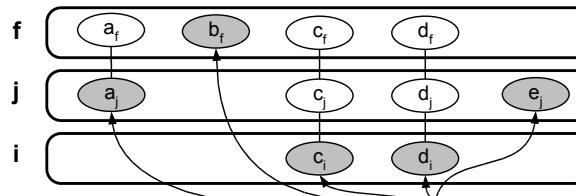


© 2006 Olaf Spinczyk

3

Merkmal-basierter Entwurf

- eine GenVoca-Konstante besteht aus Klassen
- Funktionen bestehen aus Klassen und Klassen-*Refinements*



- jede Schicht (f, j, i) ...

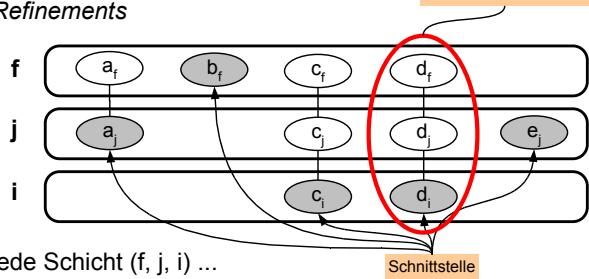
- realisiert ein bestimmtes Merkmal
- besteht aus einer „Kollaboration“

© 2006 Olaf Spinczyk

4

Merkmal-basierter Entwurf

- eine GenVoca-Konstante besteht aus Klassen und **Refinements**
- Funktionen bestehen aus Klassen und Konstruktoren



- jede Schicht (f, j, i) ...
 - realisiert ein bestimmtes Merkmal
 - besteht aus einer „Kollaboration“

© 2006 Olaf Spinczyk

5

Merkmal-basierte Implementierung

- flexible „*Refinement Chains*“ erfordern, dass ...
 - ein *Refinement* Klassen **und** verfeinerte Klassen erweitern kann
 - die Benutzerschnittstelle unabhängig von Verfeinerungen ist
- ein erster Lösungsansatz basiert(e) auf der Kombination von Templates und Vererbung
 - leider bringt die Vererbung aber Probleme mit sich
- der neuere Lösungsansatz basiert auf einem neuen Sprachkonstrukt: *Refinements*

© 2006 Olaf Spinczyk

6

Implementierung mit Mixin-Layers (1)

- flexibles Erweitern, ohne die konkrete Basis zu kennen, lässt sich in C++ mittels *Mixin-Klassen* erledigen:

```
template <typename Base>
class Mixin : public Base {
    int _attr; // weiteres Attribut
public:
    // weitere Methode
    void func() {
        something_before();
        Base::func(); // Aufruf der Basismethode
        something_after();
    }
};
```

- die einheitliche Schnittstelle lässt sich durch ein **typedef** erreichen und mit der Konfigurierung kombinieren:

```
typedef Mixin<SomeBase> SomeAPI;
```

© 2006 Olaf Spinczyk

7

Implementierung mit Mixin-Layers (2)

- Kollaborationen lassen sich durch *Mixin-Layers* realisieren:

```
template <typename BaseLayer>
class MixinLayer_J : public BaseLayer {
public:

    // hier kommen die Verfeinerungen als „nested classes“
    class A : public BaseLayer::A {
        typedef typename BaseLayer::A Base; // die verfeinerte Basis
        int _attr; // neues Attribut
    public:
        void func() {
            something_before();
            Base::func(); // Aufruf der Basismethode
            something_after();
        }
    };
    class C : public BaseLayer::C { ... };
    class D : public BaseLayer::D { ... };

    // hier kommt eine neue Klasse
    class E { ... };
};
```

© 2006 Olaf Spinczyk

8

Implementierung mit *Mixin-Layers* (3)

- Konfigurierung wieder mittels `typedef`:

```
typedef MixinLayer_I<Layer_F> App1;
// oder
typedef MixinLayer_J<Layer_G> App2;
// oder
typedef MixinLayer_I<MixinLayer_J<Layer_F>> App3;
```

- Fazit: Ziel (fast) erreicht

- mit *Templates* und Vererbung lassen sich Merkmal-Implementierungen flexibel stapeln
- die konfigurernden `typedefs` lassen sich leicht aus abstrakten Spezifikationen generieren
- leider hat die Vererbung hier ein paar Nachteile ...



© 2006 Olaf Spinczyk

9

Vererbungsprobleme (1)

- das *Extensibility Problem*:

```
class Buffer { ... };

// zwei Puffervarianten
class FileBuffer : Buffer { ... };
class SocketBuffer : Buffer { ... };

// eine Erweiterung durch Vererbung
class SyncBuffer : Buffer {
    Mutex _lock;
public:
    void put (Item i) { Secure s(_lock); Buffer::put(i); }
    Item get () const { Secure s(_lock); return Buffer::get(); }
};
```

- die Erweiterung `SyncBuffer` wirkt sich **nicht** auf abgeleitete Klassen (Varianten) aus
- Ursache: die Erweiterung heißt nicht `Buffer`



© 2006 Olaf Spinczyk

10

Vererbungsprobleme (2)

- das *Constructor Propagation Problem*:

```
class TheBase {
public:
    TheBase (int, double) { ... }
};

template <typename Base>
class Mixin : public Base {
public:
    // obwohl keine eigenen Initialisierungen nötig sind, muss ein
    // Konstruktor angelegt werden, damit TheBase bedient werden kann
    Mixin (int i, double d) : Base(i, d) {}
};
```

- wenn eine Basis einen speziellen Konstruktor hat, entsteht eine starke Schichtenabhängigkeit
- Ursache: Vererbung propagiert keine Konstruktoren



© 2006 Olaf Spinczyk

11

Implementierung mit *Refinements*

- *Refinements* sind eine spezielle Spracherweiterung:

- implementiert z.B. in Jak[1] und FeatureC++ [2]

```
class Buffer {
public:
    Base (int) { ... } // ein nicht-Standard Konstruktor
    ...
};

// zwei Puffervarianten
class FileBuffer : Buffer { ... };
class SocketBuffer : Buffer { ... };

// eine Erweiterung durch Refinement
refines class Buffer {
    Mutex _lock;
public:
    void put (Item i) { Secure s(_lock); super::put(i); }
    Item get () const { Secure s(_lock); return super::get(); }
};
```

- das *Refinement* wirkt sich auf alle abgeleiteten Klassen aus; der Konstruktor wird automatisch „propagiert“



© 2006 Olaf Spinczyk

12

Zwischenfazit

- FOP versucht Merkmale als „First Class Entities“ auch bei Entwurf und Implementierung zu behandeln
 - der Merkmalbegriff kommt also in die Welt der Programmierung!
- Programme werden als Gleichungen beschrieben und können leicht aus Gleichungen generiert werden
 - Möglichkeit der Optimierung („Automatic Programming“)
- Offene Fragen:
 - Wie können die Schichten gestapelt werden, d.h. sind die Funktionen typisiert? Reicht Typisierung?
 - Wie findet man bei mehreren funktional gleichwertigen Programmen die beste Lösung unter Beachtung nicht-funktionaler Eigenschaften?
 - Wie sieht die Beziehung zwischen GenVoca Modellen und Merkmaldiagrammen aus?

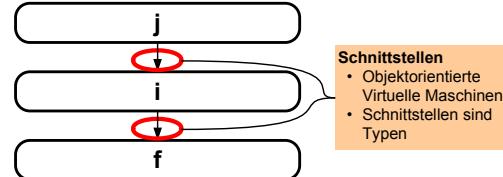


© 2006 Olaf Spinczyk

13

GenVoca Grammatiken (1)

- GenVoca Architekturen sind immer geschichtet:



- $g(x:S):R$ bedeute, dass das Merkmal g ...

- eine virtuelle Maschine R implementiert
- eine Schicht x importiert, die eine VM S implementiert
- einen Parameter x vom Typ S hat und selbst vom Typ R ist



© 2006 Olaf Spinczyk

14

GenVoca Grammatiken (2)

- Schichten (=Merkmale) mit dem selben Typ bilden ein „Realm“ (dt. Fachgebiet, Bereich), z.B.:

$$S = \{ y, z, w \}$$

$$R = \{ g(x:S), h(x:S), i(x:R) \}$$

- die erlaubten Konfiguration dieses Systems lassen sich durch eine äquivalente GenVoca Grammatik beschreiben:

$$S ::= y \mid z \mid w ;$$

$$R ::= g(S) \mid h(S) \mid i(R) ;$$

- gültig wäre z.B.: $g(y), h(z), i(i(h(w)))$

- ungültig wäre z.B.: $g(h(w)), i(y)$

eine GenVoca Grammatik beschreibt eine Produktlinie!



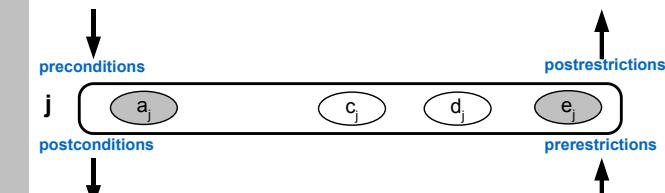
© 2006 Olaf Spinczyk

15

Design Rule Checking (1)

- Grammatiken können nur zur Prüfung der „syntaktischen“ Korrektheit einer Komposition benutzt werden

- Lösung: zusätzliche „Design Rules“

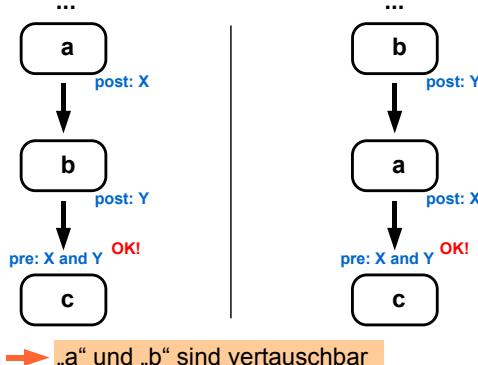


© 2006 Olaf Spinczyk

16

Design Rule Checking (2)

- Wann ist eine Komposition zulässig? Beispiel:

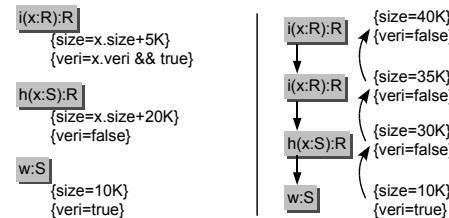


© 2006 Olaf Spinczyk

17

Attributierte GenVoca Modelle

- Welche gültige Konfiguration verbraucht am wenigsten Speicher, ist am schnellsten oder besteht nur aus verifizierten Komponenten?
- Derartige **nicht-funktionale Eigenschaften** können über Attribute erfasst werden, die **automatisch** bei der Auswahl berücksichtigt werden können.

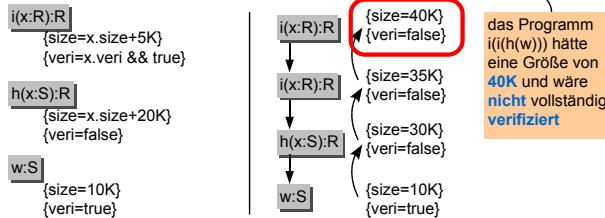


© 2006 Olaf Spinczyk

18

Attributierte GenVoca Modelle

- Welche gültige Konfiguration verbraucht am wenigsten Speicher, ist am schnellsten oder besteht nur aus verifizierten Komponenten?
- Derartige **nicht-funktionale Eigenschaften** können über Attribute erfasst werden, die **automatisch** bei der Auswahl berücksichtigt werden können.

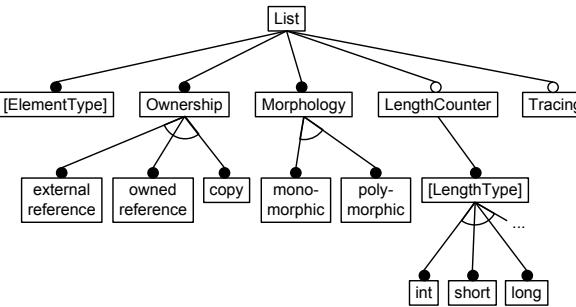


© 2006 Olaf Spinczyk

19

Merkmal-Modelle vs. GenVoca (1)

- lässt sich die Variabilität dieser Produktlinie auch als GenVoca-Grammatik ausdrücken?

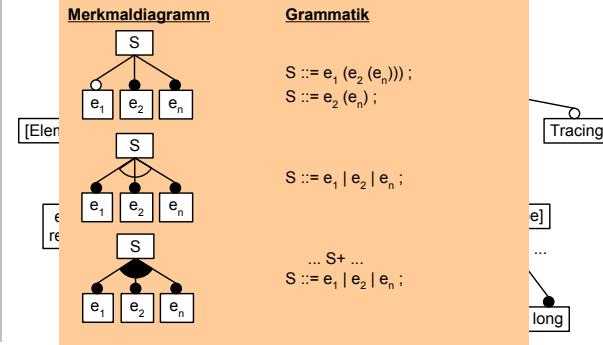


© 2006 Olaf Spinczyk

20

Merkmal-Modelle vs. GenVoca (1)

- lässt sich die Variabilität dieser Produktlinie auch als GenVocas? JA! Es helfen ein paar einfache Abbildungsregeln:



© 2006 Olaf Spinczyk

21

Merkmal-Modelle vs. GenVoca (2)

- Ergebnis der Transformation:

```
List ::= Tracing (LengthCounter (Morphology (Ownership (ElementType))));
List ::= LengthCounter (Morphology (Ownership (ElementType)));
List ::= Tracing (Morphology (Ownership (ElementType)));
List ::= Morphology (Ownership (ElementType));

Ownership ::= External Reference | Owned Reference | Copy;

Morphology ::= Monomorphic | Polymorphic;

LengthCounter := LengthType;
```

- Gültige Sätze der Sprache:

- $\text{Tracing}(\text{LengthType}(\text{Copy}(\text{Monomorphic}(\text{ElementType})))$
- $\text{Monomorphic}(\text{External Reference}(\text{ElementType}))$

- die Grammatik hat im Prinzip die selbe Aussagekraft wie das Merkmaldiagramm

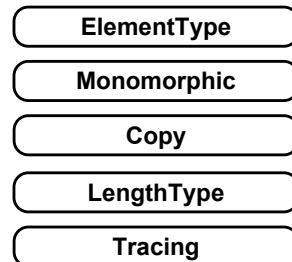
- nicht-Terminale kommen allerdings in den Sätzen nicht mehr vor
- Constraints können über Attribute ausgedrückt werden

© 2006 Olaf Spinczyk

22

Merkmal-Modelle vs. GenVoca (3)

- für die erste Variante ergibt sich z.B. folgende Schichtenstruktur:



- bringt uns diese Hierarchie einer vernünftigen Implementierung näher?



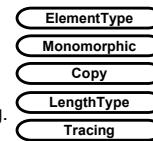
© 2006 Olaf Spinczyk

23

Merkmal-Modelle vs. GenVoca (4)

- Probleme (auf den ersten Blick):

- Mindestens ElementType und LengthType sollten eher keine Schicht, sondern Template-Parameter sein.
- Wo ist die eigentliche Listenverwaltung?
- Monomorphic und Copy **scheinbar** unabhängig.



- Gründe:

- Bei der Transformation vom Merkmalmodell in die Grammatik ist der Kontext der Merkmale verloren gegangen:
ElementType ist List/ElementType
Monomorphic ist List/Morphology/Monomorphic
Die Basisebene realisiert also bereits einige Listenfunktionen
- Der Name einer Schicht im FOP repräsentiert die **Implementierung** eines Merkmals. Ein Merkmal im Merkmaldiagramm hat mit der Implementierung nichts zu tun! Man muss daher **manuell anpassen**.

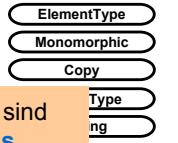
© 2006 Olaf Spinczyk

24

Merkmal-Modelle vs. GenVoca (4)

- Probleme (auf den ersten Blick):

- Mindestens ElementType und LengthType sollten eher keine Schicht, sondern Template-Parameter sein.
- Wo ist die eigentliche Listenverwaltung?
- Mon Merkmale im Sinne von FOP sind Elemente des **Lösungsraums**, während Merkmalmodelle den **Problemraum** beschreiben!
- Grüne Elemente des **Lösungsraums**, während Merkmalmodelle den **Problemraum** beschreiben!
- Bei der Kontrolle während Merkmalmodelle den **Problemraum** beschreiben!
- Monomorphic ist List/Morphology/Monomorphic
Die Basisebene realisiert also bereits einige Listenfunktionen
- Der Name einer Schicht im FOP repräsentiert die **Implementierung** eines Merkmals. Ein Merkmal im Merkmaldiagramm hat mit der Implementierung nichts zu tun! Man muss daher **manuell anpassen**.



© 2006 Olaf Spinczyk

25

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (1)

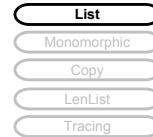
```

template <typename ElementType>
class List {
    // Datenelemente
    ElementType *head_; // Zeiger auf 1 Element
    List *tail_; // weitere Elemente
public:
    // Konstruktor: erzeugt eine neue Liste
    List(SetHeadElementType &h, List *t=0) :
        head_(0), tail_(0) {
            setHead(h);
    }

    // Initialisierung des Elements
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        head_ = &h; // hier wird nichts kopiert
                    // oder geprüft!
    }

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

```



© 2006 Olaf Spinczyk

26

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (1)

```

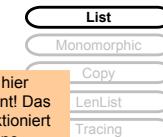
template <typename ElementType>
class List {
    // Datenelemente
    ElementType *head_; // Zeiger auf 1 Element
    List *tail_; // weitere Elemente
public:
    // Konstruktor: erzeugt eine neue Liste
    List(SetHeadElementType &h, List *t=0) :
        head_(0), tail_(0) {
            setHead(h);
    }

    // Initialisierung des Elements
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        head_ = &h; // hier wird nichts kopiert
                    // oder geprüft!
    }

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

```

Dieser Typ ist hier noch unbekannt! Das Fragment funktioniert daher nicht ohne Refinement.
Sicherzustellen über Design Rule Check.



© 2006 Olaf Spinczyk

27

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (2)

```

// Erweiterungen für „monomorphe“ Listen
template <typename ElementType>
refines class List {
    // hinzugefügte Funktion: so wird ein Element
    // in einer monomorphen Liste kopiert (evtl.)
    static ElementType *copy(const ElementType &e) {
        return new ElementType(e); // Copy-Kontruktor
    }

public:
    // Initialisierung des Elements erweitern
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        // Typüberprüfung mittels RTTI zur Laufzeit
        assert(typeid(e)==typeid(ElementType));
        super::setHead(h);
    }
};

```



- die **Monomorphic** Schicht trägt (wie **Polymorphic** auch) eine passende Kopierfunktion durch ein **Refinement** bei und erweitert **setHead** um eine Typprüfung.

© 2006 Olaf Spinczyk

28

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (3)

```
// Erweiterungen für kopierende Listen
template <typename ElementType>
refines class List {
public:
    // hinzugefügter Typ
    typedef const ElementType SetHeadElementType;

    // Initialisierung des Elements erweitern
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        if (head_) delete head_;
        // Kopieren mittels copy Funktion
        super::setHead(copy (h));
    }
    ~List () {
        // Speicherfreigabe im Destruktor
        delete head_;
    }
};
```



- die Copy Schicht erweitert setHead um das Kopieren und fügt einen Destruktorkonstruktor hinzu. Außerdem wird hier der Typ SetHeadElementType endlich definiert.



© 2006 Olaf Spinczyk

29

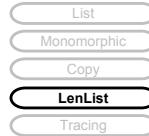
Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (4)

```
// Erweiterungen zum Zählen der Elemente
template <typename ElementType,
          typename LengthType>
class LenList : public List<ElementType> {
    LengthType length_; // Anzahl der Elemente
public:
    // Erweiterungen List<ElementTyp> ListType;
    LenList(SetHeadElementType &h, ListType *t=0) :
        ListType(h,t), length_(computedLength()) {}

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

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

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



- diese Schicht nutzt Vererbung, um die Länge als weiteren Template-Parameter einzubringen.

© 2006 Olaf Spinczyk

30

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (5)

```
// Erweiterungen zum Verfolgen des Kontrollflusses
template <typename ElementType>
refines class List {
public:
    // Methoden: Wrapper zur Ausgabe des Funktionsnamens
    void setHead(SetHeadElementType &h) {
        cout << "setHead(" << h << ")" << endl;
        super::setHead(h);
    }
    ElementType &head() {
        cout << "head()" << endl;
        return super::head();
    }
    void setTail(ReturnType *t) {
        cout << "setTail(t)" << endl;
        super::setTail(t);
    }
};
```



- das Refinement wirkt sich sowohl auf List als auch auf die abgeleitete LenList aus.
- leider aber nicht auf die LenList Methoden



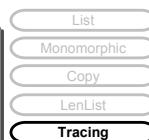
© 2006 Olaf Spinczyk

31

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (5)

```
// Erweiterungen zum Verfolgen des Kontrollflusses
template <typename ElementType,
          typename LengthType>
refines class LenList {
public:
    const LengthType &length() const {
        cout << "length()" << endl;
        return super::length();
    }

    LengthType computedLength() const {
        cout << "computedLength()" << endl;
        return super::computedLength();
    }
};
```



- das Refinement wirkt sich sowohl auf List als auch auf die abgeleitete LenList aus.
- leider aber nicht auf die LenList Methoden

© 2006 Olaf Spinczyk

32

Beispiel: eine Liste in FeatureC++ (6)

- um den Aufwand zu verringern, integriert FeatureC++ *Feature-Oriented Programming* und AOP mit AspectC++ :-)

```
// Erweiterungen zum Verfolgen des Kontrollflusses
aspect ListTracing {
    advice execution(derived(,List)) : before () {
        cout << JoinPoint::signature() << endl;
    }
};
```



- dabei werden Pointcuts beispielsweise automatisch so angepasst, dass sie sich nur auf Elemente in Basisebenen auswirken.
- die Kombination von AOP und FOP bietet noch viele spannende Forschungsthemen!

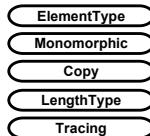


© 2006 Olaf Spinczyk

33

Beispiel: Fazit

- Vergleich zur generischen Implementierung aus „Synthesizing Objects“:
 - deutlich weniger Klassen
 - keine Template Metaprogramme
- Es gibt allerdings auch Nachteile:
 - weniger Konfigurierbarkeit durch den Anwendungscode
 - zusätzliche Spracherweiterung und Werkzeuge nötig
- Generell ist FOP eher für Konfigurierung im Großen gedacht, wo Generizität nicht erforderlich ist.
- FeatureC++ unterstützt Aspekte als eine interessante Ergänzung

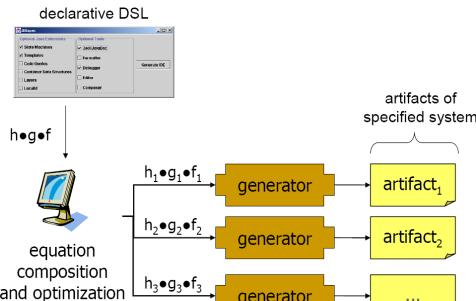


© 2006 Olaf Spinczyk

34

FOP Ausblick

- mit der AHEAD Tool Suite (ATS) wird die Vision verfolgt, FOP auf beliebige Artefakte (Klassen, Makefiles, Manuals, ...) anzuwenden [3].



© 2006 Olaf Spinczyk

35

Zusammenfassung

- FOP versucht, eine Verbindung herzustellen zwischen ...
 - Merkmale bzw. Merkmaldiagrammen und
 - geschichteten Softwarearchitekturen und
 - Entwurf und Implementierung
- Ziel: automatische Analyse, Optimierung und Generierung
- FOP eignet sich speziell für grobgranulare Konfigurierung
 - generische Programme, die viele Varianten gleichzeitig bereitstellen stehen nicht im Zentrum der Betrachtung
 - es geht um Produktlinien von denen z.B. ein Softwarehersteller einzelne statisch konfigurierte Varianten ausliefern will



© 2006 Olaf Spinczyk

36

Literatur

- [1] D. Batory, *Homepage of the Product-Line Architecture Research Group.*
<http://www.cs.utexas.edu/users/schwartz>
- [2] S. Apel, *Feature C++ Homepage.*
http://wwwiti.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/fcc/
- [3] D. Batory, J.N. Sarvela, A. Rauschmeyer, *Scaling Step-Wise Refinement*. International Conference on Software Engineering (ICSE 2003), May 2003.

