Aspekt-orientierte Programmierung

Andreas Zeller
Lehrstuhl für Softwaretechnik
Universität des Saarlandes, Saarbrücken

2006-01-09

Separation der Interessen

Die Separation der Interessen (*separation of concerns*) ist ein Grundprinzip der Softwaretechnik.

Seit Beginn der Programmierung wurden Konzepte entwickelt, um Teile des Systems *isoliert* betrachten zu können.

Separation der Interessen: der *heilige Gral* der Softwaretechnik

Separation der Interessen (2)

Die Konzepte zur Separation der Interessen definieren ganze *Paradigmen* der Programmierung:

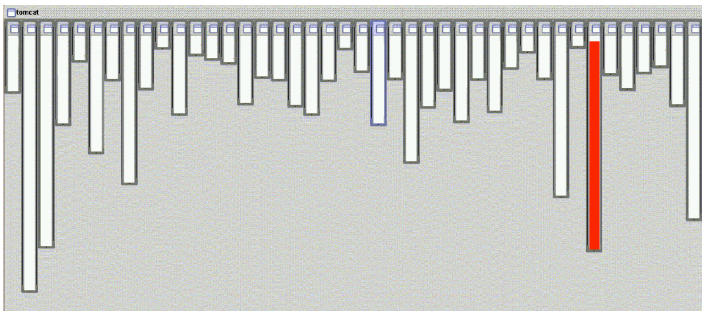
Unterprogramme und Funktionen in der imperativen Programmierung:
Jede Funktion realisiert eine bestimmte – Funktion.

Module und abstrakte Datentypen in der modularen Programmierung:
Ein Modul fasst Daten und Zugriffsfunktionen zusammen

Objekte und Klassen in der objektorientierten Programmierung
Oberklassen fassen Gemeinsamkeiten zusammen

Aspekte in Apache

Wir betrachten den Quellcode des *Apache*-Servers:

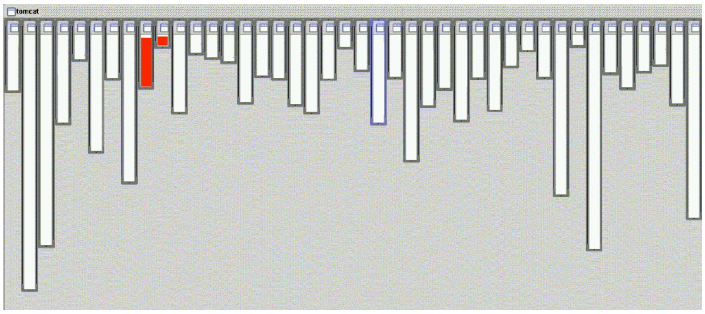


Der Code zum XML-Parsen steckt in einer eigenen Klasse (rot)

Quelle: aspectj.org

Aspekte in Apache (2)

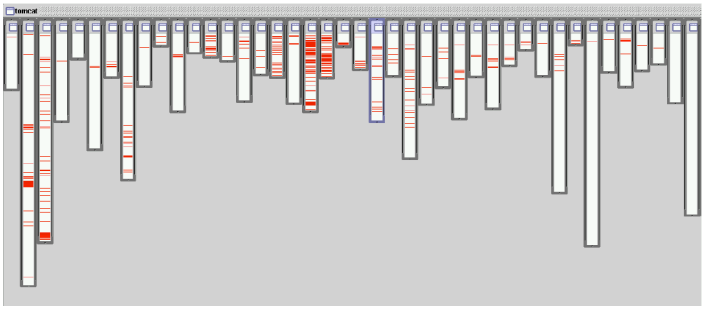
Auch der Code zum Matchen von URLs steckt in zwei Klassen (Ober- und Unterklasse):



Gute Separation der Interessen!

Aspekte in Apache (3)

Log-Meldungen aber sind über den gesamten Code verteilt:



Frage: Kann man das Logging besser lokalisieren?

Aspekte in Apache (4)

In den Apache-Methoden sind *mehrere Aspekte* verwoben:

- die *eigentliche Funktionalität* wie XML- oder URL-Parsen (nach denen sie Klassen zugeordnet sind)
- das *Logging,* das den Programmablauf dokumentiert

In Apache sind die Methoden den Klassen *gemäß der eigentlichen Funktionalität* zugeordnet ⇒ zufriedenstellende Struktur, „dominante Dekomposition“

Würde man alternativ eine Klasse mit der Zuständigkeit „Logging“ einführen, müssten alle Methoden, die Log-Ausgaben produzieren, dieser Klasse zugeordnet werden ⇒ monolithische Struktur!

Aspekte in Apache (5)

Die verwobenen Aspekte der Apache-Methoden machen jedoch Probleme.

Beispiel: *Wir führen ein neues Log-Format ein.*

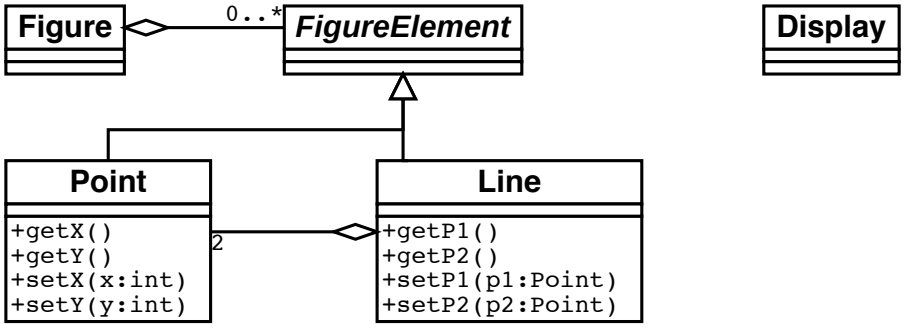
Folge: Wir müssen *alle Methoden ändern,* in denen Logging praktiziert wird.

Das Logging lässt sich nicht kapseln:

Tyrannei der dominanten Dekomposition!

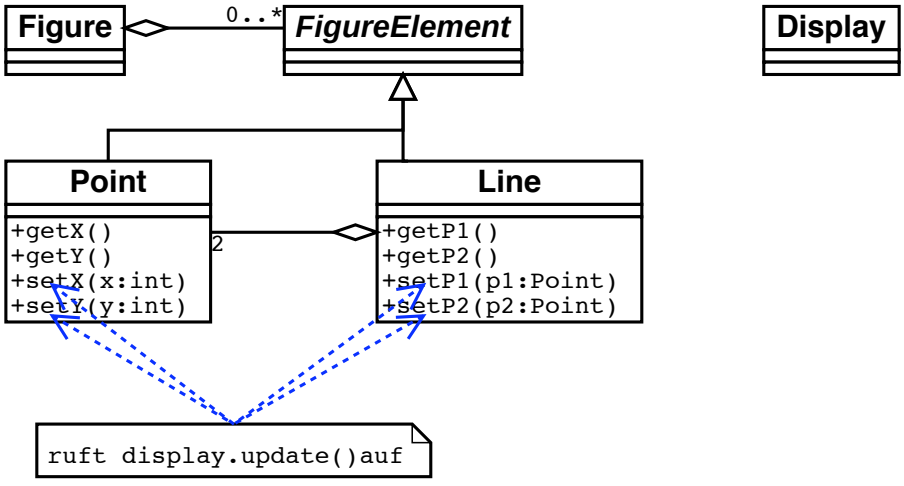
Aspekte beim Figurenzeichnen

Beispiel: Einfache Figurenbibliothek



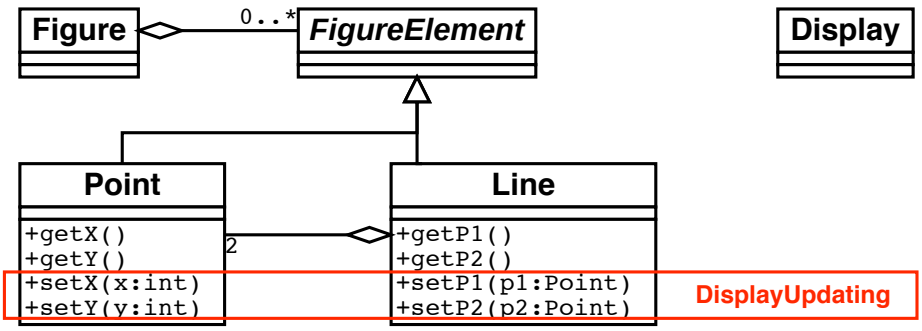
Aspekte beim Figurenzeichnen (2)

Jede `set`-Methode ruft `display.update()` auf:



Aspekte beim Figurenzeichnen (3)

Auch dies ist ein verwobener Aspekt:



Die set-Methoden

- ändern die jeweiligen Attribute (1. Aspekt) und
- aktualisieren die Anzeige (2. Aspekt)

Verwobene Aspekte

Generell machen verwobene Aspekte folgende Probleme:

Redundanter Code. Gleiche oder ähnliche Code-Fragmente finden sich an vielen Stellen im Programmtext

Schwer verständlicher Code. Aspekte wie „Logging“ oder „DisplayUpdating“ sind nicht als eigene syntaktische Einheit realisiert

Schwer änderbarer Code. Bei Änderungen müssen alle Code-Teile identifiziert werden (und konsistent und sicher geändert werden)

Aspekt-orientierte Programmierung

Modulübergreifende Sachverhalte („Aspekte“)

- treten in komplexen Systemen ständig auf
- haben eine klare Zuständigkeit
- haben eine klare Struktur:
  - bestimmte Menge von Methoden,
  - überschreiten Modulgrenzen,
  - werden an bestimmten Stellen benutzt

Also schaffen wir entsprechende *syntaktische Strukturen!*

Aspekt-orientierte Programmierung

Aspekt-orientierte Programmierung (AOP)

- führt Aspekte als *eigene syntaktische Strukturen* ein
- erhöht die Modularität von (OO-)Programmen in Bezug auf Aspekte.

Wozu ein neuer Ansatz?

Braucht man aspekt-orientierte Programmierung?
— *Nein, alles ist mit Objekten beschreibbar!*

Braucht man objekt-orientierte Programmierung?
— *Nein, alles ist mit Funktionen modellierbar!*

Braucht man Funktionen?
— *Nein, alles ist mit Sprüngen modellierbar!*

etc. etc.

Aspekte in AspectJ

AspectJ ist eine Erweiterung von Java (von XEROX PARC)

Grundideen:

- Aspekte (*aspects*) fassen Code (*advices*) zusammen, der an bestimmten Stellen im Programm (*join points, point cuts*) ausgeführt wird.
- Aspekte werden mit dem restlichen Code zu einem Java-Programm *verwoben*

Join Points

Ein *Join Point* ist ein wohldefinierter Punkt im Programmfluss.

AspectJ unterstützt zahlreiche Arten von Join Points. Wir betrachten zunächst nur einen, den *Aufruf einer Methode* (`call`):

Der Join Point `call(void Point.setX(int))` definiert den Aufruf der Methode `void Point.setX(int)`.

Weitere Arten: `get`, `set`, `within`, `cflow`...

Pointcuts

Ein *Pointcut* besteht aus bestimmten *Join Points* (und ggf. Werten an diesen join points).

In Pointcuts werden mehrere Join Points durch boolesche Operationen zusammengefasst.

Beispiel – Der Pointcut `setter` fasst die Join Points bei `setX` und `setY` zusammen.

```
pointcut setter(): (call(void Point.setX(int)) ||
                    call(void Point.setY(int)));
```

Pointcuts (2)

Der Pointcut `move` fasst alle Methodenaufrufe zusammen, die die Position eines Punktes oder einer Linie ändern:

```
pointcut move(): call(void Point.setX(int))   ||
                 call(void Point.setY(int))   ||
                 call(void Line.setP1(Point)) ||
                 call(void Line.setP2(Point));
```

Advices

Ein *Advice* ist Code, der ausgeführt wird, wenn ein *Pointcut* erreicht wird.

Ein *After Advice* („`after`“) wird *nach* dem Methodenaufruf des Join Points ausgeführt.

Beispiel – nach jedem Ändern einer Position einen Text ausgeben:

```
after(): move() {
    System.out.println("A figure element moved.");
}
```

Weitere Arten: before, around

Advices (2)

Advices können auf den *Kontext* der Join Points zurückgreifen.

Der Pointcut setP merkt sich, welche Linie und welcher Punkt im Aufruf von `void a_line.setP*(p)` betroffen sind:

```
pointcut setP(Line a_line, Point p):
    call(void a_line.setP*(p));

after(Line a_line, Point p): setP(a_line, p) {
    System.out.println(
        a_line + " moved to " + p + ".");
}
```

Aspects

Ein *Aspect* fasst Advices zu einer syntaktischen Einheit zusammen:

```
aspect DisplayUpdating {
    pointcut move(): call(void Point.setX(int))   ||
                     call(void Point.setY(int))   ||
                     call(void Line.setP1(Point)) ||
                     call(void Line.setP2(Point));

    after(): move() {
        Display.update();
    }
}
```

Aspects (2)

Wir benutzen den *Before Advice* („before“), der *vor* dem Methodenaufruf des Join Points ausgeführt wird.

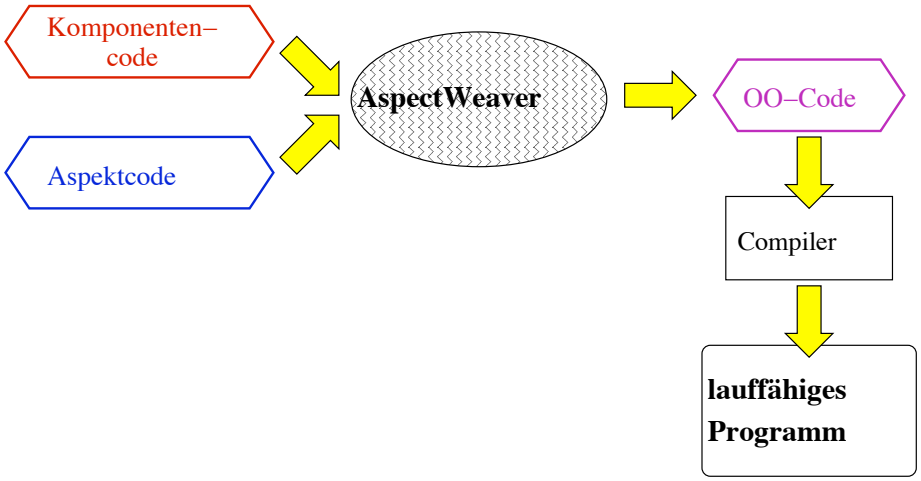
```
aspect CheckPointsRange {
    pointcut set_x(Point p, int x): call(void p.setX(x));

    before(): set_x(p, new_x) {
        if (x < MIN_X || x > MAX_X)
            throw new IllegalArgumentException(
                "x is out of bounds.");
    }

    // set_y analog
}
```

Aspect Weaver

Der *Aspect Weaver* fasst Aspekte und Code zusammen:



Anwendungen von Aspekten

Wir betrachten einige typische Anwendungen von Aspekten:

Entwicklung

- Logging
- Profiling

Produktion

- Änderungen verfolgen
- Konsistentes Verhalten

Logging

Wir definieren einen einfachen Aspekt zum Verfolgen von Aufrufen:

```
aspect SimpleTracing {
  pointcut tracedCall():
    call(void FigureElement.draw(GraphicsContext));

  before(): tracedCall() {
    System.out.println("Entering: " + thisJoinPoint);
  }
}
```

`thisJoinPoint` enthält den aktuellen Join Point

Profiling

Wir definieren einen Aspekt zum Zählen von Aufrufen:

```
aspect SetsInRotateCounting {
  int rotateCount = 0;  // aspects are singletons
  int setCount = 0;

  before(): call(void Line.rotate(double)) {
    rotateCount++;
  }

  before(): call(void Point.set*(int)) &&
            cflow(call(void Line.rotate(double))) {
    setCount++;
  }
}
```

`cflow(x)`: Kontrollfluss des Join Points x

Aspekte in der Entwicklung

AOP bietet Vorteile in der Entwicklung:

- Diagnose-Code ist leicht definierbar
- Diagnose-Code ist in Aspekt eingekapselt
- Diagnose-Code ist leicht kombinierbar und abschaltbar

Änderungen verfolgen

`MoveTracking` merkt sich, ob ein Objekt bewegt wurde:

```
aspect MoveTracking {
  private static boolean dirty = false;

  public static boolean testAndClear() {
    boolean result = dirty;
    dirty = false;
    return result;
  }

  pointcut move(): /* wie gesehen */;

  after() returning: move() { dirty = true; }
}
```

Konsistentes Verhalten

Wir möchten alle Fehler in Methoden `com.xerox.*` protokollieren:

```
aspect PublicErrorLogging {
    Log log = new Log();

    pointcut publicMethodCall():
        call(public * com.xerox.*.*(..));

    after() throwing (Error e):
        publicMethodCall() { log.write(e); }
}
```

Aspekte in der Produktion

Aspekte bieten Vorteile in der Produktion:

- Die Struktur der übergreifenden Zuständigkeit ist klar sichtbar
- Einfachere Evolution (z.B. `MoveTracking` merkt sich, welche Objekte bewegt wurden)
- Optionale Funktionalität (die in Aspekten gekapselt ist) und freie Konfigurierbarkeit
- Sicherere Implementierung (z.B. auch nach Hinzufügen einer Line-Unterklasse wird `Display.update()` aufgerufen)

Introduction

Mit AspectJ ist es auch möglich, bestehende Klassen zu verändern und zu erweitern (*introduction*):

```
aspect PointName {
    public String Point.name;
    public void Point.setName(String name) {
        this.name = name;
    }
}
```

fügt der Klasse Point ein neues Attribut `name` und eine Methode `setName` hinzu.

Introduction (2)

Introduction geht auch für mehrere Klassen gleichzeitig.

Beispiel – wir erlauben das Klonen von Figuren:

```
aspect CloneableFigures {

    declare parents: (Point || Line || Square)
        implements Cloneable;

    public Object (Point || Line || Square).clone()
        throws CloneNotSupportedException {
        return super.clone();
    }
}
```

Kritik an AOP

- *Nicht-lokaler* Aufbau von AOP-Programmen erschwert Verständnis (wie auch schon bei OO-Programmen)
- Mögliche *Interferenz* von Aspekten – Reihenfolge der Anwendung kann Schwierigkeiten bereiten
- Es ist kaum möglich, Aussagen über alle möglichen Aspekt-Kombinationen zu machen, da ein Aspekt alles ändern kann.
- Nutzen von AOP für orthogonale Funktionalität (z.B. Logging) ist unbestritten

Lohnt sich AOP?

Experiment (von Kiczales et al.): Überarbeitung eines Bildverarbeitungssystems

- Einsatz von Aspekten in der nichtoptimierten Variante, um Optimierungen einzufügen: Effizienzsteigerung um Faktor 100 (!)
- Überarbeitung der handoptimierten Variante: nur noch 1039 statt 35213 Zeilen

Lohnt sich AOP? (2)

Experiment (von Murphy et al.): Zwei Gruppen – eine AspectJ, eine Java

- Debugging: AspectJ-Gruppe schneller im Finden und Beheben von Fehlern
- Änderung eines existierenden Systems: Kein Unterschied

Zusammenfassung

- *Aspekt-Orientierte Programmierung* (AOP) führt mit *Aspekten* einen neuen Modularisierungsbegriff ein
- Aspekte ermöglichen es, existierenden Systemen nach Belieben Code hinzuzufügen, um das System *um genau definierte Funktionalitäten* zu erweitern
- Aspekte brechen die „Tyrannei der dominanten Dekomposition“
- Aspekte sind leicht wiederverwendbar und wartbar
- Aspekte sind (derzeit) rein syntaktische Erweiterungen
- Aspekte bringen die meisten Vorteile für orthogonale Funktionalität (etwa Fehlersuche)

Literatur

http://aosd.net/ – Alles über aspekt-orientierte Software-Entwicklung

http://eclipse.org/aspectj/ – Alles über AspectJ

http://www.research.ibm.com/hyperspace/ – Hyper/J, ein alternativer Ansatz („subjekt-orientierte Programmierung“)

Communications of the ACM, Oct. 2001 – Themenheft „Aspektorientierte Programmierung“

Zugang über ACM Digital Library (via Informatikbibliothek)