

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

38. Handlungsplanung: Merge-and-Shrink-Abstraktionen

Malte Helmert

Universität Basel

18. Mai 2015

Handlungsplanung: Überblick

Kapitelüberblick:

- 33. Einführung
- 34. Planungsformalismen
- 35.–36. Planungsheuristiken: Delete-Relaxierung
- 37.–38. Planungsheuristiken: Abstraktion
 - 37. Abstraktion und Musterdatenbanken
 - 38. Merge-and-Shrink-Abstraktionen
- 39.–40. Planungsheuristiken: Landmarken

Merge-and-Shrink: Motivation

Jenseits von Musterdatenbanken (1)

- Trotz ihrer Popularität haben PDBs fundamentale Grenzen:
die Muster müssen klein gehalten werden
- Preis in heuristischer Genauigkeit:
 - betrachte Verallgemeinerung des Beispiels aus dem Vorkapitel:
 N Lastwagen, M Orte (ein Paket)
 - betrachte **beliebiges** Muster,
das nicht alle Variablen in V umfasst
 - $h(s_0) \leq 2 \rightsquigarrow$ **nicht besser** als atomare Projektion auf das Paket

Jenseits von Musterdatenbanken (2)

Merge-and-Shrink-Abstraktionen (**M&S**)
sind eine **echte Verallgemeinerung** von PDBs.

- Sie können PDBs repräsentieren (mit polynomiellern Zusatzaufwand).
- Sie können Abstraktionen kompakt repräsentieren, bei denen dies mit PDBs nicht möglich ist.

Merge-and-Shrink: Abgrenzung zu PDBs

M&S-Abstraktionen vs. Musterdatenbanken

Während PDBs **einige wenige** Zustandsvariablen **perfekt** im abstrakten Zustandsraum repräsentieren, repräsentieren M&S-Abstraktionen **alle** Zustandsvariablen, aber in einer **verlustbehafteten** Weise.

Synchrones Produkt

M&S-Abstraktionen: Kernideen

Kernideen bei M&S:

- 1 Informationen von zwei abstrakten Zustandsräumen $\mathcal{A}$ und $\mathcal{A}'$ für denselben konkreten Zustandsraum können durch eine einfache Graphenoperation **kombiniert** werden: **synchrones Produkt** $\mathcal{A} \otimes \mathcal{A}'$.
- 2 Der **konkrete** Zustandsraum $\mathcal{S}$ einer SAS⁺-Planungsaufgabe kann aus den **atomaren Projektionen** rekonstruiert werden:

$$\bigotimes_{v \in V} \mathcal{S}^{\pi_{\{v\}}} \text{ ist isomorph zu } \mathcal{S}$$

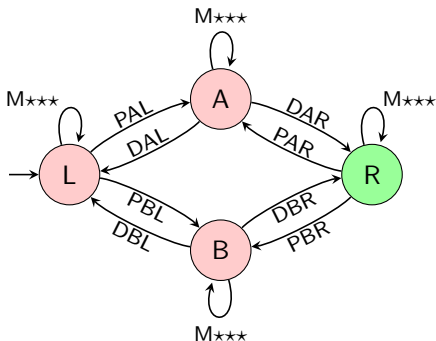
$\rightsquigarrow$ baue feine Abstraktionen aus gröberen

Beispiel: Abkürzungen

- Für das synchrone Produkt sind die **Kantenbeschriftungen** in den Zustandsräumen (die „Aktionsnamen“) sehr wichtig.
- Wir geben sie deshalb im Folgenden in den Abbildungen an.
- Dabei verwenden wir Abkürzungen der folgenden Art:
 - **MALR**: move truck **A** from left to right
 - **DAR**: drop package from truck **A** at right location
 - **PBL**: pick up package with truck **B** at left location
- Oft gibt es viele Parallelkanten. Wir kürzen diese mit **Kommata** und **Platzhaltern** ab wie in diesen Beispielen:
 - **PAL, DAL**: parallele Kanten für Aktionen **PAL** und **DAL**
 - **MA☆☆**: parallele Kanten für Aktionen **MALR** und **MARL**

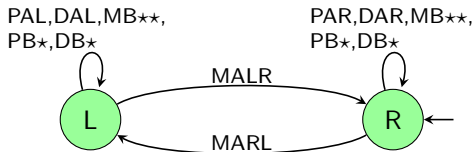
Beispiel: atomare Projektion für das Paket

$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\}:$

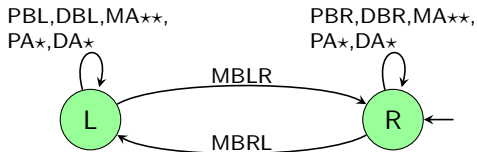


Beispiel: atomare Projektion für Lastwagen A

$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck } A\}$:



Beispiel: atomare Projektion für Lastwagen B

 $\mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck } B\}:$ 

Synchrones Produkt von Zustandsräumen

Definition (synchrones Produkt von Zustandsräumen)

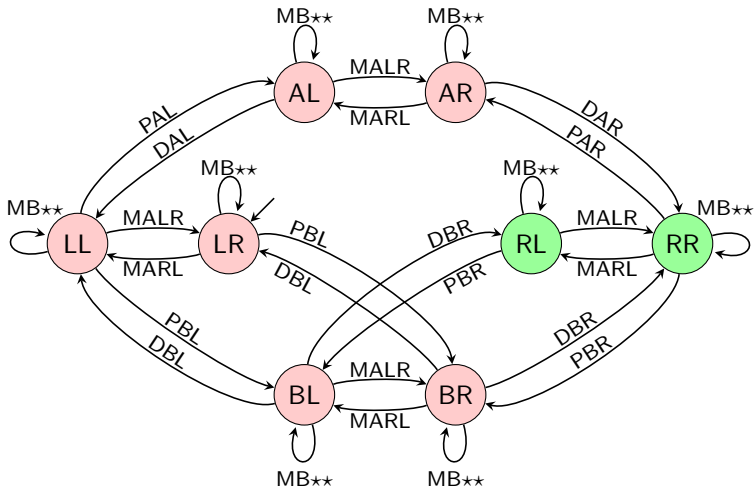
Für $i \in \{1, 2\}$ seien $\mathcal{S}^i = \langle S^i, A, cost, T^i, s_0^i, S_\star^i \rangle$ Zustandsräume (mit identischen Aktionen und Kosten).

Das **synchrone Produkt** von $\mathcal{S}^1$ und $\mathcal{S}^2$, geschrieben $\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^2$, ist der Zustandsraum $\mathcal{S}^\otimes = \langle S^\otimes, A, cost, T^\otimes, s_0^\otimes, S_\star^\otimes \rangle$ mit

- $S^\otimes := S^1 \times S^2$
- $T^\otimes := \{ \langle \langle s_1, s_2 \rangle, a, \langle t_1, t_2 \rangle \rangle \mid \langle s_1, a, t_1 \rangle \in T^1 \wedge \langle s_2, a, t_2 \rangle \in T^2 \}$
- $s_0^\otimes := \langle s_0^1, s_0^2 \rangle$
- $S_\star^\otimes := S_\star^1 \times S_\star^2$

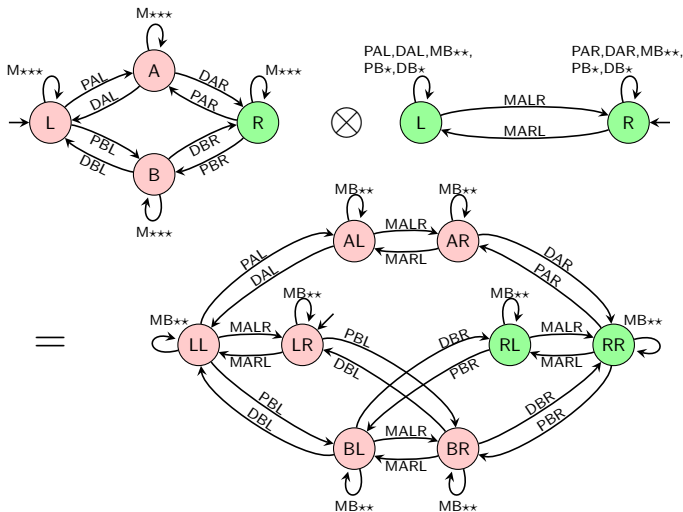
Beispiel: synchrones Produkt

$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}:$$



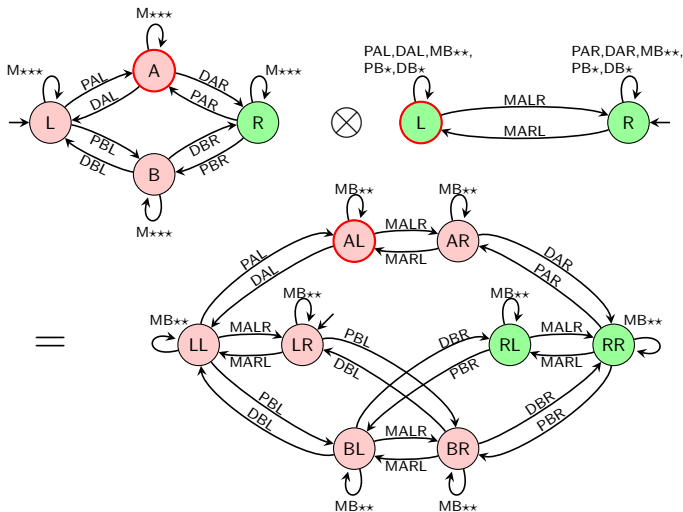
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}:$$



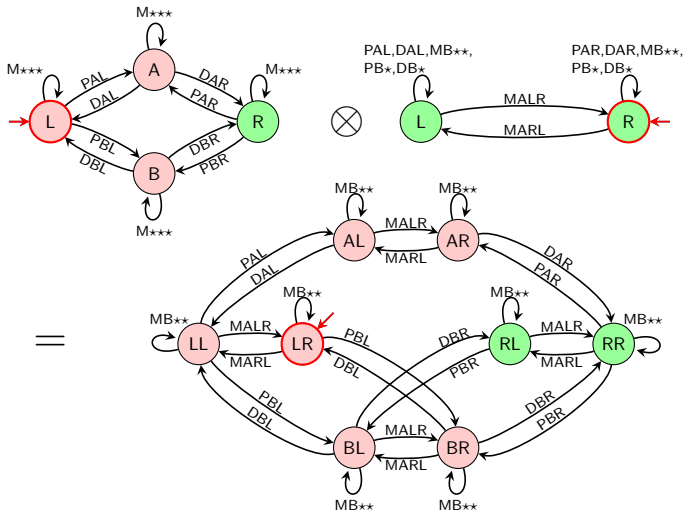
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}: \mathcal{S}^{\otimes} = \mathcal{S}^1 \times \mathcal{S}^2$$



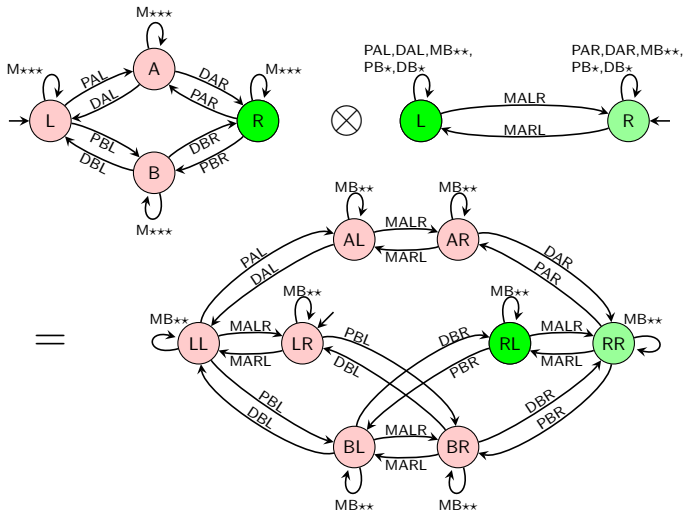
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}: s_0^{\otimes} = \langle s_0^1, s_0^2 \rangle$$



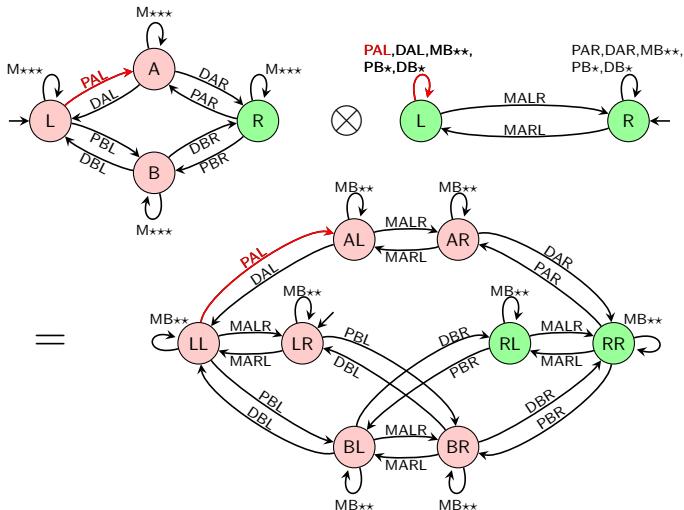
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

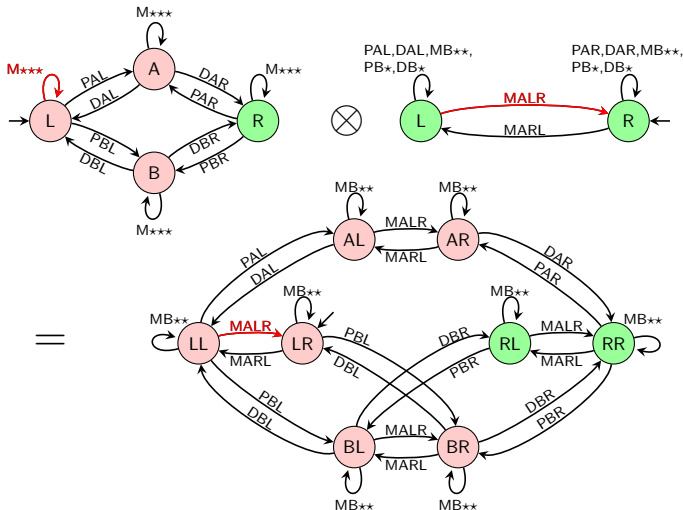
$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}: S_{\star}^{\otimes} = S_{\star}^1 \times S_{\star}^2$$



Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

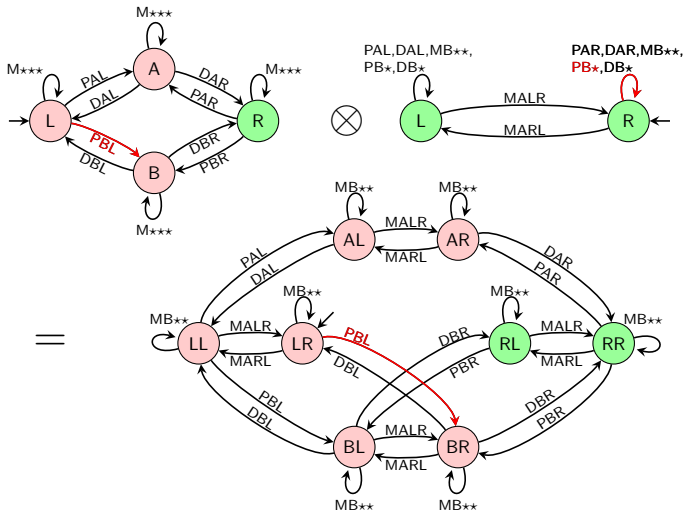
$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}: T^{\otimes} = \{\langle\langle s_1, s_2 \rangle, a, \langle t_1, t_2 \rangle\rangle \mid \dots\}$$



$$\mathcal{S}^{\pi_{\{package\}}} \otimes \mathcal{S}^{\pi_{\{truck A\}}}: T^{\otimes} = \{ \langle \langle s_1, s_2 \rangle, a, \langle t_1, t_2 \rangle \rangle \mid \dots \}$$


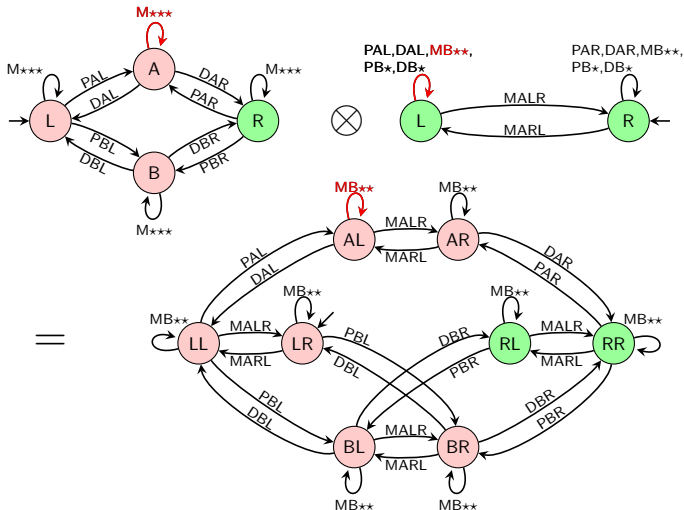
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}: T^{\otimes} = \{\langle \langle s_1, s_2 \rangle, a, \langle t_1, t_2 \rangle \rangle \mid \dots\}$$



Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

$$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}: T^{\otimes} = \{\langle \langle s_1, s_2 \rangle, a, \langle t_1, t_2 \rangle \rangle \mid \dots \}$$



Merge-and-Shrink

M&S-Abstraktionen: Kernideen (Fortsetzung)

Kernideen bei M&S:

- 1 Information von zwei abstrakten Zustandsräumen $\mathcal{A}$ und $\mathcal{A}'$ für denselben konkreten Zustandsraum können durch eine einfache Graphenoperation **kombiniert** werden: **synchrones Produkt** $\mathcal{A} \otimes \mathcal{A}'$.
- 2 Der **konkrete** Zustandsraum $\mathcal{S}$ einer SAS⁺-Planungsaufgabe kann aus den **atomaren Projektionen** rekonstruiert werden:

$$\bigotimes_{v \in V} \mathcal{S}^{\pi_{\{v\}}} \text{ ist isomorph zu } \mathcal{S}$$

$\rightsquigarrow$ baue feine Abstraktionen aus gröberen

- 3 Wenn Zwischenergebnisse zu gross werden:
Verkleinern durch Kombination einiger abstrakter Zustände

Berechnung von M&S-Abstraktionen

Generischer Algorithmus zur Berechnung von M&S-Abstraktionen

```
 $abs := \{\mathcal{S}^{\pi\{v\}} \mid v \in V\}$  [Abstraktionen für atomare Projektionen]  
while  $|abs| > 1$ :  
    select  $\mathcal{S}^1, \mathcal{S}^2$  from  $abs$   
    shrink  $\mathcal{S}^1$  and/or  $\mathcal{S}^2$  until  $\text{size}(\mathcal{S}^1) \cdot \text{size}(\mathcal{S}^2) \leq K$   
     $abs := abs \setminus \{\mathcal{S}^1, \mathcal{S}^2\} \cup \{\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^2\}$  [Merge-Schritt]  
return the remaining abstraction in  $abs$ 
```

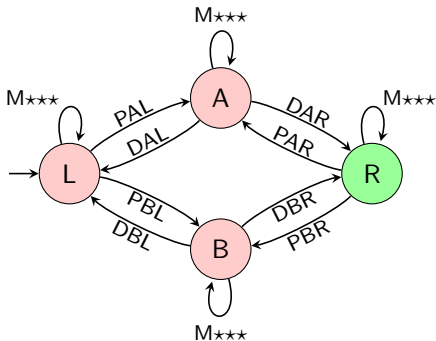
K : Parameter, der max. Anzahl abstrakter Zustände begrenzt

Praktische Implementierungen müssen entscheiden:

- Welche Abstraktionen werden ausgewählt? $\rightsquigarrow$ Merge-Strategie
- Wie werden Abstraktionen geschrumpft? $\rightsquigarrow$ Shrink-Strategie
- Wie soll K gewählt werden?

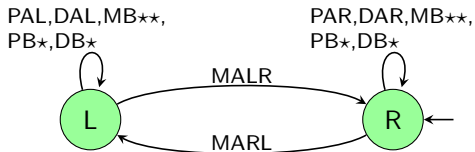
Initialisierungsschritt: atomare Projektion für das Paket

$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\}:$



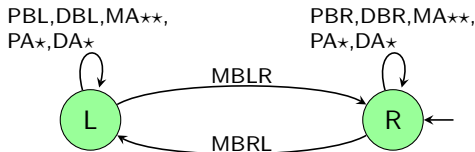
Initialisierungsschritt: atomare Projektion für Lastwagen A

$\mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck } A\}$:



Initialisierungsschritt: atomare Projektion für Lastwagen B

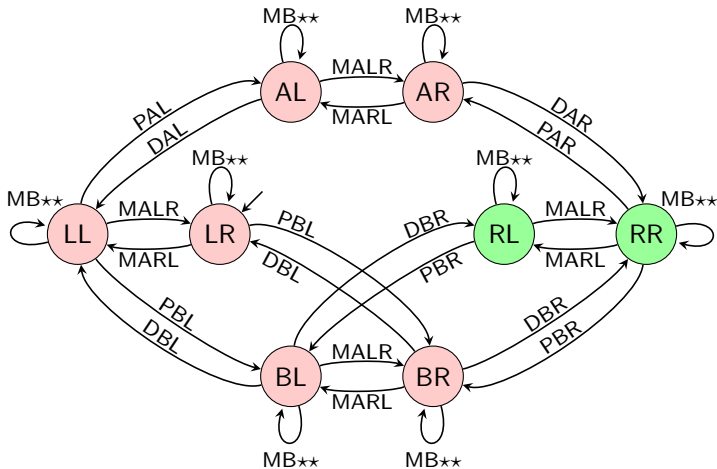
$\mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } B\}}:$



aktuelle Abstraktionsmenge: $abs = \{\mathcal{S}^{\pi\{\text{package}\}}, \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } A\}}, \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } B\}}\}$

Erster Merge-Schritt

$$\mathcal{S}^1 := \mathcal{S}^{\pi\{\text{package}\}} \otimes \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } A\}}:$$



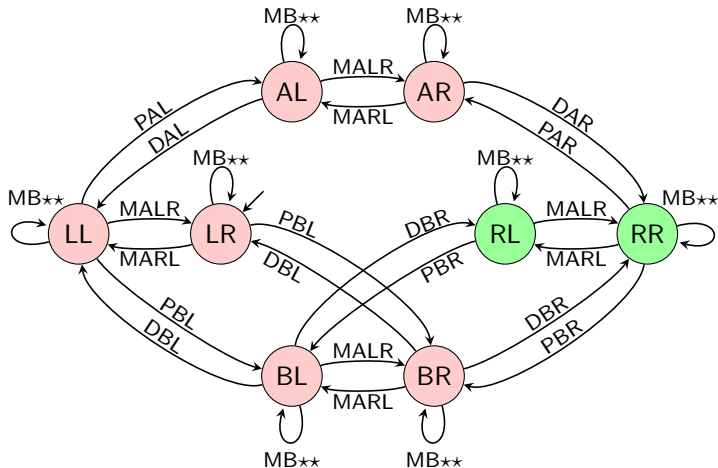
aktuelle Abstraktionsmenge: $abs = \{\mathcal{S}^1, \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } B\}}\}$

Müssen wir vereinfachen?

- Wenn wir genügend Speicher haben, können wir nun $\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } B\}}$ berechnen, wonach wir den konkreten Zustandsraum des Problems konstruiert hätten.
- Um die allgemeine Idee zu illustrieren, nehmen wir jedoch an, dass wir nicht genug Speicher für dieses Produkt zur Verfügung haben.
- Genauer: wir nehmen an, dass wir nach jedem Merge-Schritt auf **vier** Zustände reduzieren müssen, um den Speicherverbrauch unter Kontrolle zu halten

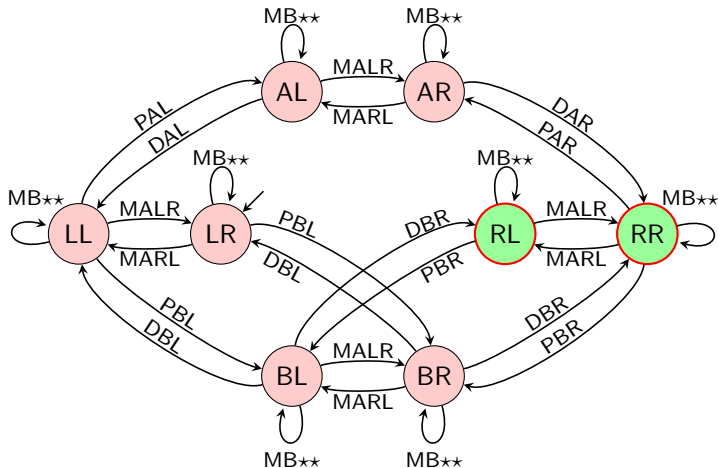
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



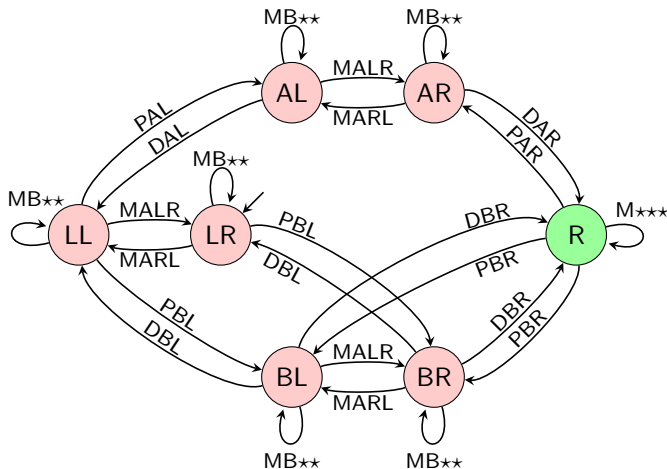
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



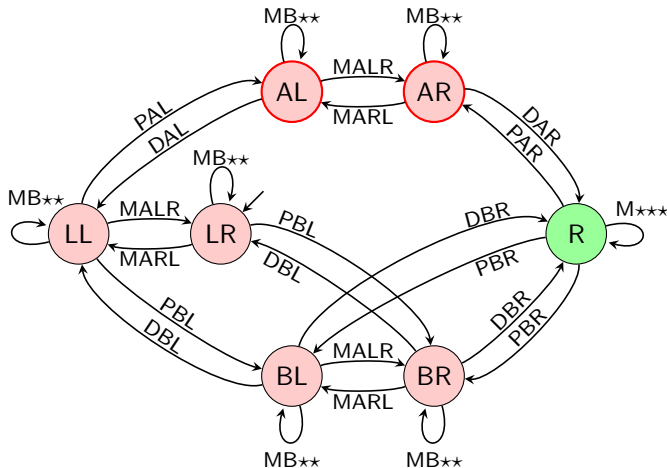
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



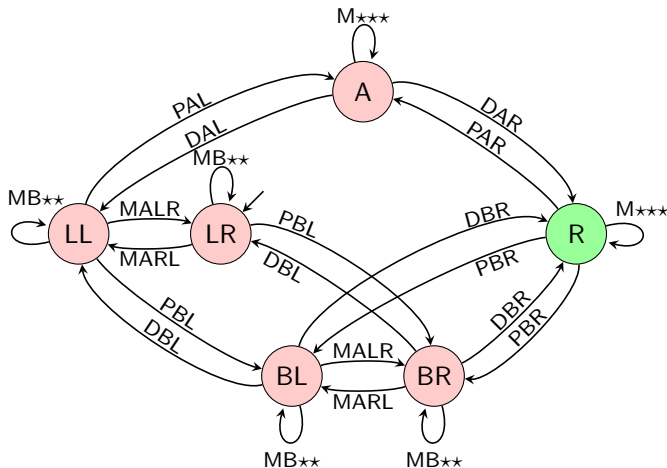
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



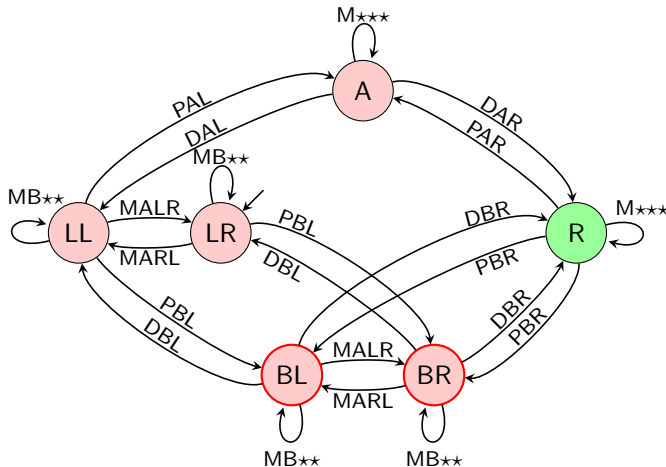
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



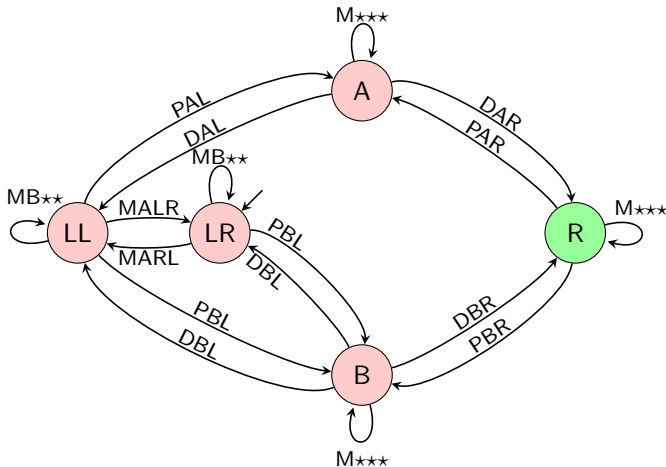
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



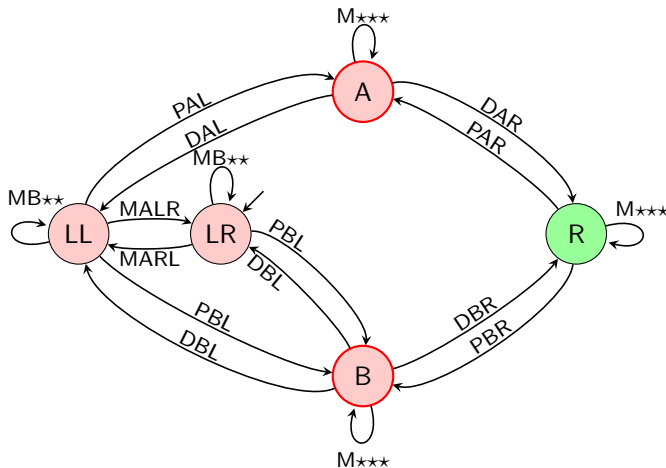
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2 :=$ eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



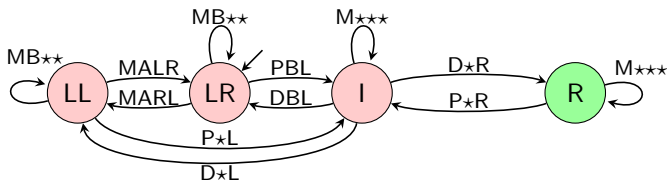
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2$:= eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



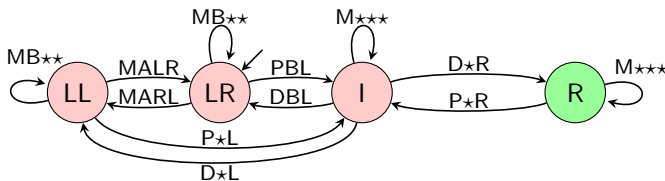
Erster Shrink-Schritt

$\mathcal{S}^2 :=$ eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



Erster Shrink-Schritt

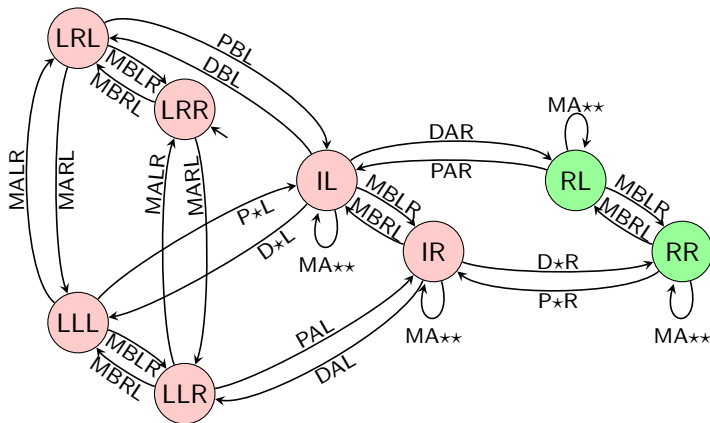
$\mathcal{S}^2 :=$ eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



aktuelle Abstraktionsmenge: $abs = \{\mathcal{S}^2, \mathcal{S}^{\pi_{\{truck\ B\}}}\}$

Zweiter Merge-Schritt

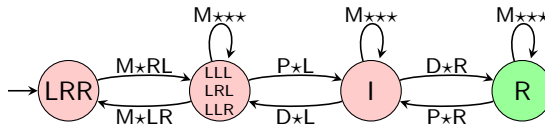
$$\mathcal{S}^3 := \mathcal{S}^2 \otimes \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck } B\}}:$$



aktuelle Abstraktionsmenge: $\{\mathcal{S}^3\}$

Zweiter Shrink-Schritt

- Wir schrumpfen (um die Ideen zu illustrieren; der generische Algorithmus wäre hier fertig) $\mathcal{S}^3$ noch zu $\mathcal{S}^4$ und erhalten:



- Wir erhalten einen Heuristikwert von 3 für den Anfangszustand $\rightsquigarrow$ **besser als jede PDB-Heuristik**, die nicht alle Variablen im Muster hat.
- Das Beispiel lässt sich auf mehr Orte und Lastwagen verallgemeinern, ohne dass man die Grössenschränke von 4 (nach dem Merge-Schritt) erhöhen müsste.

Merge-and-Shrink-Abstraktionen in der Praxis

Praktische Aspekte, auf die wir nicht eingehen:

- Wie wählen wir den Grössenparameter?
- Welche Merge-Strategien sind gut?
- Welche Shrink-Strategien sind gut?
- Wie **implementieren** wir Merge-and-Shrink effizient?
 - gute Datenstrukturen und Algorithmen wichtig!

Zusammenfassung

Zusammenfassung (1)

- **Merge-and-Shrink-Abstraktionen:** statt wenige Variablen perfekt in der Abstraktion zu berücksichtigen, berücksichtige **alle** Variablen **verlustbehaftet**
- **synchrones Produkt:** Graphoperation, die zwei abstrakte Transitionssystem zu einem kombiniert
- Planungsaufgabe lässt sich komplett durch Produkt aus den **atomaren Abstraktionen** rekonstruieren

Zusammenfassung (2)

- **Merge-and-Shrink:**
 - ausgehend von allen **atomaren Abstraktionen**
 - ersetze immer zwei Abstraktionen durch ihr Produkt (**merge**)
 - verkleinere eine Abstraktion, wenn sie zu gross wird, um in den Speicher zu passen (**shrink**)
- Praxis: gute **Merge-** und **Shrink-Strategien** wichtig