Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Intelligente Systeme

– Planen –

Prof. Dr. Michael Neitzke

PI1: Planen

Pl1: Lernziele

- V1: Merkmale des Planens erläutern können, insbesondere die Beziehung zur Suche
- V2: Qualification Problem, Frame Problem, Ramification Problem erläutern können
- V3: Merkmale des STRIPS Planning im Detail erläutern können
- V4: Merkmale der Means-Ends Analysis erläutern können
- V5: RSTRIPS Algorithmus erklären können (Means-Ends Analysis für STRIPS)
- V6: Erläutern können, was sich hinter der Sussman Anomalie verbirgt
- V7: Merkmale und Arbeitsweise des nicht-linearen Planens erklären können, dabei den Begriff Least Commitment Strategie erklären können
- A1: RSTRIPS Algorithmus auf eine gegebene Aufgabenstellung anwenden können (--> Teil 2 der Klausur)

Was ist Planen?

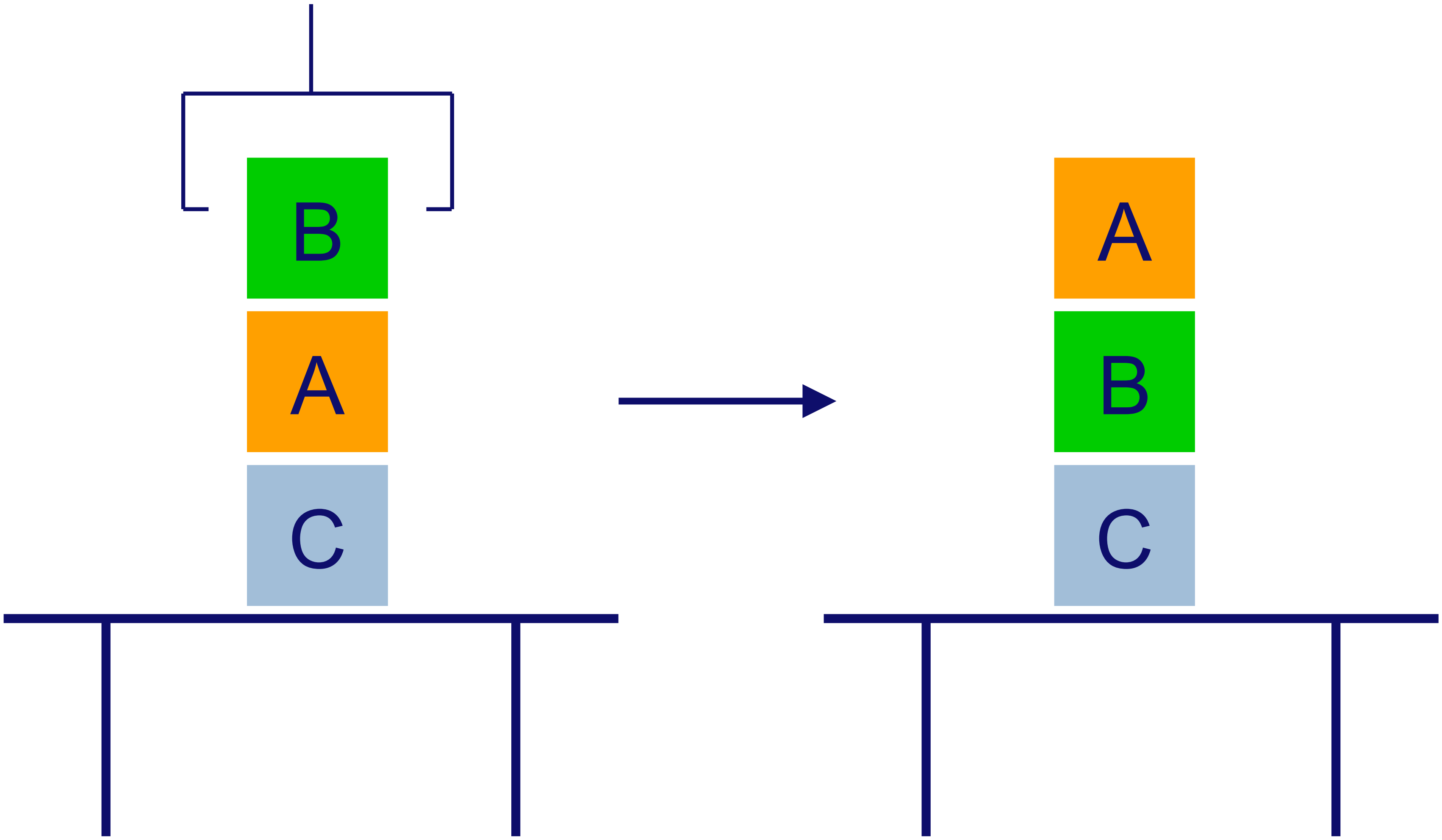
Ermittlung einer Folge von Aktionen,

um einen Startzustand

in einen Zielzustand

zu überführen.

Beispiel



Lösung durch Suchen

- Suchverfahren grundsätzlich möglich
- Gesucht ist der Pfad

Modellierungsproblematik

- Planungsprobleme sind ganz besonders von der Fragestellung betroffen, was modelliert werden soll und wovon abstrahiert werden kann.
  - Nachteile im Vergleich zur menschlichen Planungsleistung sind häufig auf fehlende Information zurückzuführen
  - Probleme mit der Effizienz sind häufig auf zu hohen Detaillierungsgrad zurückzuführen

- Problemtypen im Bereich des Planens:
  - Qualification Problem
  - Frame Problem
  - Ramification Problem

Qualification Problem

- Welche Aspekte der realen Welt sollen im Modell berücksichtigt werden, welche nicht?
  - Tritt in jeder Modellierungsaufgabe auf.
- Beispiel: Welche Vorbedingungen beim Greifen eines Blocks modellieren?
  - Roboterarm funktioniert
  - Block nicht zu schwer
  - Reibung ausreichend hoch, so dass Block gegriffen werden kann
  - …

Frame Problem

- Welche Aussagen gelten noch nach Ausführung einer Aktion?
- Welche Aussagen gelten nach wie vor nicht nach Ausführung einer Aktion?
- Also: Welche Aussagen sind nicht von einer Aktion betroffen?
- Frame Axiome: Explizite Festlegungen darüber, was sich nicht ändert (für jede Aktion)
  - Das wäre aber zu aufwändig!

Ramification Problem

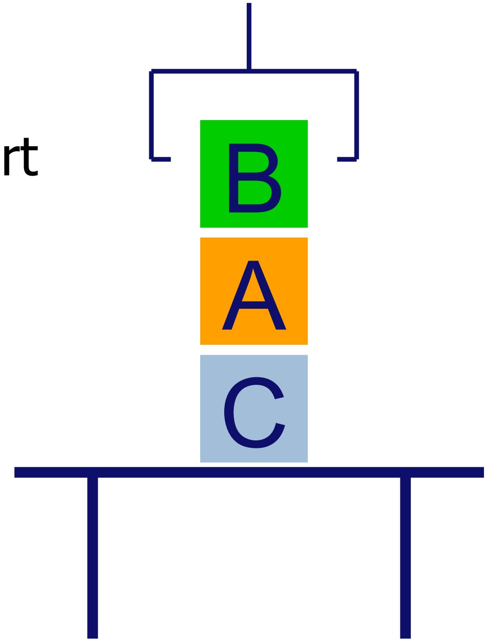
- Indirekter Einfluss von Aktionen
- Beispiel: Inhalt eines Blocks wird mit transportiert
- Möglicher Konflikt mit Frame Axiomen
  - Z. B. für Festlegung, dass alles, was nicht erwähnt ist, auch nicht transportiert wird.

Planungssystem STRIPS

- **ST**anford **R**esearch **I**nstitute **P**roblem **S**olver
- Basisverfahren für die meisten Planungsansätze
- R. E. Fikes, N. J. Nilsson 1971

- Zustände durch Menge von Formeln repräsentiert

```
on(table,blockC),
on(blockC,blockA),
on(blockA,blockB),
handempty,
clear(B)
```



Nils J. Nilsson

- Co-Entwicklung
  - A*-Algorithmus
  - Planungssystem STRIPS
- Projektsteuerung
  - Mobiler Roboter SHAKEY
  - Expertensystem PROSPEKTOR

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

STRIPS-Operatoren

- Condition List
  - Unter welchen Vorbedingungen ist die Aktion anwendbar?
- Delete-List
  - Welche Formeln gelten nach Ausführung der Aktion nicht mehr?
- Add-List
  - Welche Formeln kommen nach Ausführung der Aktion hinzu?

- Beispiel: "Bewege X von Y nach Z"

```
MOVE(X,Y,Z):
    Conditions:    [on(Y,X), clear(X), clear(Z)]
    Delete-List:   [on(Y,X), clear(Z)]
    Add-List:      [on(Z,X), clear(Y)]
```


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

STRIPS: Umgang mit Frame Problem

- Alle nicht in Delete- und Add-List genannten Formeln bleiben erhalten ("STRIPS Assumption")

STRIPS Planning: Einschränkende Annahmen

- Nur ein Operator zur Zeit, keine parallele Ausführung von Operatoren
- Alle Konsequenzen eines Operators sind durch Delete-List und Add-List erfasst
  - Problem: Wasserhahn öffnen, danach Glas zunächst leer, dann Pegel steigend, schließlich voll
- Ausführung von Operatoren wird nicht kontinuierlich modelliert
  - Diskrete Änderungen (Änderungen passieren sofort)
  - Wenn Modellierung der Zeit, dann diskret

Means-Ends Analysis

- Problem: Vorwärtssuche nicht zielgerichtet
  - Gewisser Ausweg: Heuristiken

- Rückwärtssuche geht vom Zielzustand aus
  - Welcher Operator ist ein "Mittel" zum "Ziel"?
  - Vorbedingungen des Operators sind Unterziele

Means-Ends Analysis: Algorithmus

`R-STRIPS` (`G`, `Start`)

Eingabe:	`G`	Ziel (Menge von Grundliteralen)
	`Start`	Datenbasis (Menge von Grundliteralen)
Ausgabe:	`P`	Plan (Liste von Operatoren)

1. `P` := [ ] % leerer Plan als Initialisierung
2. `S` := `Start`
3. **while** `G` $\not\subseteq$ `S` **do**
4. `g` := ein Element aus `G`, das nicht in `S` enthalten ist
5. `Op` := eine Grundinstanz (C,D,A) einer Regel `R`, so dass `g` $\in A$
6. $\mathtt{P}_C$:= `R-STRIPS(`C`,S)`
7. `S` := `Op(`$\mathtt{P}_C$`(S))`
8. `P` := `P` + $\mathtt{P}_C$ + [`Op`]

   end while

9. **return**(`P`)

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erläuterungen

- Wenn mehrere Operatoren eingesetzt werden können, um das gewählte Teilziel zu erfüllen, ist es klug, den zu nehmen, dessen Conditions möglichst vollständig erfüllt sind.
- Die Means Ends Anlysis (MEA) besagt, dass man beim Ziel beginnt, ein Teilziel wählt und dann einen Operator sucht, der die Differenz zwischen Start und Ziel verringert. Die MEA schreibt nicht zwingend vor, dass eine Lösung für ein gewähltes Teilziel komplett erstellt wird, bevor das nächste Teilziel angegangen wird. Jedoch ist dies eine typische Umsetzung der MEA, wie man sie auch im RSTRIPS-Algorithmus findet. Wenn die Teilziele streng getrennt nacheinander abgearbeitet werden, spricht man vom linearen Planen.

Übung

- Durchlaufen Sie den Algorithmus für folgende Situation:

  G={on(b,a), on(c,b), on(table,c), clear(a)}, g=on(b,a)
  S={on(c,a), on(a,b), clear(b), on(table,c)}

  Operatoren:

put-on1(table,Y):	C={on(Z,Y),clear(Y)}
	D={on(Z,Y)}
	A={on(table,Y),clear(Z)}
put-on2(X,Y):	C={on(Z,Y),clear(X),clear(Y)}
	D={clear(X),on(Z,Y)}
	A={on(X,Y),clear(Z)}
put-on3(X,Y):	C={on(table,Y),clear(X),clear(Y)}
	D={clear(X),on(table,Y)}
	A={on(X,Y)}

Lösung (1)

```
R-STRIPS({on(b,a),on(c,b),on(table,c),clear(a)},
         {on(c,a),on(a,b),clear(b),on(table,c)})
  P=[]
  S={on(c,a),on(a,b),clear(b),on(table,c)}
  g=on(b,a)
  Op=put-on2(b,a) mit X=b, Y=a, Z=c
  Pc=RSTRIPS({on(c,a),clear(b),clear(a)},
             {on(c,a),on(a,b),clear(b),on(table,c)})
    P=[]
    S={on(c,a),on(a,b),clear(b),on(table,c)}
    g=clear(a)
    Op=put-on1(table,b) mit Z=a, Y=b //Heuristik: Im
Konfliktfall Wahl der Regel mit größter Abdeckung der Conditions
    Pc=RSTRIPS({on(a,b),clear(b)},
               {on(c,a),on(a,b),clear(b),on(table,c)})
    Pc=[]
    S={on(c,a),clear(b),on(table,c),on(table,b),clear(a)}
    P=[put-on1(table,b)]
  Pc=[put-on1(table,b)]
```

Lösung (2)

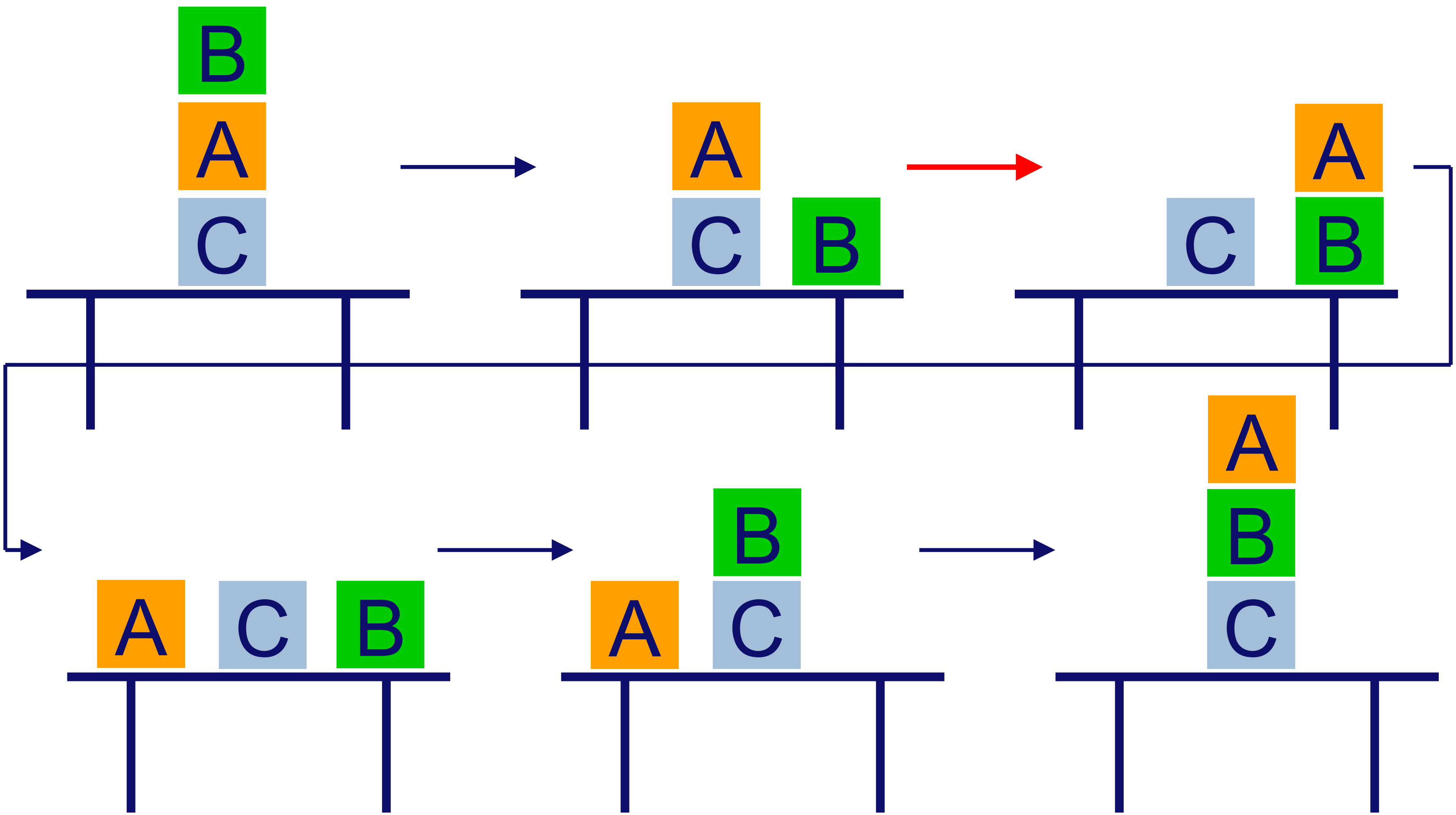
```
S={on(b,a),on(table,c),on(table,b),clear(c),clear(a)}
P=[put-on1(table,b), put-on2(b,a)]
g=on(c,b)
Op=put-on3(c,b) mit X=c, Y=b
Pc=RSTRIPS({on(table,b),clear(c),clear(b)}
           {on(b,a),on(table,c),on(table,b),clear(c),clear(a)})
  P=[]
  S={on(b,a),on(table,c),on(table,b),clear(c),clear(a)}
  g=clear(b)
  Op=put-on1(table,a) mit Z=b, Y=a //Conditions in Regel erfüllt
  Pc=RSTRIPS({on(b,a),clear(a)}
             {on(b,a),on(table,c),on(table,b),clear(c),clear(a)}
  Pc=[]
  S={on(table,a),on(table,c),on(table,b),
     clear(b),clear(c),clear(a)}
  P=[put-on1(table,a)]
Pc=[put-on1(table,a)]
S={on(c,b),on(table(c),on(table(a),clear(b),clear(a)}
P=[put-on1(table.b),put-on2(b,a),put-on1(table,a),put-on3(c,b)]
```

Lösung (3)

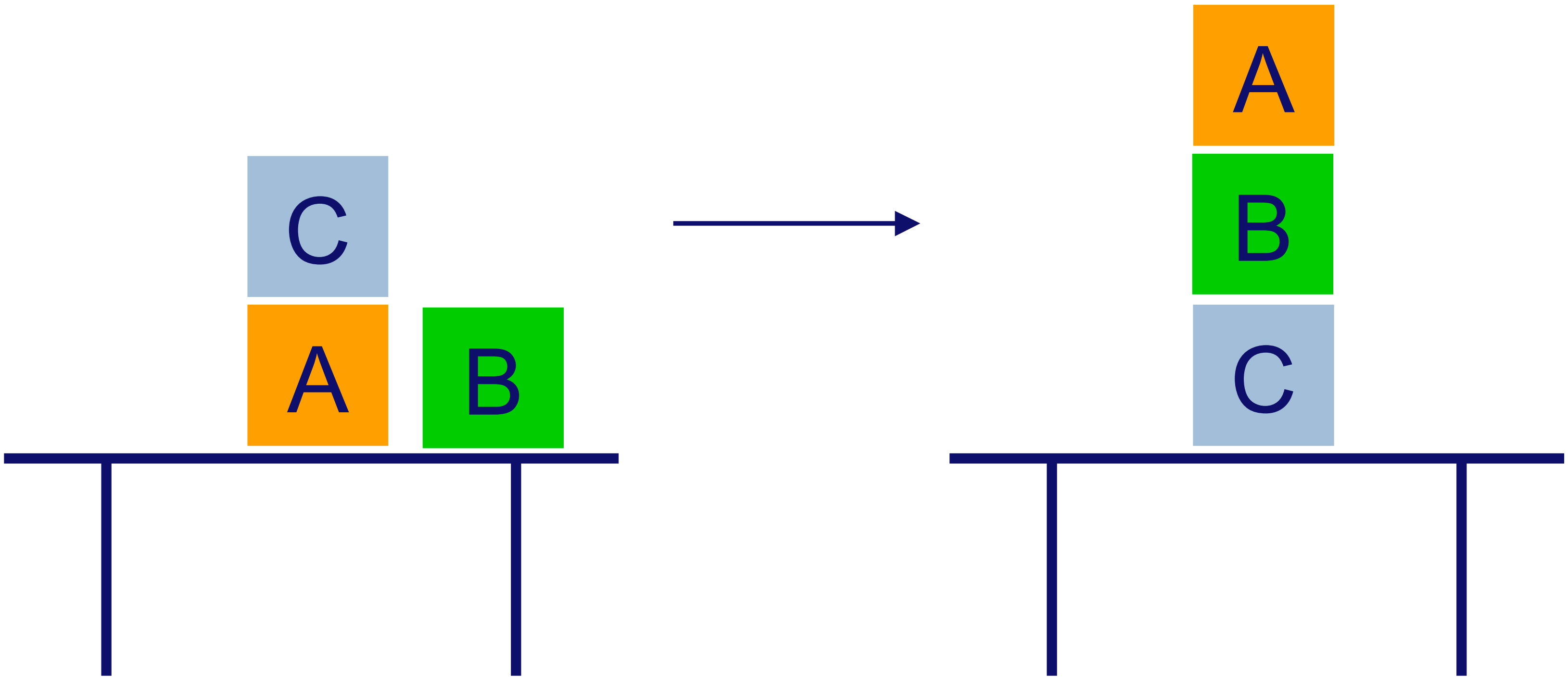
```
g=on(b,a)
Op=put-on3(b,a) mit X=b, Y=a
Pc=RSTRIPS({on(table,a),clear(b),clear(a)}
           {on(c,b),on(table(c),on(table(a),clear(b),clear(a)})
Pc=[]
S={on(b,a),on(c,b),on(table(c),clear(a)}
P=[put-on1(table,b), put-on2(b,a), put-on1(table,a),
   put-on3(c,b), put-on3(b,a)]
```


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ergebnis durch Means-Ends Analysis



Sussman Anomalie



- Problem: Gewähltes Ziel wird vollständig realisiert, bevor nächstes Ziel angegangen wird.

Andere Ansätze / Strategien

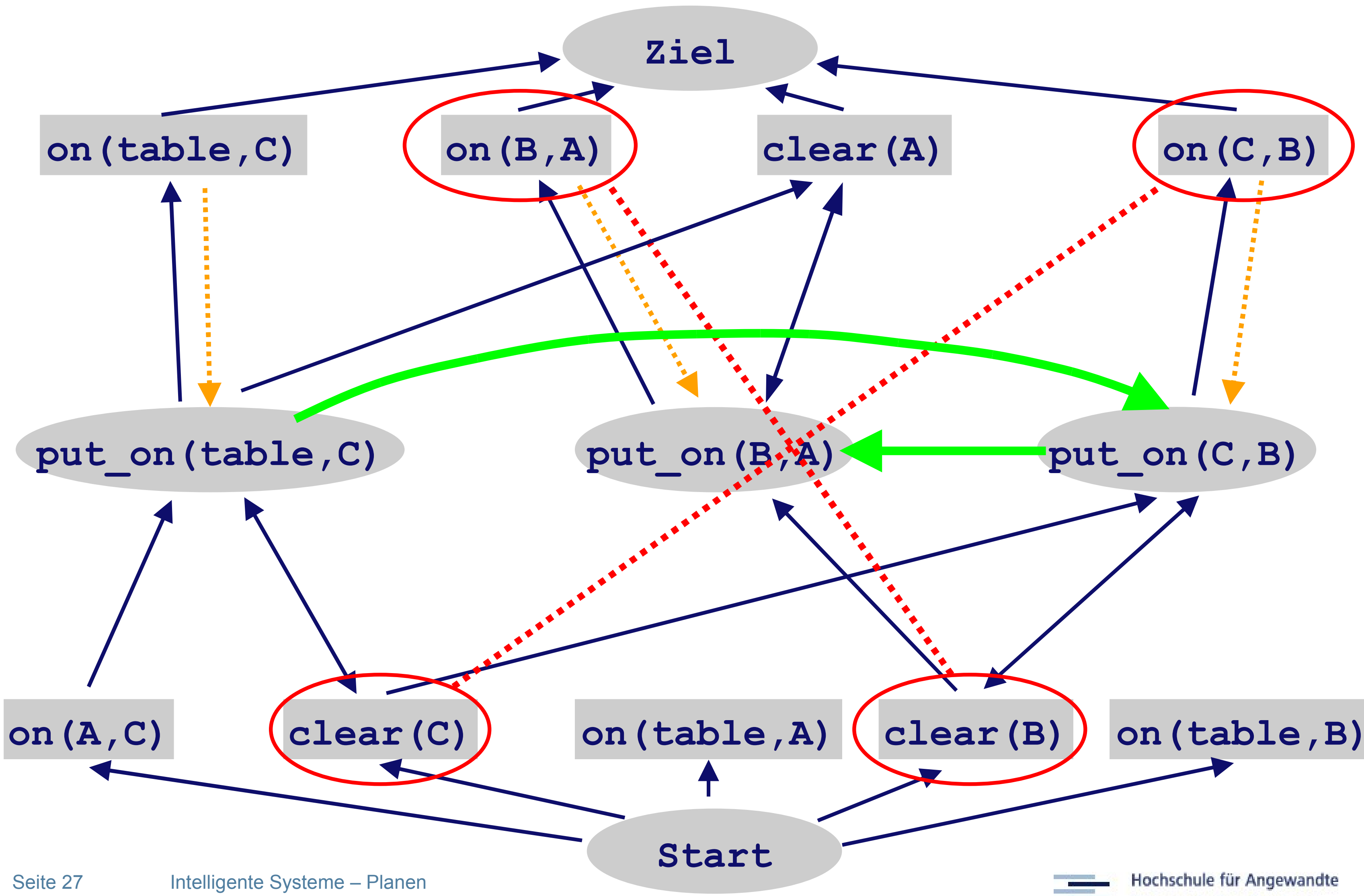
- Least Commitment Strategie
  - Einschränkungen bezüglich zukünftiger Entscheidungen vermeiden
    - Vermeiden von Annahmen
  - Betrifft zum Beispiel:
    - Reihenfolge von Aktionen
    - Reihenfolge der Instantiierungen von Variablen
- Nicht-lineares Planen
  - Partielle Ordnung von Operatoren
  - Festlegung von Reihenfolge entsprechend Least-Commitment Strategie
- Hierarchisches Planen
  - Zuerst Grobplan, dann Verfeinerung
  - Beispiel Reiseplanung: Zuerst die Flugverbindungen

Erläuterungen

- Zur Least Commitment Strategie:
  Dies ist eine Vorgehensweise, die ganz allgemein beim Problemlösen angewandt werden kann. Eine Lösung besteht ja meist aus vielen Teilentscheidungen. Einige Entscheidungen können durch eine Analyse klar getroffen werden, so dass sie nie zurückgezogen werden müssen. Manchmal muss man Annahmen treffen, also Ausprobieren, um im Problemlösungsprozess weiterzukommen. Auf Basis von Annahmen können wieder Entscheidungen hergeleitet werden, die dann wieder zurückgezogen werden müssen, wenn die Annahmen revidiert werden müssen. Die Least Commitment Strategie sieht vor, dass grundsätzlich sichere Schritte auf Basis von Analysen gegenüber Annahmen vorzuziehen sind. Und wenn Annahmen getroffen werden müssen, dann sollten die Annahmen bevorzugt werden, die möglichst wenig Einschränkungen für nachfolgende Schritte mit sich bringen. Bezogen auf das Planen: Es ist der Operator zu wählen, der die Anwendbarkeit anderer Operatoren möglichst wenig beschneidet.

- Um das nicht-lineare Planen zu verstehen, muss man sich vor Augen halten, dass zur Erreichung eines Teilziels meistens nicht eine einzelne Aktion genügt, sondern dass eine Sequenz von Aktionen erforderlich ist. Jedes Teilziel wird also durch eine Sequenz von Aktionen erreicht und diese Sequenzen können im Sinne einer Least Commitment Strategie im Wechsel abgearbeitet werden.

Nicht-lineares Planen



Erläuterungen

1) Orange-farbener Pfeil: Welcher Operator erfüllt dieses Teilziel? (Hat es in seiner Add-List.)
2) Doppelpfeil blau: Gilt vor und nach Ausführung des Operators, Bestandteil der Condition-List, nicht Bestandteil von Add- oder Delete-List.
3) Pfeil blau zum Operator: Bestandteil der Delete-List (Ausnahme unter Punkt 2))
4) Pfeil blau vom Operator zum Element: Bestandteil der Add-List (Ausnahme unter Punkt 2))
5) Pfeil grün: Partielle Ordnung zwischen den Operatoren als Ergebnis der Abhängigkeitsanalyse
6) Rot: Teilziel und Vorbedingung, die anderen Operatoren entzogen wird

Erläuterungen

- Die Reihenfolge der Analyse der Teilziele ist irrelevant.
- Betrachten wir das Teilziel on(B,A). Ein geeigneter Operator zum Erreichen dieses Teilziels ist put_on(B,A). Vorbedingungen von put_on(B,A) sind clear(A) und clear(B). Nach Ausführung gilt clear(B) allerdings nicht mehr, deshalb gibt es nur einen Pfeil auf clear(A), nicht aber auf clear(B). Außerdem gilt wie gewünscht on(B,A).
- Wenn man das Teilziel on(C,B) analysiert, stellt man fest, dass für den gewählten Operator put_on(C,B) ebenfalls die Vorbedingung clear(B) gelten muss und nach Ausführung weiterhin gilt. Daher muss put_on(C,B) vor put_on(B,A) ausgeführt werden.
- Ganz analog ergibt sich auch eine Abhängigkeit zwischen put_on(table,C) und put_on(C,B).

Literaturhinweise

- Beierle, Kern-Isberner: "Methoden wissensbasierter Systeme", vieweg
  - Grundlage dieses Abschnitts

- Nils J. Nilsson: "Principles of Artificial Intelligence", Springer-Verlag
  - Vorwärts-/Rückwärts-Verkettung
  - STRIPS
  - RSTRIPS
  - Means-Ends Analysis
  - **Ausführlich**!

PI1: Lernziele

- V1: Merkmale des Planens erläutern können, insbesondere die Beziehung zur Suche
- V2: Qualification Problem, Frame Problem, Ramification Problem erläutern können
- V3: Merkmale des STRIPS Planning im Detail erläutern können
- V4: Merkmale der Means-Ends Analysis erläutern können
- V5: RSTRIPS Algorithmus erklären können (Means-Ends Analysis für STRIPS)
- V6: Erläutern können, was sich hinter der Sussman Anomalie verbirgt
- V7: Merkmale und Arbeitsweise des nicht-linearen Planens erklären können, dabei den Begriff Least Commitment Strategie erklären können
- A1: RSTRIPS Algorithmus auf eine gegebene Aufgabenstellung anwenden können (--> Teil 2 der Klausur)