Betriebssystemtechnik

Programmfamilien

18. Mai 2009

Überblick

Motiv: Adaptierbarkeit von Systemsoftware [1]

Klagen über Softwaresysteme [2] — nach wie vor von hoher Aktualität. . .

> *We were behind schedule and wanted to deliver an early release with only a proper subset of intended capabilities, but found that that subset would not work until everything worked.*

> *We wanted to add simple capability, but to do so would have meant rewriting all or most of the current code.*

> *We wanted to simplify and speed up the system by removing unneeded capability, but to take advantage of this simplification we should have had to rewrite major sections of the code.*

> *Our SYSGEN was intended to allow us to tailor a system to our customers' needs but it was not flexible enough to suit us.*

Systemsoftware im Wandel von Anwendungsfällen

Konsequenzen aus den in [1, 2] genannten Szenarien erwarten Methoden, Konzepte und Techniken zum. . .

1. Bereitstellen von Vorversionen
2. Hinzufügen von (einfachen) Funktionen
3. Entfernen von unnötigen Funktionen
4. Maßschneidern der Systemsoftware

Punkte 1. – 3. zielen ab auf eine *hierarchische Struktur* des Systems vor allem in Form einer Programmhierarchie

- inkrementeller Entwurf mehrschichtig organisierter Softwaresysteme

Punkt 4. deutet hin auf Werkzeuge, die den Entwicklungsprozess von Systemsoftware unterstützen

- zur Adaptierung vorgefertigter Softwarebestandteile des Systems

Adaptierbarkeit $\neq$ Adaptivität

adaptiv ist ein System, wenn es sich selbständig an veränderte Bedingungen anpassen kann $\rightsquigarrow$ Selbstorganisation

- Fähigkeiten zur Reflektion/Introspektion *zur Laufzeit*
  - Programme kennen ihre eigene *Struktur* und können diese vorausahnend oder bei Bedarf *verändern*
  - ggf. Sprachunterstützung für *reflektive Programmierung*
- baut auf Funktionen für dynamisches Laden/Binden

adaptierbar ist ein System, wenn es durch externe Eingriffe an veränderte Bedingungen angepaßt werden kann

- Maßnahmen zur Konfektionierung *vor/zur Laufzeit*
  dynamisch $\models$ Laufzeit
  statisch $\models$ Kompilier-, Assemblier-, Binde-, Ladezeit
- erf. Werkzeuge/Dienstprogramme zur Konfigurierung

Beachte: *adaptierbar* zu sein bedeutet, *adaptiv* sein zu können...

Systemfähigkeit zur Adaptivität setzt Adaptierbarkeit voraus

Adaptierbarkeit $\rightsquigarrow$ Adaptivität

Fähigkeiten des Systems zur Adaptivität setzt auf Programmstrukturen, die bei Adaptierbarkeit bereits vorliegen (müssten)

- man könnte sagen: Adaptivität „benutzt“ Adaptierbarkeit
  adaptiv zu sein erfordert auf Maschinenprogrammebene wohl abgegrenzte Programmbestandteile
  - physische Modulstruktur

  adaptierbar zu sein impliziert, oberhalb dieser Ebene für derartige Abgrenzungen gesorgt zu haben
  - logische und ggf. auch physische Modulstruktur
- manifestiert sich in Entwurfsentscheidungen der Systemsoftware

Grundlage: Funktionale Hierarchie [3, S. 267]

- In a functional hierarchy where functions may actually be macros, a sequence of function calls may result in a single machine instruction (or possibly none at all) when the system is compiled.
- It ist the system *design* which is hierarchical, not its implementation.

Systemsoftware als Programmfamilie

☞ Spezialisierung $\hookrightarrow$ [2]

Some users may require only a subset of the services of features that other users need. These “less demanding” users may demand that they are not be forced to pay for the resources consumed by the unneeded features.

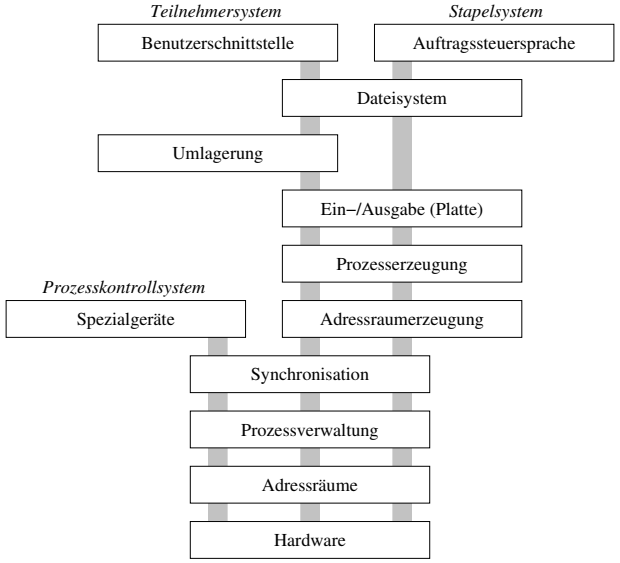
- auch Universalsysteme sind spezialisiert: für den Vielzweck...

☞ Wiederverwendung $\hookrightarrow$ [2]

We consider a set of programs to be a program family if they have so much in common that it pays to study their common aspects before looking at the aspects that differentiate them.

We want to exploit the commonalities, share code, and reduce maintenance costs.

Betriebssystemfamilie — FAMOS [3]



Betriebssystemfamilie — FAMOS (Forts.)

Gemeinsamkeiten

total $\rightleftharpoons$ „minimale Basis“

- Adressräume, Prozessverwaltung, Synchronisation

partiell $\rightleftharpoons$ „minimale Systemerweiterungen“

- Adressraum- und Prozesserzeugung
- Ein-/Ausgabe (Platte), Dateisystem

Unterschiede $\rightleftharpoons$ Rechnerbetriebsart

- Benutzerschnittstelle, Auftragssteuersprache, Spezialgeräte

Variabilitäten $\rightleftharpoons$ Spezialisierung

- Dateisystem fähig/unfähig zur Umlagerung von Programmen

Prinzip: Zurückstellung von Entwurfsentscheidungen ↪ [3]

- *decisions which restrict the family are postponed as far as possible*

Familienorientierter Entwurf

minimale Basis $\models$ minimale Teilmenge von Systemfunktionen

- umfasst zum Aufbau spezialisierter Systeme nützliche Funktionen
- besteht aus einen „kleinen Anzahl“ generalisierter Funktionen
- fokussiert viel mehr auf Mechanismen, weniger auf Strategien

minimale Systemerweiterungen

- entstehen schrittweise und aufbauend (engl. *bottom-up*)
  - sind dabei allerdings verfeinernd (engl. *top-down*) ausgelegt
- spezialisieren/individualisieren wiederverwendbare Bausteine
  - durch anwendungsfallspezifische funktionale Anreicherungen
- kapseln strategische, anwendungsbezogene Entwurfsentscheidungen

Prinzip: Inkrementeller Systementwurf ↪ [3]

- iterativ, stufenweise, in kleinen Schritten: Mut zur Vielschichtigkeit
- von unten (Generalisierung) nach oben (Spezialisierung)

Funktionale Anreicherung

Erweiterung einer vorhandenen Grundmenge von Systemfunktionen um zusätzliche Funktionen, strikt anwendungsfallspezifisch

wiederverwenden (engl. *reuse*)

- auf bestehende Implementierungen aufsetzen

umarbeiten (engl. *rewrite*)

- in bestehende Implementierungen eingreifen

ersetzen (engl. *replace*)

- mit bestehenden Implementierungen austauschen

Beachte: Kombinationen in der Vorgehensweise sind gang und gäbe

- Vererbung von Implementierungen/Schnittstellen (OOP)
- Einweben von Aspekten (AOP)

Funktionale Anreicherung (Forts.)

Methode der kleinen Schritte, resultiert in eine nicht selten sehr stark ausgeprägte Hierarchie abstrakter Maschinen [2]

> *Rather than write programs that perform the transformation from input to output data, we design software machine extensions that will be useful in writing many such programs.*

- dabei ist eine Offenlegung der Gesamtstruktur nicht zwingend
  - zuweilen kann zu tiefer Einblick auch hier noch abschreckend wirken
- Grad der Notwendigkeit dazu hängt ab von der Interessensgruppe

  transparent für den Laien
  - will anwenden, muss das Innenleben nicht verstehen

  intransparent für den Experten
  - will/muss verstehen, wie das System aufgebaut ist
- die Methode unterstützt Experten — und behindert Laien nicht...

Programmfamilie $\models$ Softwarefamilie bzw. -produktlinie

Produktlinie (Software) $\mapsto$ mehrere, individuelle Ausprägungen eines Softwareprodukts, erstellt auf Basis einer gemeinsamen Plattform [4]

- wesentliches Bestimmungsmerkmal ist dabei ihre Variabilität
  - technisch unterlegt durch ausgewiesene Variationspunkte, an denen Entwurfs-/Implementierungsentscheidungen offen bleiben
  - um Produkte abzuleiten, werden die dazu benötigten Varianten *gebunden*, genauer: konfiguriert, ersetzt oder weggelassen
- geht meist einher mit Einschränkung auf eine bestimmte Domäne
  - um Diversität der Produkte handhabbar(er) zu gestalten

Eine Programmfamilie ist eine Softwareproduktlinie, in der die Programme die individuellen Produkte sind oder sein können.

Domäne (frz. *domaine*; Herrschaft, Herrschaftsbereich)

Wissensbereich („an area of knowledge“ [5])

- abgegrenzt, definiert Konzepte, gibt eine Terminologie vor
- liefert Kentnisse über Prozesse zum Bau konkreter Systeme
- definiert sich durch alle, die ein Interesse an der Domäne haben
  - Management, Ein-/Verkauf, Marketing
  - Forschung, Entwicklung, Verwaltung, Fachverbände
  - Hersteller, Vertragspartner, Investoren, Kunden, Endnutzer
  - ⋮

Beispiele

- Hochleistungsrechnen (engl. *high-performance computing*, HPC)
  - Numerik, Graphik; Parallelverarbeitung (SIMD, MIMD)
- eingebettete Systeme
  - Motorsteuerungen, Wetterstationen, Spielgeräte, Sensornetze
- Informationssysteme, Transaktionssysteme, Datenzentren, ...

Softwarefamilie $\Longleftrightarrow$ Organisierte Wiederverwendung

Domänenentwicklung (engl. *domain engineering*)
Entwicklung der gemeinsamen und variablen Artefakte als Bestandteile der Plattform

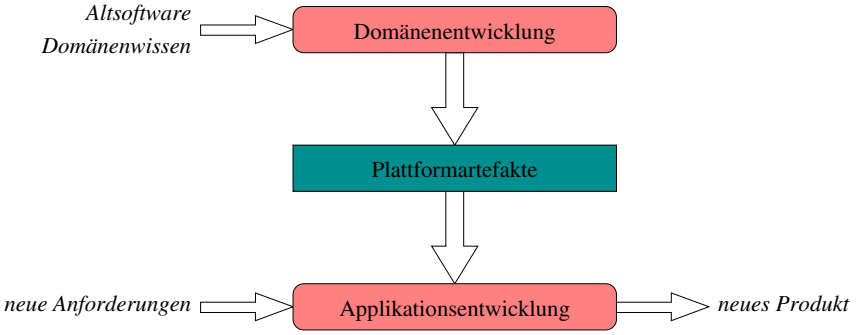
Applikationsentwicklung (engl. *application engineering*)
Ableitung einzelner Produkte der Produktlinie

- diese werden so weit wie möglich aus den Plattformartefakten zusammengefügt
  - konfiguriert
- so dass produktspezifische Entwicklung nur noch in gerigem Maße notwendig ist

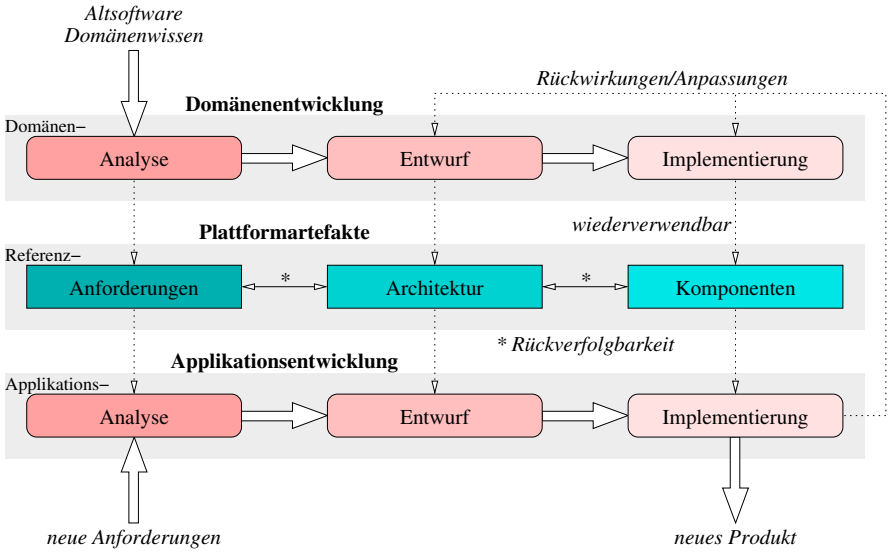
Softwareproduktlinie (engl. *software product line*) $\hookrightarrow$ [6, 7]

Im Vordergrund steht die aktive Gestaltung einer gemeinsamen Plattform für aktuelle und künftige Produkte.

Organisierte Wiederverwendung: Prozess



Organisierte Wiederverwendung: Prozess (PRAISE [8])



Produktlinienentwicklung

Domänenentwicklung

Analyse bestimmt den Zweck, dem die Familie dienen soll

Entwurf entscheidet über die in der Plattform benötigten Komponenten

Implementierung erstellen und erwerben von Komponenten und einer (die Produktfertigung) tragenden Infrastruktur

Applikationsentwicklung

Analyse bestimmt, was das für ein Produkt sein soll

Entwurf wählt die zur Herstellung des Produktes geeigneten Komponenten aus

Implementierung verbindet die Komponenten mittels einer Infrastruktur und ggf. weiteren, produktspezifischen Kode

Beachte: Wichtige Problemkreise in diesem Kontext

Rückverfolgbarkeit (engl. *traceability*) $\mapsto$ Konfigurations-/Versionsverw.

Rückwirkung (engl. *feedback*) $\mapsto$ lenkbarer Prozess

Produktlinienentwicklung (Forts.)

Domänenentwicklung

Problemraum $\models$ Variabilität

- funktionale, nichtfunktionale Eigenschaften
- Modell von Merkmalen

Lösungsraum $\models$ Implementierung

- verfügbare Komponenten
  - Software und Hardware
- Auswahlregeln

Applikationsentwicklung

Problemraum $\models$ Auswahl

- Beschreibung des jew. zu lösenden Problemfalls
- spezifisches Problem

Lösungsraum $\models$ Variante

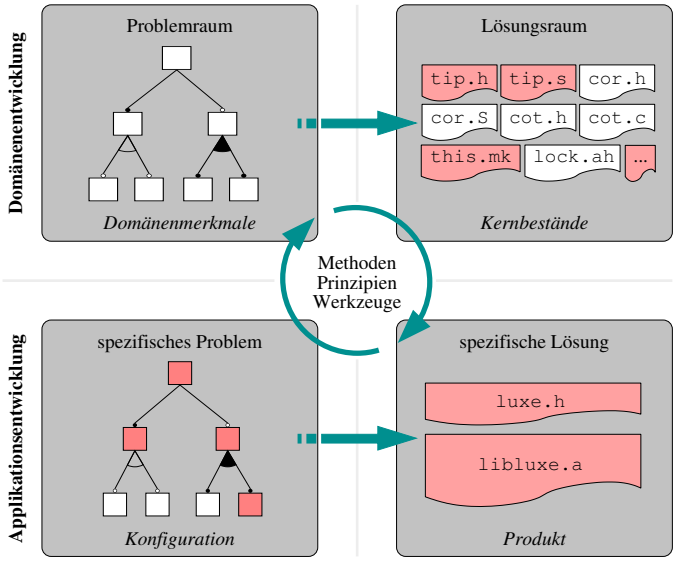
- integrierte Komponenten
  - Plattform und ggf. Appl.
- spezifische Lösung

Beachte: Änderungswünsche (engl. *change requests*) $\rightsquigarrow$ Risiko

Je Einzelfall ist zu entscheiden, ob nachträgliche Änderungen (a) in die Plattform einfließen oder (b) in der Applikation umgesetzt werden sollen

- Softwarefreigabedauer (a) vs. Wiederverwendungspotential (b)

Produktlinienentwicklung: Prozess



Merkmale der Systemfamilie bestimmen: Domänenanalyse

Domänenabgrenzung (engl. *domain scoping*)

- Auswahl und Aufbereitung von Wissen über die Domäne
- Festlegung von Einschränkungen zur...
  - Begrenzung der durch Diversität verursachten Komplexität
  - Maximierung der Wiederverwenbarkeit von Komponenten

Domänenmodellierung (engl. *domain modeling*)

- Auswertung des angesammelten Wissens
- Aufstellung einer Taxononie

Ergebnis der Domänenanalyse ist das **Domänenmodell**, d.h.:

Domänendefinition legt Bereich und Sparte der Systemfamilie fest

Domänenlexikon gibt das verwendete Vokabular und Begrifflichkeit vor

Konzeptmodelle zeigen Ziele, daraus abgeleitete Umsetzungsstrategien

Merkmalmodelle erfassen Anforderungen an die Systemfamilie

Domänenmodell $\rightleftharpoons$ Programmfamilie

Domänenmodell $\supset$ Merkmalmodell $\hookrightarrow$ [5]

- *A domain model is an explicit representation of the common and the variable properties of the system in a domain, the semantics of the properties and domain concepts, and the dependencies between the variable properties.*
- *Feature modeling is the activity of modeling the common and the variable properties of concepts and their interdependencies and organizing them into a coherent model referred to as feature model.*

Merkmalmodell $\models$ Programmfamilie $\hookrightarrow$ [2]

- *We want to exploit the commonalities, share code, and reduce maintenance costs.*

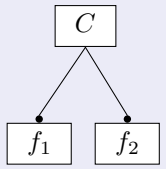
Modellierungsprozess

Kontinuierlicher, iterativer Prozess zum Finden und Dokumentieren von Merkmalen

Aktivitäten, die in kleinen, schnellen Schritten wiederholt durchgeführt werden („*micro-cycles*“ [9]):

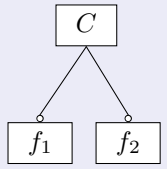
1. Gemeinsamkeiten von Entitäten notieren
   - diese benennen, ihnen gemeinsame Merkmale zuschreiben
2. Unterschiede zwischen Entitäten notieren
   - diese benennen, ihnen differenzierende Merkmale zuschreiben
3. Merkmale in Merkmaldiagrammen organisieren
   - Kombinationen von, Interaktionen zwischen Merkmalen spezifizieren
4. Merkmalkombinationen und -interaktionen analysieren
   - Abhängigkeiten und Konflikte ermitteln
   - weitere, im Modell „versteckte“ Merkmale identifizieren
     - die ggf. erst durch eingehende Analyse erkennbar werden
5. Aufnahme zusätzlicher Informationen zu den Merkmalen
   - Beschreibung, Vor-/Nachteile, Prioritäten, Einschränkungen, ...

Merkmaldiagramme: Elemente



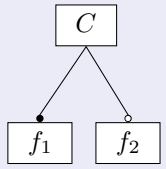
- Verpflichtungen
- $f_1 \cdot f_2$

zwingende Merkmale
f_1 und f_2 müssen einbezogen werden, wenn C ausgewählt wird



- Optionen
- $\emptyset, f_1, f_2, f_1 \cdot f_2$

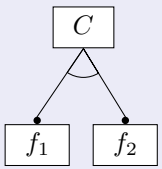
wahlfreie Merkmale
f_1 und f_2 können einbezogen werden, wenn C ausgewählt wird



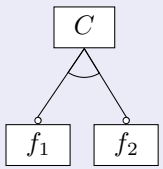
- Zusatzoption
- $f_1, f_1 \cdot f_2$

kombinierte Merkmale
f_1 muss, f_2 kann einbezogen werden, wenn C ausgewählt wird

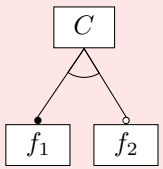
Merkmaldiagramme: Gruppen von Alternativen



- Alternative
- f_1, f_2



- Alternativoption
- $\emptyset, f_1, f_2$



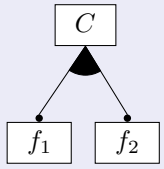
- nicht benötigt

$\equiv$ Alternativoption

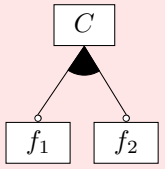
alternative Merkmale
f_1 oder f_2 müssen einbezogen werden, wenn C ausgewählt wird

wahlfrei alternative Merkmale
f_1 oder f_2 können einbezogen werden, wenn C ausgewählt wird

Merkmaldiagramme: Gruppen von Anhäufungen

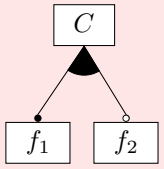


- Anhäufung
- $f_1, f_2, f_1 \cdot f_2$



- nicht benötigt

$\equiv$ Optionen



- nicht benötigt

$\equiv$ Optionen

kummulative Merkmale (auch: Oder-Merkmale)
weingstens eins von f_1 und f_2 muss einbezogen werden, wenn C ausgewählt wird

Kardinalitäten der Merkmaltypen

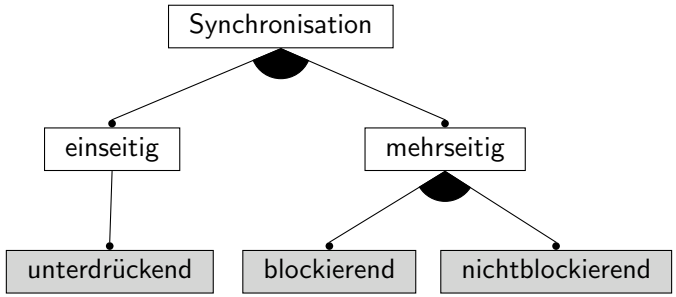
Merkmal	Varianten	Konfigurationen
zwingend	1	1
wahlfrei	2^n	2^{n-1}
kombiniert	$1 + 2^n$	$1 + 2^{n-1}$
alternativ	n	n
wahlfrei alternativ	$n + 1$	$n + 1$
kummulativ	$2^n - 1$	2^{n-1}

Varianten $\equiv$ Anzahl der nicht redundanten Kombinationen
Konfigurationen $\equiv$ Anzahl des Auftretens eines Merkmals f_i

Beachte: Kombinatorik und Komplexität

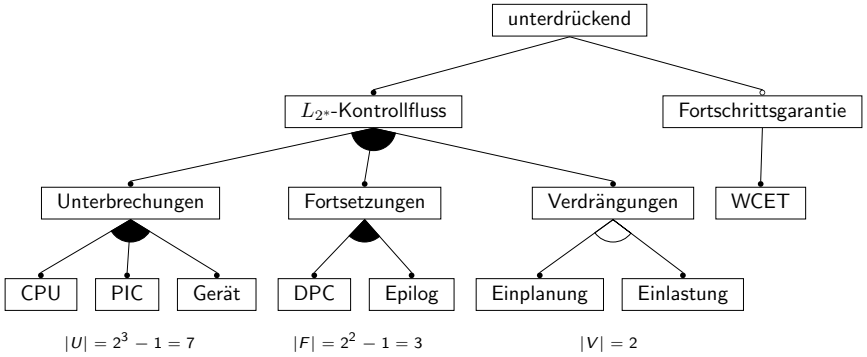
Die Zahl möglicher Anordnungen oder Auswahlen von unterscheidbaren Konfigurationen (ohne Beachtung der Reihenfolge von Merkmalen) hängt ab vom Aufbau des Merkmaldiagramms.

Fallstudie: Synchronisation



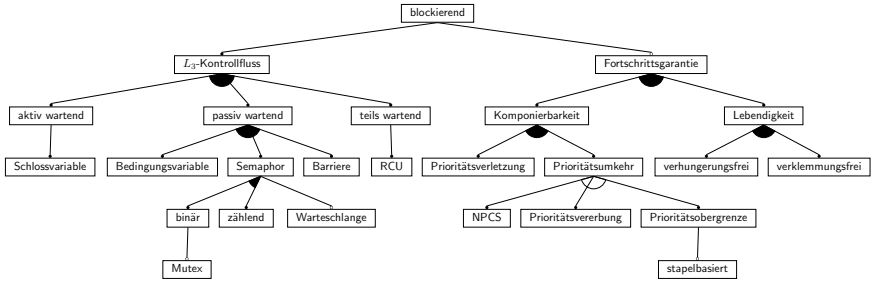
$|S| \geq 2^3 - 1 =$ weit mehr als 7 mögliche Konfigurationen

Fallstudie: Synchronisation (Forts.)



$$
\begin{aligned}
|u| &= 2 \times |L_{2*}K| \\
&= 2 \times (|U| + |F| + |V| + |U \cdot F| + |U \cdot V| + |F \cdot V| + |U \cdot F \cdot V|) \\
&= 2 \times (7 + 3 + 2 + 21 + 14 + 6 + 42) \\
&= 190 \text{ mögliche Konfigurationen}
\end{aligned}
$$

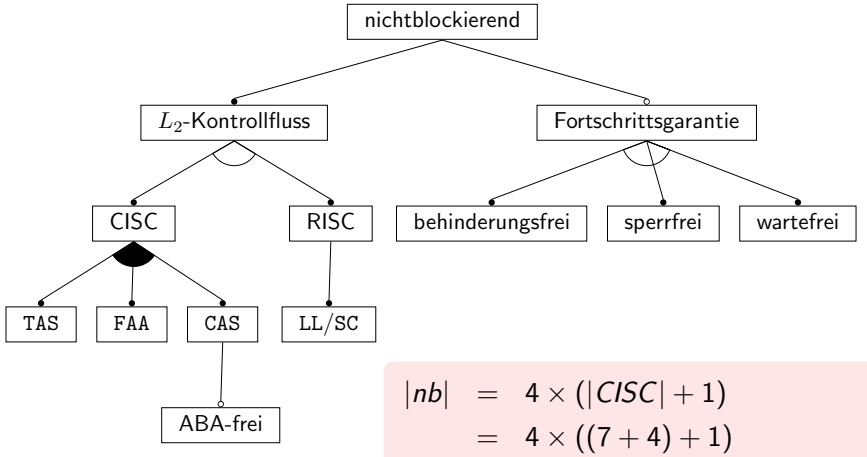
Fallstudie: Synchronisation (Forts.)



$$
\begin{aligned}
|Sem| &= 2 \times ((2 \times 3) - 1) = 10 \\
|pw| &= 3 + 4 \times |Sem| = 43 \\
|L_3K| &= 3 + 4 \times |pw| = 175 \\
|Pu| &= 4 \\
|K| &= 1 + 2 \times |Pu| = 9 \\
|L| &= 3 \\
|F| &= |K| + |L| + |K \cdot L| \\
&= 9 + 3 + 27 = 39
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
|b| &= 2 \times |L_3K| + |F| \\
&= 2 \times 175 + 39 \\
&= 389 \text{ mögliche Konfigurationen}
\end{aligned}
$$

Fallstudie: Synchronisation (Forts.)



$$
\begin{aligned}
|nb| &= 4 \times (|CISC| + 1) \\
&= 4 \times ((7 + 4) + 1) \\
&= 48 \text{ mögliche Konfigurationen}
\end{aligned}
$$

Resümee

Programmstrukturierung ⟷ Spezialisierung vs. Wiederverwendung

- Betriebssystemfamilie (FAMOS): Gemeinsamkeiten, Unterschiede
- inkrementeller Systementwurf, funktionale Anreicherung

Softwareproduktlinie ⟷ organisierte Wiederverwendung

- Domäne, Domänen- und Applikationsentwicklung, Prozess
- Domänen-/Applikationsanalyse, -entwurf, -implementierung
- Problem- und Lösungsraum

Merkmalmodellierung ⟷ Domänenanalyse

- Domänenabgrenzung und -modellierung
- (Merkmalmodell $\models$ Programmfamilie) $\subset$ Domänenmodell
  - Domänendefinition und -lexikon, Konzept- und Merkmalmodelle
- Modellierungsprozess, Merkmaldiagramme
- Fallstudie: Synchronisation $|S| \gg 627$ mögliche Konfigurationen

Literaturverzeichnis

[1] David Lorge Parnas.
On the design and development of program families.
IEEE Transactions on Software Engineering, SE-2(1):1–9, March 1976.

[2] David Lorge Parnas.
Designing software for ease of extension and contraction.
IEEE Transactions on Software Engineering, SE-5(2):128–138, 1979.

[3] Arie Nicolaas Habermann, Lawrence Flon, and Lee W. Cooprider.
Modularization and hierarchy in a family of operating systems.
Communications of the ACM, 19(5):266–272, 1976.

[4] Wikipedia Foundation Inc.
Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.
`http://de.wikipedia.org`.

Literaturverzeichnis (Forts.)

[5] Krysztof Czarnecki and Ulrich W. Eisenecker.
Generative Programming. Methods, Tools and Applications.
Addison-Wesley, May 2000.

[6] David M. Weiss and Chi Tau Robert Lai.
Software Product-Line Engineering: A Family-Based Software Development Process.
Addison-Wesley, 1999.

[7] Günter Böckle, Peter Knauber, Klaus Pohl, and Klaus Schmid.
Software-Produktlinien: Methoden, Einführung und Praxis.
dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg, 2004.

[8] Frank van der Linden.
Software product families in Europe: The Esaps & Café projects.
IEEE Software, 19(4):41–49, July/August 2002.

Literaturverzeichnis (Forts.)

[9] Krzysztof Czarnecki.
Generative Programming: Principles and Techniques of Software Engineering Based on Automated Configuration and Fragment-Based Component Models.
PhD thesis, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Germany, 1998.