Informatik I: Einführung in die Programmierung

20. OOP: RoboRally als Beispiel

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Bernhard Nebel

23. Dezember 2016

1 Motivation

Motivation

- OOP kann man an kleinen Beispielen erklären.
- Interessant wird es aber eher bei größeren Beispielen.
- Da sieht man dann etwas vom OOP-Entwurf.
- Multi-Agenten-Systeme (aus der KI) kann man gut nutzen, da sie ja inhärent aus selbständig agierenden Einheiten bestehen
- Einfacher ist vielleicht ein Spiel, bei dem es kleine Roboter gibt
- Außerdem müssen wir ja auch noch ein Weihnachtsgeschenk basteln ...

RoboRally

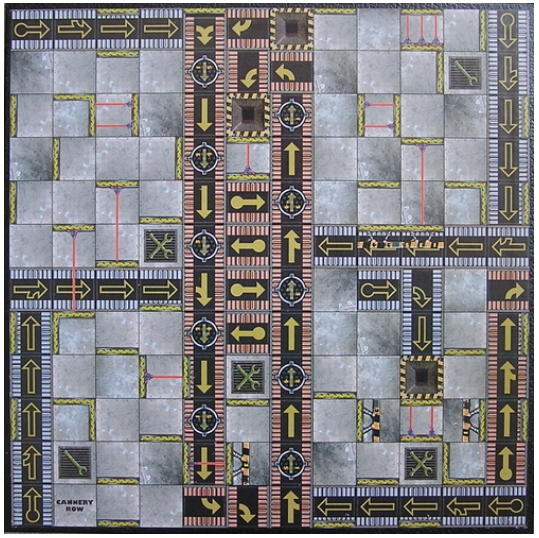
- RoboRally ist ein Brettspiel für 2-8 Personen entworfen von Robert Garfield, herausgegeben von *Wizards of the Coast*, 1994.
- Auszeichnung als bestes Science Fiction/Fantasy Spiel 1994

Die Story

- Als einer von vielen Supercomputern in einer vollautomatischen Fabrik haben Sie es geschafft. Sie sind brillant, leistungsstark, hochentwickelt und... gelangweilt.
- Also machen Sie sich Freude auf Kosten der Fabrik.
- Mit den anderen Computern programmieren Sie Fabrikroboter und lassen sie gegeneinander antreten in wilden, zerstörerischen Rennen über die Fabrikflure. Seien Sie der erste, der die Checkpoints in richtiger Reihenfolge anfährt und *gewinnen* Sie alles: die Ehre, den Ruhm und Neid Ihrer mitstreitenden Computer.
- Aber zuerst muss Ihr Roboter an Hindernissen wie Industrielaser und Fließbändern vorbei und natürlich an den gegnerischen Robotern.
- Aber Vorsicht: Einmal programmiert, lässt sich so ein Roboter nicht mehr stoppen...

2 Die Spielregeln

Ein Spielbrettbeispiel



Die Bestandteile des Spiels

- 8 verschiedene Spielsteine – die Roboter
- 6 verschiedene Spielbretter, die auch zusammen gelegt werden können
- 84 verschiedene Programmierkarten, die Befehle wie *1 Feld vorwärts*, *2 Felder vorwärts*, *Linksdrehung* usw. sowie Prioritäten enthalten
- 26 Optionskarten, und
- zusätzliche Markierungen und Zähler, um die Ziele festzulegen und den Zustand der Roboter abzubilden

Spielablauf

- Es wird das Spielbrett ausgewählt, die nummerierten Checkpoints gesetzt (die nacheinander zu besuchen sind) und die Roboter auf die Startfelder gesetzt.
- Jetzt wird in jeder Runde folgendes gemacht:
  1. Jeder Spieler erhält verdeckt 9 Programmierkarten (außer der Roboter ist abgeschaltet).
  2. Davon wählt er fünf zur Programmierung aus, die er verdeckt in einer Reihe „in die Register 1–5“ hinlegt.
  3. Jetzt muss man ggfs. eine Abschaltung ankündigen.
  4. Dann werden die fünf so genannten Registerphasen 1–5 ausgeführt, in denen die Roboter bewegt und durch die Fabrikelemente und andere Roboter herum geschubst werden.
  5. Steht der Roboter am Ende einer Runde auf einem Reparaturfeld, werden Schäden repariert.
- Man hat gewonnen, wenn man am Ende einer Registerphase den letzten Checkpoint erreicht hat.

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Eine Registerphase

1. Es werden die Karten aller Spieler eines Registers umgedreht.
2. Die Karten werden absteigend nach ihrer Priorität geordnet.
3. Beginnend mit der höchsten Priorität, werden die Roboter entsprechend ihrer Programmierkarte bewegt.
4. Danach wirken jeweils die Fabrikelemente auf die Roboter ein (inkl. Laser) und die Roboter schießen mit ihrem Laser auf andere Roboter.
5. Steht ein Roboter jetzt auf einem Checkpoint oder Reparaturfeld, darf er das Feld markieren (mit dem Archivkopie-Marker) bzw. hat gewonnen, wenn er das Zielfeld erreicht hat.

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Bewegung des Roboters

- Es gibt folgende Karten:
  - 1, 2, oder 3 Felder vorwärts,
  - 1 Feld rückwärts,
  - links oder rechts 90° Drehung,
  - 180° Drehung.
- Der Roboter bewegt sich schrittweise auf dem Spielfeld.
- Fällt er dabei in eine Grube, ist er zerstört (er hat allerdings 3 Leben!).
- Fährt er gegen eine Wand, bleibt er stehen.
- Fährt er gegen einen anderen Roboter, wird dieser auf das Nachbarfeld geschubst. Steht der andere Roboter allerdings vor einer Wand, bleiben beide Roboter stehen. Das gilt auch für Schlangen von Robotern.
- Üben wir das mal: `http://www.wizards.com/avalonhill/robo_demo/robodemo.asp`

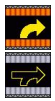
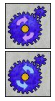
Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Fabrikelemente (1)

	Offener Bereich: Hier kann sich der Roboter frei bewegen.
	Wand: Hier wird der Roboter (und der Laser) gestoppt.
	Fallgrube (Pit): Kommt der Roboter auf dieses Feld, fällt er in die Grube und ist zerstört. Dies gilt auch, wenn der Roboter das Spielfeld verlässt.
	Förderband (Conveyor belt): Hier wird der Roboter ein Feld in die angezeigte Richtung transportiert.
	Express-Förderband: Der Roboter wird 2 Felder transportiert.

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Fabrikelemente (2)

	Drehendes (Express-)Förderband: Der Roboter wird in die angegebene Richtung gedreht, wenn er von einem anderen Förderbandfeld kommt.
	Schieber (Pusher): Schiebt den Roboter auf das Nachbarfeld, falls *aktiv* (während der angegebenen Registerphasen).
	Drehscheibe (Gear): Der Roboter wird um 90° in die angegebene Richtung gedreht.
	Schrottpresse (Crusher): Falls die Presse *aktiv* ist (während der angegebenen Registerphasen), wird der Roboter, der auf diesem Feld steht, zerstört.

Fabrikelemente (3)

	Es wird ein Laserstrahl abgeschossen, der alle Roboter auf dem Weg beschädigt, falls sie nicht hinter einer Wand oder einem anderen Roboter stehen.
	Reparaturfeld: Hier wird am Ende jeder Registerphase eine Archivkopie abgelegt. Am Ende einer Runde wird entsprechend der Anzahl der Schraubenschlüssel Schadenspunkte reduziert.
	Checkpoints: Diese müssen in der nummerierten Reichenfolge angelaufen werden. Auch hier wird am Ende einer Registerphase eine Archivkopie abgelegt.

Fabrikablauf (Schritte)

1. Expressförderbänder bewegen sich um ein Feld.
2. Expressförderbänder und Förderbänder bewegen sich um ein Feld. Kommt es dabei zu Kollisionen zwischen Robotern, werden diese nicht bewegt.
3. Schieber werden aktiv.
4. Drehscheiben drehen sich.
5. Schrottpressen werden aktiv.
6. Die Standlaser und die Robotlaser (zielen nach vorne) werden aktiviert.
7. Danach werden die Checkpoints und Reparaturfelder bearbeitet.

Gleich mal ausprobieren mit Passwort GEARHEAD: `http://www.wizards.com/avalonhill/robo_demo/robodemo.asp`

Beschädigungen

- Bei jedem Lasertreffer gibt es einen Schadenspunkt und bei jeder Wiederbelebung zwei.
- Bei 10 Schadenspunkten wird der Roboter zerstört.
- Für jeden Schadenspunkt gibt es eine Programmierkarte weniger.
- Bei mehr als 5 Schadenspunkten werden die Register absteigend von Register 5 gesperrt, d.h. die dort liegende Karte bleibt liegen und wird in jeder Runde ausgeführt.
- Schadenspunkte werden auf Reparaturfeldern reduziert.
- Abschaltung reduziert die Schadenspunkte auf Null.

Zerstörung und Wiederbelebung

- Ein Roboter wird zerstört, wenn er
  1. in eine Grube fährt,
  2. über den Spielfeldrand hinaus fährt,
  3. durch eine Schrottpresse zerkleinert wird, oder
  4. zu viele Schadenspunkte (10) angesammelt hat.
- Der Roboter wird dann sofort aus dem Spiel genommen.
- In der nächsten Runde darf er dann an der Stelle weitermachen, an der die letzte Archivkopie liegt (unter Abzug von zwei Schadenspunkten und einem Lebenspunkt).
- Beginnen zwei Roboter ihren Zug gleichzeitig auf einem Feld, so starten sie virtuell. D.h. sie interagieren mit allen Fabrikelementen, aber nicht mit anderen Robotern und deren Lasern. Sie materialisieren sich vollständig, wenn sie am Ende einer Runde alleine auf einem Feld stehen.

Optionskarten

- Außerdem gibt es noch Optionskarten, die man statt zwei Reparaturpunkten aufnehmen kann.
- Dieses sind z.B. Waffenmodifikation, zusätzliche Waffen, Neuprogrammierung, Modifikation der Aktion usw.
- Wir wollen diese aber im weiteren erst einmal ignorieren.

3 Eine OOP-Analyse

Einschränkungen

- Wir wollen nicht das gesamte Spiel modellieren (zumindest nicht heute).
- Speziell sollen nur folgende Dinge modelliert werden:
  - die *Ausführung einer Programmierkarte*,
  - *freie Plätze, Gruben, Wände, Drehscheiben, Schieber, Laser, Förderbänder.*
- Rudimentäre Benutzerschnittstelle:
  - Einfache Eingabe der Instruktion als Funktionsaufrufe/Methoden
  - Ausgabe: Ein Trace der Operationen und u.U. das resultierende Spielfeld.
- Allerdings soll die Programmierung so flexibel erfolgen, dass das Programm einfach erweitert werden kann, um das Spiel letztendlich vollständig abzudecken und eine GUI zu integrieren.

OO-Analyse

- Für die OO-Analyse gibt es diverse Werkzeuge: Schraubenzieher, Löffel, Messer, Gabel, ...
- Natürlich formale Werkzeuge: UML, ER-Modelle, ... (die wir hier ignorieren wollen)
- Man beginnt damit, die verschiedenen Arten von Objekten zu skizzieren,
- eine Vererbungs- und Enthaltenssein-Struktur zu bestimmen,
- Attribute festzulegen,
- und die Operationen/Methoden festzulegen.
- Wichtig: Es soll kein prozedurales Design sein, bei dem eine zentrale Instanz sequentiell mit riesigen Fallunterscheidungen das Problem löst, sondern die Objekte sollen selbständig ihre Aufgaben lösen, ggfs. durch Delegation!

OO-Design: Beispiel

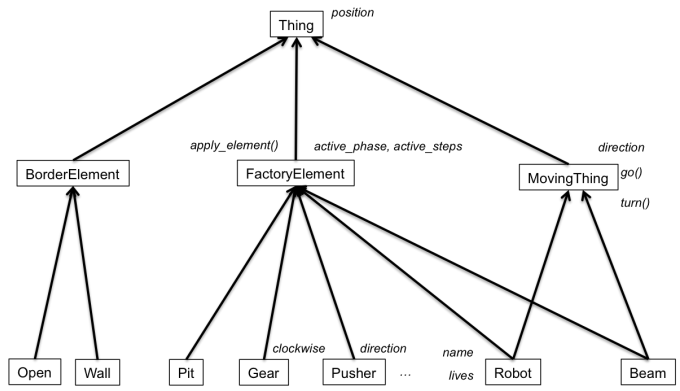
- Wenn sich ein Roboter auf das Nachbarfeld bewegen will, könnte er
  - überprüfen, ob eine Wand seinen Weg blockiert und stehen bleiben (prozedurales Design);
  - eine Methode eines Grenzobjekts aufrufen, in der dann die entsprechende Bewegung durchgeführt, und der Erfolg dann zurückgegeben wird (OO-Design).
- Im zweiten Fall könnten Erweiterungen, wie halbdurchlässige Wände, Türen, die nur in bestimmten Registerphasen offen sind, usw. als zusätzliche Klassen realisiert werden, ohne dass man an der Robot-Klasse etwas ändern muss.
- Objekteigenschaften in den Klassen lokalisieren, zu denen sie gehören!

Objekte in unserem Spiel

- Bewegliche Elemente: Roboter, Laserstrahlen (als Objekte die fliegen)
- Fabrikelemente: freie Plätze, Förderbänder, Drehscheiben, Gruben, Laser, Roboter (da sie Laserstrahlen schießen), Laserstrahlen (da sie auf Roboter einwirken)
- Grenzelemente: Freie Übergänge, Spielrandbegrenzung, Wände, ...
- die Fabrik,
  - allerdings nur eine,
  - soll sie nach außen hin Services (=Methoden) anbieten?

Erste Struktur-Idee

Wir können alle Klassen, die auf dem Spielplan eine Rolle spielen, in einer Hierarchie anordnen und ihre Methoden und Attribute vorläufig festlegen.

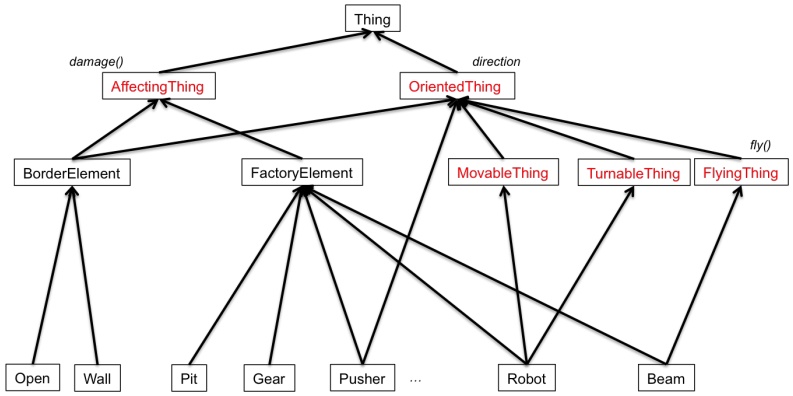


Einige Beobachtungen

- Wir haben Mehrfachvererbung (da Roboter sich bewegende Dinge und Fabrikelemente sind)
- Das geht tatsächlich in Python!
- Wir könnten tatsächlich die Klassenstruktur noch etwas verfeinern:
  - Man kann eine Unterscheidung zwischen orientierten und nicht-orientierten DIngen vornehmen (`OrientedThing`).
  - Es gibt Dinge, die sich drehen können (`TurnableThing`).
  - Manche Dinge können auf Roboter einwirken, indem sie in beschädigen (`AffectingThing`).
  - Wir wollen auch einen Unterschied machen zwischen beweglichen Dingen und fliegenden Dingen (`MovableThing` und `FlyingThing`).

Neue Struktur

Neue Klassen sind rot markiert:



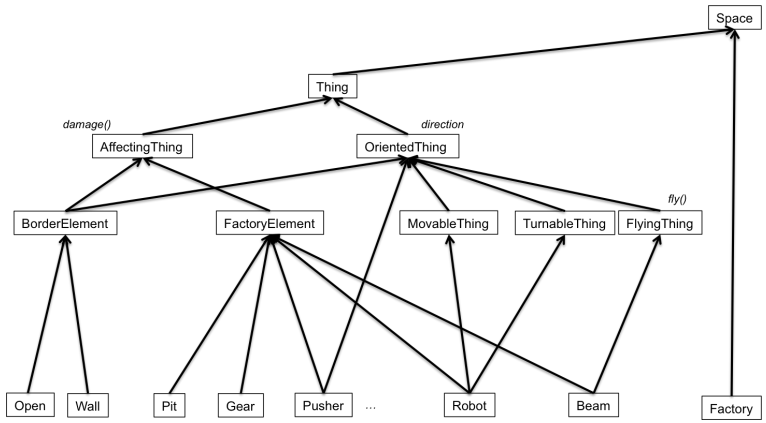
Die `Factory`-Klasse

- Neben den Objekten auf dem Spielfeld benötigt man auch noch ein Objekt, das alle anderen Objekte zusammen fasst, um z.B. die Kommunikation zwischen den Objekten zu ermöglichen.
- Außerdem muss der Ablauf der verschiedenen Phasen und Schritte kontrolliert werden.
- Dafür gibt es die `Factory`-Klasse. Diese enthält das Spielfeld mit all seinen Elementen.
- Der interessanteste Punkt ist die Zusammenarbeit zwischen der Factory und den Robotern.
- Das `Factory`-Objekt anthält alle anderen Objekte. Damit diese Objekte untereinander kommunizieren können (z.B. Grenzobjektmethode aufrufen), benötigen sie den Zugriff auf das `Factory`-Objekt.
- Wenn ein Objekt in der `Factory` installiert wird, trägt die `Factory` einen Verweis auf sich in das Objekt ein.

Die `Space`-Klasse

- Die Änderung der Orientierung und Bewegung anhand der Orientierung eines Objekts spielen eine zentrale Rolle.
- Erst dachte ich, dass man das in der Klasse OrientedThing lokalisieren könnte, aber das scheint vernünftigerweise nicht möglich zu sein. `Factory` benötigt auch die Operationen.
- Dies ist nun Teil der `Space`-Klasse, die Wurzelklasse ist – unterhalb von `object`, die implizit Python-Superklasse aller Klassen ist.
- Dort gibt es einige Methoden um Richtungen und Nachbarfelder zu bestimmen.

Finale Klassenstruktur



Welche Klasse ist wohl konzeptuell am anspruchvollsten?

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

4 Exkurs: Mehrfachvererbung

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Mehrfachvererbung in Python

- Mehrfachvererbung ist in Python möglich. Dabei ist das Folgende zu beachten:
  1. Bei der Suche nach dem zu ererbenden Attribut oder zu ererbenden Methode wird die Method-Resolution-Order (MRO) angewandt, bei der alle Unterklassen vor Oberklassen und ansonsten links vor rechts gesucht wird.
  2. Links und rechts ergibt sich durch die Nennung der Klassen in der Liste der Superklassen einer neuen Klasse.
  3. Annahme: Wir haben eine Methode *A* in `FactoryElement` und in `OrientedThing`. Welche wird in `Pusher` ererbt?
  4. Allerdings sollte man im Normalfall solche Konflikte nicht haben, da man ja gerade Klassen kombinieren möchte, die keine Gemeinsamkeiten (außer ihrer Superklasse) haben.

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Mehrfachvererbung: `super()` gefährlich

- `super()` ist problematisch:
  1. Bei Erweiterungen von Methoden mit Hilfe von `super()` muss man mit einbeziehen, dass die Signatur (die Parameterstruktur) u.U. unbekannt ist: Man verwende eine kooperative Weise der Bearbeitung der Parameter mit Hilfe von positionalen und Schlüsselwortlisten (*list, **kwlist)
  2. Dies betrifft in den meisten Fällen die `__init__`-Methode.
  3. Es muss immer eine oberste Klasse geben, die den Schluss der `super()`-Aufrufe bildet (bei `__init__` ist das implizit `object`).
  4. Achtung: Wegen der MRO ist es möglich, dass mit `super()` nicht eine Superklasse sondern eine Geschwisterklasse als nächstes aufgerufen wird (z.B. bei `__init__` mit `super()` in allen Klassen im Beispiel: `TurnableThing` nach `MovableThing`).

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

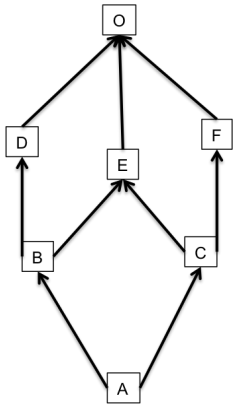
MRO - einfach gemacht

- Im Normalfall kann man die MRO mit den Regeln *links vor rechts*, wobei immer *Unterklasse vor Oberklasse* kommen muss, einfach selbst bestimmen.
- Im Beispiel: `Robot`, `FactoryElement`, `AffectingElement`, `MoveableThing`, `TurnableThing`, `OrientedThing`, `Thing`, `Space`, `object`.
- Die Standard-Klassenmethode `mro()` gibt die Liste der Oberklassen entsprechend der MRO aus.

Python-Interpreter

```
>>> Robot.mro()
[<class '__main__.Robot'>, <class '__main__.FactoryElement'>, <class
'__main__.AffectingElement'>, <class '__main__.MoveableThing'>, <class
'__main__.TurnableThing'>, <class '__main__.OrientedThing'>, <class '__main__.Thing'>,
<class '__main__.Space'>, <class 'object'>]
```


MRO - komplizierter Fall

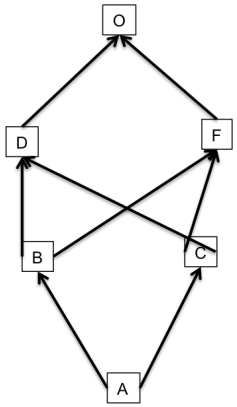


MRO-complex.py

```
class D: pass
class E: pass
class F: pass
class B(D, E): pass
class C(E, F): pass
class A(B, C): pass
```

MRO: A, B, D, C, E, F, O

MRO - hoffnungsloser Fall



MRO-fail.py

```
class D: pass
class F: pass
class B(D, F): pass
class C(F, D): pass
class A(B, C): pass
```

MRO: A, B, C, ? → Python-Fehler

Der C3-Algorithmus

- Wie kann man die Vererbungsstrategie formal beschreiben?
- Die Linearisierung einer Klasse C mit den (geordneten) Superklassen $S_1, \ldots, S_n$, symbolisch $L(C)$, ist eine Liste von Klassen, die rekursiv wie folgt gebildet wird:

$$L(C) = [C] + merge(L(S_1), \ldots, L(S_n), [S_1, \ldots, S_n])$$

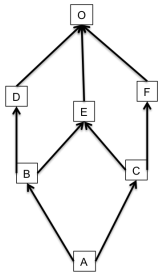
- Die Funktion *merge* selektiert dabei nacheinander Elemente aus den Listen und fügt diese der Linearisierung hinzu.

Die *merge*-Funktion

1. Es wird das erste Elemente (der head) der ersten Liste betrachtet.
2. Taucht dieses nicht als zweites oder späteres Element in einer anderen Liste auf (im tail), dann wird es zur Linearisierung hinzugenommen und aus allen Listen gestrichen.
3. Ansonsten lässt man die erste Liste so und probiert das erste Elemente der nächsten Liste usw.
4. Nachdem ein Element entfernt wurde, fängt man wieder mit der ersten Liste an.
5. Können so alle Listen geleert werden, ist das Ergebnis die Linearisierung von C.
6. Ansonsten gibt es keine Linearisierung!

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

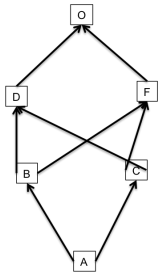
Beispiel: Der komplexe Fall



1. $L(O) = [O]$
2. $L(D) = [D] + merge(L(O), [O]) = [D, O]$
3. $L(E) = [E, O]$
4. $L(F) = [F, O]$
5. $L(B) = [B] + merge(L(D), L(E), [D, E])$
6. $L(B) = [B] + merge([D, O], [E, O], [D, E])$
7. $L(B) = [B, D, E, O]$
8. $L(C) = [C, E, F, O]$ analog
9. $L(A) = [A] + merge(L(B), L(C), [B, C])$
10. $L(A) = [A] + merge([B, D, E, O], [C, E, F, O], [B, C])$
11. $L(A) = [A, B, D, C, E, F, O]$

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Beispiel: Der hoffungslose Fall



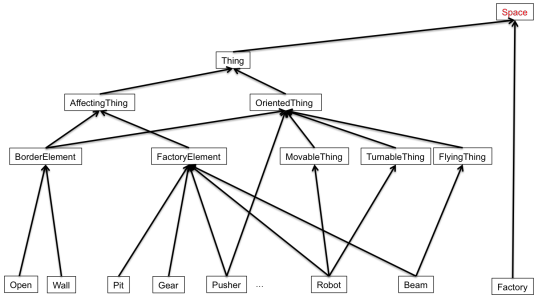
1. $L(O) = [O]$
2. $L(D) = [D] + merge(L(O), [O]) = [D, O]$
3. $L(F) = [F, O]$
4. $L(B) = [B] + merge(L(D), L(F), [D, F])$
5. $L(B) = [B] + merge([D, O], [F, O], [D, F])$
6. $L(B) = [B, D, F, O]$
7. $L(C) = [C] + merge(L(F), L(D), [F, D])$
8. $L(C) = [C] + merge([F, O], [D, O], [F, D])$
9. $L(C) = [C, F, D, O]$
10. $L(A) = [A] + merge(L(B), L(C), [B, C])$
11. $L(A) = [A] + merge([B, D, F, O], [C, F, D, O], [B, C])$
12. $L(A) = ?$

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

5 Programmentwurf

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Klassenhierarchie: Die Space-Klasse



Die Space-Klasse (1)

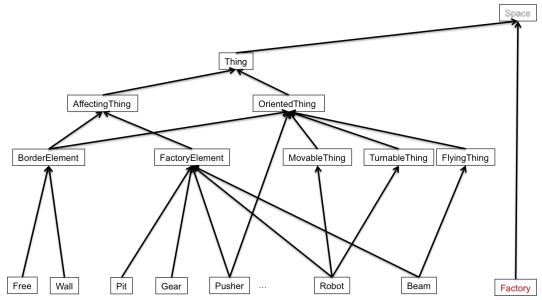
- Es wird das normale kartesische Koordinatensystem angenommen.
- Die Himmelsrichtungen dienen zur Beschreibung der Orientierung.
- Wir müssen die Himmelsrichtungen transformieren können.
- Wir wollen das Nachbarfeld eines gegebenen Feldes bei gegebener Himmelsrichtung bestimmen. D.h. bei 'Nord' wird auf die y-Komponente eins addiert.

Die Space-Klasse (2)

roborally.py

```
class Space:
    left_trans = dict(N="W", E="N", S="E", W="S")
    move_xy = dict(N=(0,1), E=(1,0), S=(0,-1), W=(-1,0))
    def to_left(self, dir):
        return self.left_trans[dir]

    def to_back(self, dir):
        return self.left_trans[self.left_trans[dir]]

    def to_right(self, dir):
        return self.left_trans[self.left_trans[
                                self.left_trans[dir]]]

    def neighbour(self, pos, dir):
        return(pos[0]+self.move_xy[dir][0],
               pos[1]+self.move_xy[dir][1])
```


Klassenhierarchie: Die Factory-Klasse



Factory-Klasse (1): Initialisierung

roborally.py

```
class Factory(Space):
    def __init__(self, cols=5, rows=5, installs=None):
        self.rows = rows
        self.cols = cols
        self.step = 0
        self.reg_phase = 0
        self.agents = [] # all moveable objects
        self.beams = [] # all temp beams
        self.floor = dict() # floor with coords
        self.init_floor(cols, rows, installs)

    def init_floor(self, cols, rows, installs):
        # Insert borders, free elements and all
        # objects to be installed
        ...
```


Factory-Klasse (2): floor-Struktur, Agenten und Strahlen

- Das `self.floor`-Dict enthält für jede Bodenzelle einen Eintrag, indziert durch Tupel der Form `(x,y)`.
- Jeder Eintrag ist wiederrum ein Dict, indiziert mit den Himmelsrichtungen `N, S, E, W` und `P` (für *Place*).
- Für jede Himmelsrichtung wird die Art der Begrenzung als entsprechendes Objekt eingetragen: `OpenBorder`, `Wall`, ggfs. andere.
- Bei `OpenBorder` wird bei der Initialisierung festgehalten, ob es sich um eine Spielfeldbegrenzung handelt.
- Unter `P` wird das jeweilige `FactoryElement` eingetragen.
- Alle `MoveableThings` werden in der Liste `self.agents` eingetragen
- Alle temporären Strahlen (`Beams`) werden in der Liste `self.beams` eingetragen (und nach jeder Registerphase wieder gelöscht).

Factory-Klasse (3): Methoden

roborally.py

```
class Factory(Space):
  ...
  def install(self, obj):
    # Install an object in the right slot and
    # insert a pointer back to factory in each object!
    ...
  def occupied(self, pos, virtual=False):
    # Checks for agents in this field and returns them
    ...
  def collision(self, agent):
    # Checks whether there is something else at pos
    ...
  def push_conflict(self, pusher):
    # Checks whether there is another pusher
    # affecting the same cells.
    # If so, we set the conflict flag in both pushers.
```

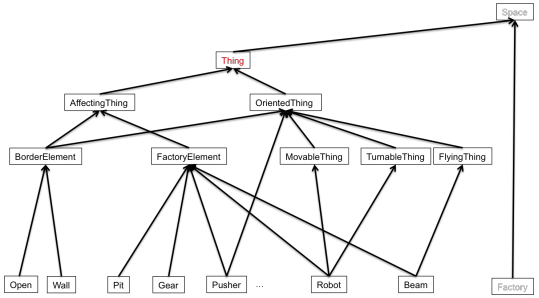

Factory-Klasse (4): Weitere Methoden

roborally.py

```
class Factory(Space):
  ...
  ...
  def exec_reg_phase(self, reg_phase, cmdlist):
    # Execute one register phase
    ...
  def apply(self):
    # Apply all elements to all agents at their pos
    ...
  def resolve_conflicts(self):
    # Resolve all conflicts after one step
    ...
```


def apply(self):
# Apply all elements to all agents at their pos

Klassenhierarchie: Die Thing-Klasse



Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Thing-Klasse

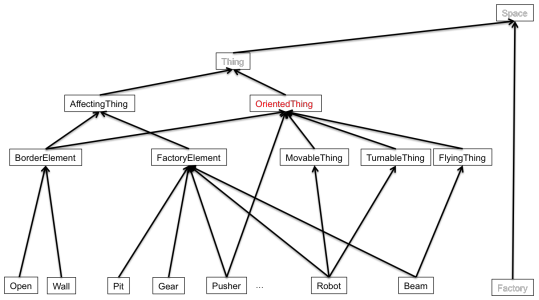
- Alle Dinge (innerhalb der Fabrik) haben eine Position `pos`, die sich natürlich bei beweglichen Dingen ändern kann!
- Wenn die Fabrik angegeben wird, wird sie eingetragen.
- Manche Dinge haben einen Namen. Bei denen die keinen haben, nutzen wir den Klassennamen.

roborally.py

```
class Thing(Space):
    def __init__(self, x, y, factory=None, **kw):
        self.factory = factory
        self.pos = (x, y)

    def __str__(self):
        try:
            return self.name.upper()
        except AttributeError:
            return self.__class__.__name__.upper()
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Klassenhierarchie: Die OrientedThing-Klasse



Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

OrientedThing-Klasse

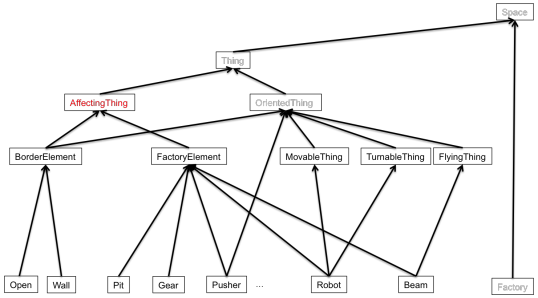
- Alle Dinge, die man orientieren kann, haben eine Richtung `dir`, die sich bei drehbaren Objekten ändern kann.
- Die Position ist als 2-Tupel (x, y) repräsentiert (bekommen wir von der `Thing`-Klasse.)

roborally.py

```
class OrientedThing(Thing):
    """Anything oriented using cardinal directions
       (N, E, S, W)
    """

    def __init__(self, x, y, dir="N", **kw):
        super().__init__(x, y, **kw)
        self.dir = dir
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Klassenhierarchie: Die AffectingThing-Klasse



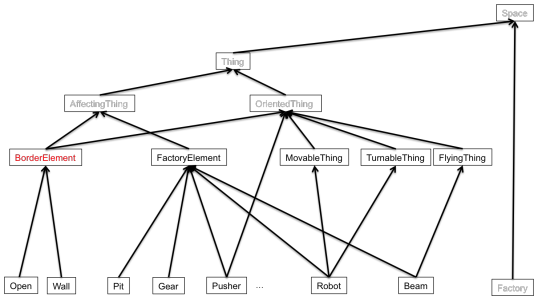
AffectingThing-Klasse

- Dinge, die andere Objekte beeinflussen können, indem sie ihnen Lebensenergie entziehen oder im schlimmsten Fall töten.

roborally.py

```
class AffectingThing(Thing):

    def kill(self, obj):
        obj.pos = None
        obj.killed = True

    def damage(self, agent):
        agent.damage += 1
        if agent.damage >= 10:
            self.kill(agent)
```


Klassenhierarchie: Die BorderElement-Klasse



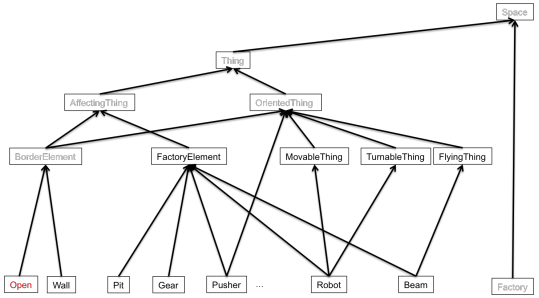
BorderElement-Klasse

- `BorderElement` ist eine abstrakte Klasse, die nur vorgibt, welches Interface vorhanden sein muss.

roborally.py

```
class BorderElement(OrientedThing, AffectingElement):

    def leavecell(self, thing, onlycheck=False):
      #Try to leave cell through this border (with
      #orientation). Change thing.pos (if not onlycheck)
      #and return True if successful.
      raise NotImplementedError("leavecall undefined")

    def entercell(self, thing, onlycheck=False):
      #Try to enter cell through this border.
      raise NotImplementedError("entercall undefined")
```

Klassenhierarchie: Die OpenBorder-Klasse



OpenBorder-Klasse (1)

- OpenBorder behandelt Verlassen und Eintritt. Eintreten ist immer möglich!

roborally.py

```
class OpenBorder(BorderElement):

    def __init__(self, x, y, factoryexit=False, **kw):
        super().__init__(x, y, **kw)
        self.exit = factoryexit

    def entercell(self, thing, onlycheck=False):
        if not onlycheck:
            thing.pos = self.pos
        return True
```

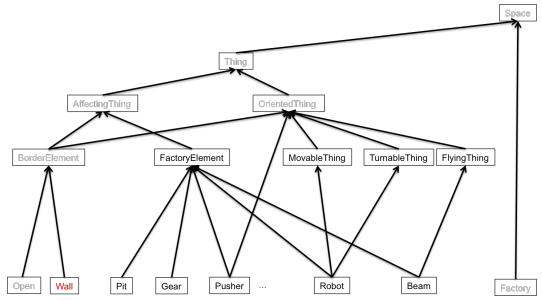

OpenBorder-Klasse (2)

- Wenn die Grenze Fabrikgrenze ist, droht der Tod!

roborally.py

```
class OpenBorder(BorderElement):
    ...

    def leavecell(self, thing, onlycheck=False):
        if self.exit:
            if not onlycheck: self.kill(thing)
            return True
        else:
            return self.factory.floor[self.neighbour(
                self.pos,self.dir)][self.to_back(
                    self.dir)].entercell(thing,onlycheck)
```


Klassenhierarchie: Die Wall-Klasse



Wall-Klasse

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

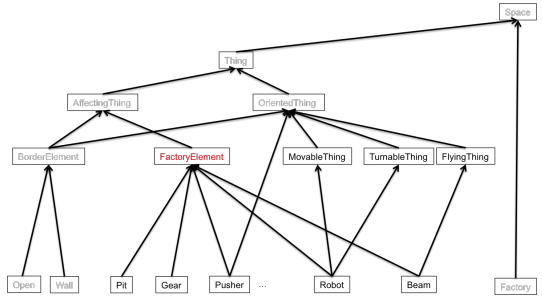
- Bei einer `Wall` kommen wir weder rein noch raus!

roborally.py

```
class Wall(BorderElement):

    def leavecell(self, thing, onlycheck=False):
        return False

    def entercell(self, thing, onlycheck=False):
        return False
```


Klassenhierarchie: Die FactoryElement-Klasse

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung



FactoryElement-Klasse (1)

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

- Ein `FactoryElement` ist nur in bestimmten Schritten (`self.active_steps`) aktiv. Außerdem sind Kollisionen nicht immer relevant (z.B. sind sie in `Pits` irrelevant).

roborally.py

```
class FactoryElement(AffectingElement):
    nocollisions = False # only True in pits
    active_steps = { }

    def __init__(self, x, y, reg_phases=None, **kw):
        if (reg_phases):
            self.active_reg_phases = reg_phases
        else:
            self.active_reg_phases = {1, 2, 3, 4, 5}
        super().__init__(x, y, **kw)
```


FactoryElement-Klasse (2)

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

roborally.py

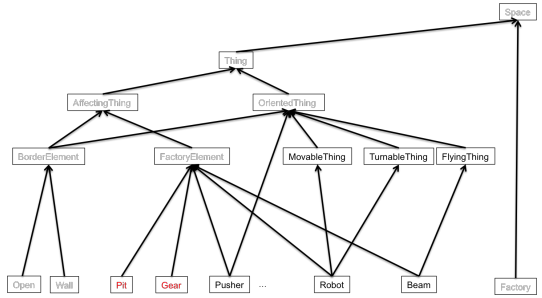
```
class FactoryElement(AffectingElement):
  ...
  def apply_element(self):
    if (self.factory.step in self.active_steps and
        self.factory.reg_phase in self.active_reg_phases):
        for agent in self.factory.occupied(self.pos,
                virtual=True): self.acton(agent)
        self.act()

    def act(self): pass
      # act in isolation
    def acton(self, agent): pass
      # act on agent
    def on_arrival(self, agent, dir): pass
      # called on curved conveyor belts
```

Exkurs: Klassen-Interface-Techniken

- Bisher hatten wir als Kombinationsmechanismen für Methoden kennen gelernt:
  1. Von Superklasse ererben und unmodifiziert nutzen.
  2. Die Superklassenmethode durch eigene Methode überschreiben.
  3. Die Superklassenmethode erweitern, durch Aufruf von `super()`.
- Hier haben wir den Fall, dass die Superklasse die Erledigung der Aufgabe an eine Subklasse delegiert. Die Subklassen sollten die `acton`- und `act`-Methode implementieren. Sonst passiert nichts!
- Sinnvoll, da die Vorbedingungen für alle Subklassen gleich sind, die einzelnen `act` and `acton`-Methoden aber speziell sind.

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Klassenhierarchie: `Pit` und `Gear`-Klasse



Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

`Pit`-Klasse

- `Pits` sind immer tödlich! Kollisionen innerhalb von Pits sind aber irrelevant.

roborally.py

```
class Pit(FactoryElement):
    # A pit kills the agent (unless it is retracted)

    nocollisions = True
    active_steps = {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}

    def acton(self, agent):
        self.kill(agent)
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

`Gear`-Klasse

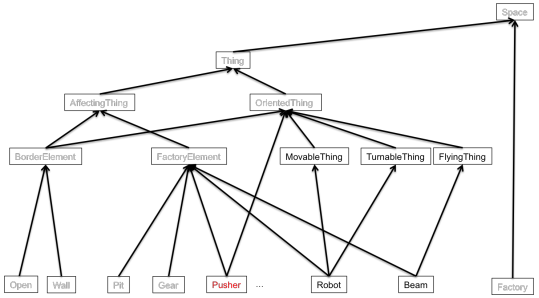
- Das Rotieren wird an die Agenten delegiert.

roborally.py

```
class Gear(FactoryElement):
   active_steps = {4}
   def __init__(self, x, y, clockwise=True, **kw):
        super().__init__(x, y, **kw)
        self.clockwise = clockwise

   def acton(self, agent, factory):
        if self.clockwise:
           agent.rotate_right()
        else:
           agent.rotate_left()
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Pusher-Klasse



Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Pusher-Klasse

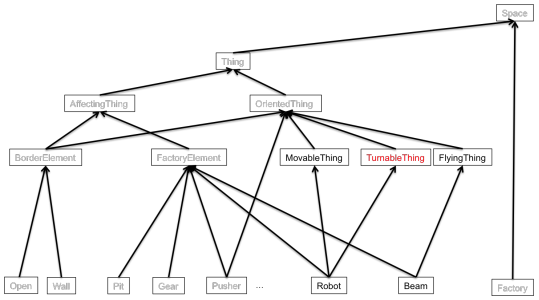
- Markiere berührte Felder, teste auf Konflikte mit anderen `Pusher`n und delegiere die Bewegung an die Agenten.

roborally.py

```
class Pusher(FactoryElement, OrientedThing):
    active_steps = {3}

    def __init__(self, x, y, **kw):
        super().__init__(x, y, **kw)
        self.marked = set() # affected positions
        self.conflict = False # conflict detected

    def acton(self, agent):
        # mark all affected positions
        self.marked = agent.mark(self.dir, self)
        if not self.factory.push_conflict(self):
            agent.move(self.dir)
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

TurnableThing-Klasse



Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

TurnableThing-Klasse

- Alle Dinge, die man drehen kann (eigentlich nur Roboter), können ihre Orientierung ändern.

roborally.py

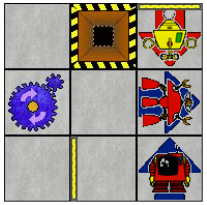
```
class TurnableThing(OrientedThing):

    def rotate_left(self, *rest):
        self.dir = self.to_left(self.dir)

    def u_turn(self, *rest):
        self.dir = self.to_back(self.dir)

    def rotate_right(self, *rest):
        self.dir = self.to_right(self.dir)
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

MoveableThing-Klasse (1): Prinzipien

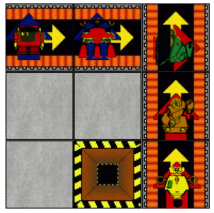
- Bewegbare Objekte (eigentlich nur Roboter), können auf drei verschiedene Arten bewegt werden:
  1. Die Bewegung ist durch einen Agenten initiiert und im Ablauf priorisiert (Programmkarte). Der Agent bewegt sich in die durch seine Orientierung und die Spielkarte vorgegebene Richtung. Dabei kann er vor ihm stehende Roboter schubsen, wenn nicht der erste in der Schlange von einer Wand gebremst wird.
  2. Alle Agenten bewegen sich parallel auf den Förderbändern. Enden mehrere Roboter auf dem gleichen Feld, werden sie zurückgesetzt.
  3. Alle Roboter(-schlangen) werden parallel durch die `Pusher` geschubst. Bei Konflikten sagen die Spielregeln nichts—aber Konfikte sollten so wie bei Förderbändern behandelt werden.
- Generelle Idee: Bewegung erst einmal ausführen. Im Konfliktfall zurücknehmen.

MoveableThing-Klasse (2): Beispiel für Eigenbewegung



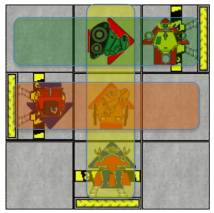
1. Twonky soll 1 Feld geradeaus gehen.
2. Twonky geht und trifft HulkX90.
3. HulkX90 wird geschubst und trifft Spinbot.
4. Spinbot wird geschubst.
5. Spinbot kann aber nicht weiter.
6. Kollisionsauflösung: HulkX90 muss zurück!
7. Das führt zur Kollision mit Twonky: Muss auch zurück.

MoveableThing-Klasse (3): Beispiel Förderband



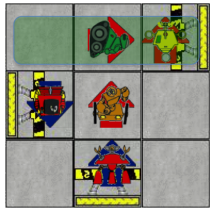
1. Alle Roboter werden sollen parallel um ein Feld bewegt werden.
2. Bewegung wird durchgeführt und Trundelbot fällt vom Spielfeldrand. Zoombot (von unten) und HulkX90 (von links) haben einen Konflikt.
3. Beide werden zurückgesetzt und haben dann jeweils einen Konflikt mit Spinbot (unten) bzw. Twonky (links).
4. Diese werden auch noch zurückgesetzt, womit alle Konflikte aufgelöst wären.

MoveableThing-Klasse (4): Beispiel `Pusher`



- Die parallele Betätigung von Pushern kann zu Konflikten führen.
- Kann nicht wie bei Förderbändern behandelt werden, da Schlangen in ihrer Gesamtheit bewegt werden müssen und diese sich überkreuzen können.
- Idee: Wenn ein Paar von Pushern sich beeinflussen könnte, werden beide nicht bewegt. Markiere beeinflusste Felder und bilde Mengenschnitt.
- Mache alles in einem Durchlauf durch alle Pusher!

MoveableThing-Klasse (5): Beispiel Pusher ausführlich



1. Markiere ersten Pusher.
2. Da kein Konflikt: Schubse!
3. Markiere Felder für zweiten Pusher.
4. Kein Konflikt bisher: Schubse!
5. Markiere Felder für dritten Pusher.
6. Konflikte mit den anderen beiden, deshalb keine Bewegung.
7. Alle Roboter, die von an Konflikten beteiligten Pushern bewegt wurden, müssen zurückgesetzt werden (inkl. in Pits gestoßene Roboter!)

MoveableThing-Klasse (6): Zusätzliche Attribute

- Die letzte Konfiguration (Position und Ausrichtung) wird vor einer Bewegung in `lastconf` gespeichert, damit man weiß, wo man beim Rücksetzen hin muss.
- `pushmarker` enthält den letzten Pusher. Wichtig um nach einem Spielzug einen Push-Konflikt festzustellen.

roborally.py

```
class MoveableThing(OrientedThing):

    def __init__(self, x, y, dir="N", **kw):
        super().__init__(x, y, dir, **kw)
        self.lastconf = None # last configuration
        self.pushmarker = None # last pusher
```


MoveableThing-Klasse (7): Eigene oder geschubste Bewegung

- Aktive oder passive Bewegung initiiert durch einen programmierten Roboterschritt oder durch `Pusher`

roborally.py

```
def move(self, dir):
    self.lastconf = (self.pos, self.dir)
    # try to move into direction dir
    if not self.factory.floor[self.pos][dir].\
            leavecell(self):
        #could not leave cell
        self.lastconf = None
        return
    colliders = self.factory.collision(self)
    for collider in colliders:
        # if collision with another robot, push
        collider.move(dir)
```


MoveableThing-Klasse (8): Parallele passive Bewegung

- Alle Agenten werden gleichzeitig bewegt

roborally.py

```
def transport(self, dir):
    if self.lastconf: # has already been moved
        return False
    self.lastconf = (self.pos, self.dir)
    if self.factory.floor[self.pos][dir].\
          leavecell(self):
        return True
    return False
```

MoveableThing-Klasse (8): Markiere Felder

- Markiere beteiligte Felder und erinnere Pusher (für spätere Konfliktauflösung)

roborally.py

```
def mark(self, dir, pusher):
    self.pushmarker = pusher
    marked = { self.pos }
    if self.factory.floor[self.pos][dir].leavecell(
          self,onlycheck=True):
        neighbour_cell = self.neighbour(self.pos,dir)
        if (neighbour_cell in self.factory.floor and
            not self.factory.floor[neighbour_cell][
                'P'].nocollisions):
            marked |= { neighbour_cell }
            for a in self.factory.occupied(
                   neighbour_cell):
                marked |= a.mark(dir, pusher)
    return marked
```


MoveableThing-Klasse (9): Konfliktauflösung

- `resolve` wird am Ende jedes Schritts für jeden Agenten aufgerufen.

roborally.py

```
def resolve(self):
    collider = self.factory.collision(self)
    if collider:
        for a in collider + [self]:
            a.retract()
    if self.pushmarker and self.pushmarker.conflict:
        self.retract()
def retract(self):
    if self.lastconf:
        (self.pos, self.dir) = self.lastconf
        self.lastconf = None
        self.killed = False
        for a in self.factory.collision(self):
            a.retract()
```

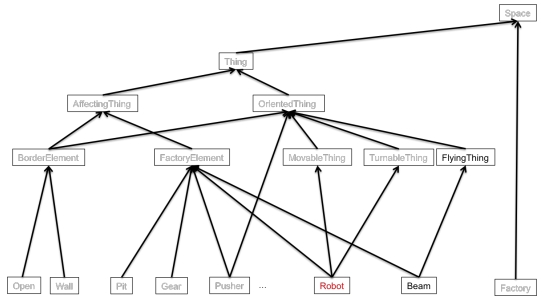

MoveableThing-Klasse (10): Abschluss

- Zum Schluss werden alle temporären Variablen wieder zurück gesetzt.

roborally.py

```
def reset(self):
    self.lastconf = None
    if self.pushmarker:
        self.pushmarker.conflict = False
        self.pushmarker.marked = set()
        self.pushmarker = None
```


Die Klassenhierarchie: Roboter-Klasse



Robot-Klasse (1)

- Roboter haben zusätzliche Zustandsattribute und können Befehle ausführen.

roborally.py

```
class Robot(MoveableThing, TurnableThing, FactoryElement):

    active_steps = { 6 }

    def __init__(self, x, y, dir="N",
                 name="Anonymous", **kw):
        super().__init__(x, y, dir, **kw)
        self.name = name
        self.damage = 0
        self.lives = 3
        self.alive = True
        self.virtual = False
        self.killed = False
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Robot-Klasse (2)

- Roboter können (am Ende eines Schrittes) sterben und selber Strahlen schießen.

roborally.py

```
    def die(self):
        self.alive = False
        self.lives -=1
        self.damage = 0

    def act(self):
        if self.alive and not self.virtual:
            Beam(self.pos[0], self.pos[1], shootby=self,
                factory=self.factory, dir=self.dir)
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

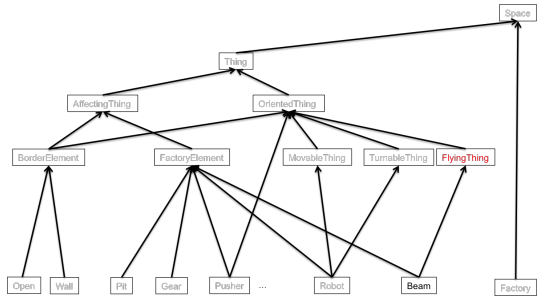
Robot-Klasse (3): Bewegung

roborally.py

```
    def go(self):
        self.onestep(True)

    def backup(self):
        self.onestep(False)

    def onestep(self, forward):
        """active execution of one step"""
        if not self.alive:
            return
        if forward:
            self.move(self.dir)
        else:
            self.move(self.to_back(self.dir))
```

Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

Die Klassenhierarchie: FlyingThing-Klasse



Motivation
Die Spielregeln
Eine OOP-Analyse
Exkurs: Mehrfachvererbung
Programmentwurf
Ein kleiner Test
Zusammenfassung

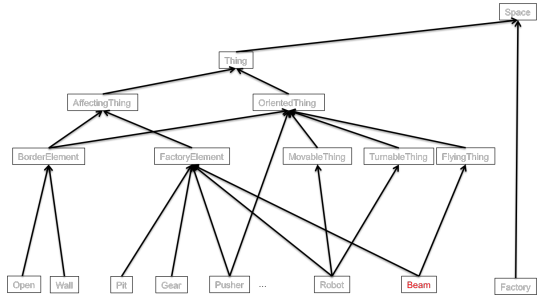
FylingThing-Klasse: Fliegen

- Ein `FlyingThing` fliegt solange, bis es auf ein Hindernis trifft (oder die Fabrik verlässt).
- Der Initiator selbst ist kein Hindernis!

roborally.py

```
class FlyingThing(OrientedThing):

    def fly(self, shootby=None):
        if not self.pos: return # left factory!
        occ = self.factory.occupied(self.pos, virtual=True)
        if (occ and shootby not in occ):
            pass # shooter is not its own target
        elif not self.factory.floor[self.pos][self.dir].\
             leavecell(self): pass #could not leave cell
        else:
            self.fly()
```


Die Klassenhierarchie: Beam-Klasse



Beam-Klasse: Strahlen schießen und einwirken lassen

roborally.py

```
class Beam(FlyingThing, FactoryElement):

    active_steps = { 6 }

    def __init__(self, x, y, shootby=None, **kw):
        super().__init__(x, y, **kw)
        self.shootby = shootby
        self.factory.beams.append(self)
        self.fly(shootby=shootby)

    def acton(self, agent):
        if not self.pos or self.shootby is agent:
            return
        self.damage(agent)
```

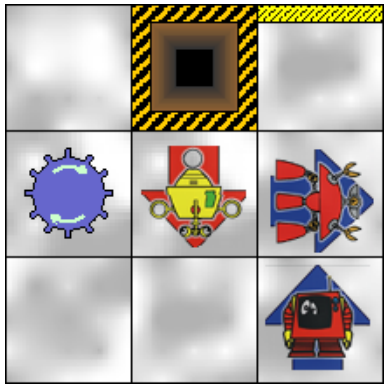

Zurück zur Factory-Klasse: apply und resolve

roborally.py

```
class Factory(Space):
    def apply(self):
        for pos in self.floor:
            self.floor[pos]['P'].apply_element()
        for a in self.agents: # robots as factory el.
            a.apply_element()
        for b in self.beams: # consider all shot beams
            b.apply_element()
        self.beams = [] # remove all beams

    def resolve_conflicts(self):
        for a in self.agents: a.resolve()
        for a in self.agents: a.reset()
        for a in self.agents:
            if a.killed: a.die()
```

6 Ein kleiner Test

Test-Szenario



- Twonky (rechte untere Ecke bei (3, 1)) soll die anderen rumschubsen, sie in den Abgrund stürzen, und ein bisschen Karussel fahren.

Der Test

roborally.py

```
if __name__ == "__main__":
    t = Robot(3, 1, dir="N", name="Twonky")
    s = Robot(2, 2, dir="S", name="Spinbot")
    h = Robot(3, 2, dir="E", name="HulkX90")
    fac = Factory(3, 3, installs=(Wall(3, 3, dir="N"),
                                  Pit(2, 3),
                                  Gear(1, 2,
                                       clockwise=True),
                                  t, s, h))
    fac.exec_reg_phase(1, [(2, t.go)])
    fac.exec_reg_phase(2, [(1, t.rotate_left),
                           (1, h.rotate_right)])
    fac.exec_reg_phase(3, [(2, t.go), (1, h.go),
                           (2, s.go)])
```


Der Test: Ein Trace (1)

Python-Interpreter

```
init: TWONKY starts at (3, 1) with orientation N
init: SPINBOT starts at (2, 2) with orientation S
init: HULKX90 starts at (3, 2) with orientation E
*** Starting register phase 1
GO command: TWONKY
onestep: TWONKY wants to make 1 step forward (dir=N)
move: move of TWONKY from (3, 1) in direction N
move: move of HULKX90 from (3, 2) in direction N
GO command: TWONKY
onestep: TWONKY wants to make 1 step forward (dir=N)
move: move of TWONKY from (3, 2) in direction N
move: move of HULKX90 from (3, 3) in direction N
HULKX90 bumped into a wall and does not leave (3, 3)
move: HULKX90 cannot move because of a wall
retract: send TWONKY back to (3, 2)
```

Der Test: Ein Trace (2)

Python-Interpreter

```
BEAM shot by TWONKY at (3, 2), direction N
fly: BEAM wants to fly from (3, 2) in direction N
fly: BEAM wants to fly from (3, 3) in direction N
fly: BEAM cannot move because of an obstacle
BEAM shot by SPINBOT at (2, 2), direction S
fly: BEAM wants to fly from (2, 2) in direction S
fly: BEAM wants to fly from (2, 1) in direction S
BEAM was killed leaving factory at (2, 1)
BEAM shot by HULKX90 at (3, 3), direction E
fly: BEAM wants to fly from (3, 3) in direction E
BEAM was killed leaving factory at (3, 3)
HULKX90 got damaged by laserbeam at (3, 3)
```


Der Test: Ein Trace (3)

Python-Interpreter

```
*** Starting register phase 2
rotate_left: TWONKY facing now W
rotate_right: HULKX90 facing now S
BEAM shot by TWONKY at (3, 2), direction W
fly: BEAM wants to fly from (3, 2) in direction W
fly: BEAM wants to fly from (2, 2) in direction W
fly: BEAM cannot move because of an obstacle
BEAM shot by SPINBOT at (2, 2), direction S
fly: BEAM wants to fly from (2, 2) in direction S
fly: BEAM wants to fly from (2, 1) in direction S
BEAM was killed leaving factory at (2, 1)
BEAM shot by HULKX90 at (3, 3), direction S
fly: BEAM wants to fly from (3, 3) in direction S
fly: BEAM wants to fly from (3, 2) in direction S
fly: BEAM cannot move because of an obstacle
SPINBOT got damaged by laserbeam at (2, 2)
```


Der Test: Ein Trace (4)

Python-Interpreter

```
TWONKY got damaged by laserbeam at (3, 2)
*** Starting register phase 3
GO command: TWONKY
onestep: TWONKY wants to make 1 step forward (dir=W)
move: move of TWONKY from (3, 2) in direction W
move: move of SPINBOT from (2, 2) in direction W
GO command: TWONKY
onestep: TWONKY wants to make 1 step forward (dir=W)
move: move of TWONKY from (2, 2) in direction W
move: move of SPINBOT from (1, 2) in direction W
SPINBOT was killed leaving factory at (1, 2)
SPINBOT dies
GO command: HULKX90
onestep: HULKX90 wants to make 1 step forward (dir=S)
move: move of HULKX90 from (3, 3) in direction S
```


Der Test: Ein Trace (5)

Python-Interpreter

```
GO command: SPINBOT
onestep: SPINBOT wants to make 1 step forward (dir=S)
onestep: SPINBOT is dead and cannot move
GO command: SPINBOT
onestep: SPINBOT wants to make 1 step forward (dir=S)
onestep: SPINBOT is dead and cannot move
GEAR: turn TWONKY clockwise at (1, 2)
rotate_right: TWONKY facing now N
BEAM shot by TWONKY at (1, 2), direction N
fly: BEAM wants to fly from (1, 2) in direction N
fly: BEAM wants to fly from (1, 3) in direction N
BEAM was killed leaving factory at (1, 3)
BEAM shot by HULKX90 at (3, 2), direction S
fly: BEAM wants to fly from (3, 2) in direction S
fly: BEAM wants to fly from (3, 1) in direction S
BEAM was killed leaving factory at (3, 1)
```

7 Zusammenfassung

Ausbaufähigkeit

- Der Anspruch war gewesen, das Design an der Erweiterbarkeit auszurichten. Ist das gelungen?
- Elemente mit Doppelrollen funktionieren problemlos (Mehrfachvererbung hilft hier)!
- Viele Fabrikelemente lassen sich leicht integrieren (Portale, temporäre Türen oder fallgruben, halbdurchlässige Wände, Öllachen)
- Zusatzwaffen sind auch nicht zu schwierig
- Interessant wäre eine Ergänzung um eine GUI ...
- Achtung: Ich habe die Umsetzung als ein Softwareprojekt im fortgeschrittenen Semester gefunden.
- Idee: Die Berechnung einer optimalen Strategie wäre natürlich das, was wirklich interessant wäre – KI