

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

38. Handlungsplanung: Merge-and-Shrink-Abstraktionen

Malte Helmert

Universität Basel

18. Mai 2015

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

18. Mai 2015 — 38. Handlungsplanung: Merge-and-Shrink-Abstraktionen

38.1 Merge-and-Shrink: Motivation

38.2 Synchrones Produkt

38.3 Merge-and-Shrink

38.4 Zusammenfassung

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

38.1 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.

38.2 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:

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

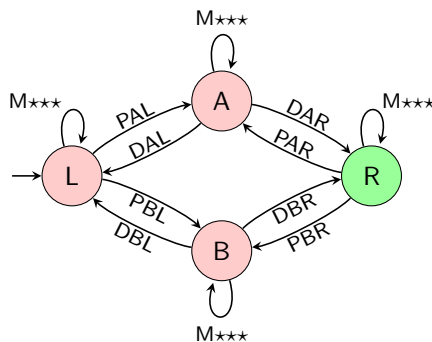
\rightsquigarrow baue feine Abstraktionen aus größeren

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**

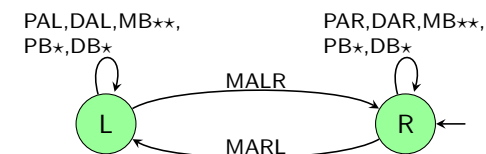
Beispiel: atomare Projektion für das Paket

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

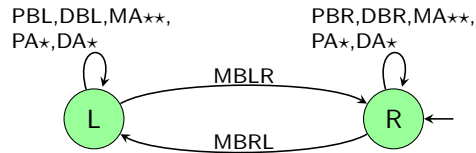


Beispiel: atomare Projektion für Lastwagen A

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



Beispiel: atomare Projektion für Lastwagen B

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


Synchrones Produkt von Zustandsräumen

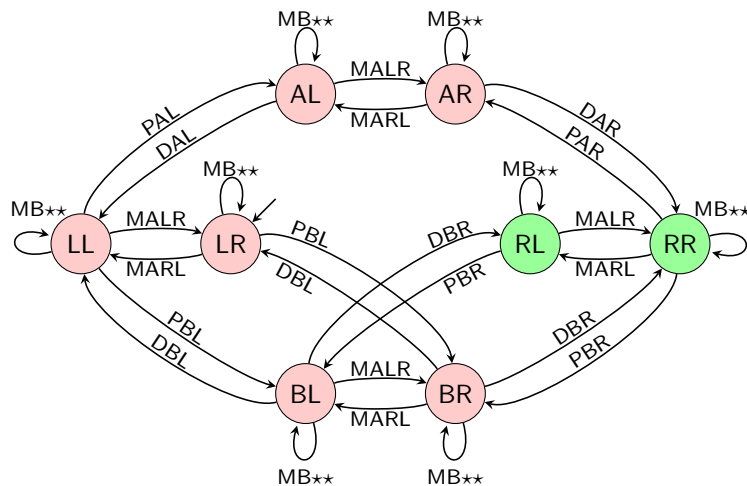
Definition (synchrones Produkt von Zustandsräumen)

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).

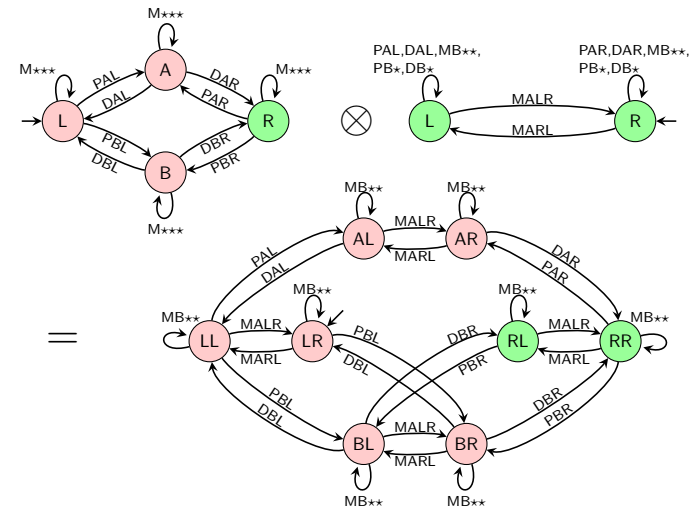
Das **synchrone Produkt** von \mathcal{S}^1 und \mathcal{S}^2 , geschrieben $\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^2$, ist der Zustandsraum $\mathcal{S}^\otimes = \langle S^\otimes, A, cost, T^\otimes, s_0^\otimes, S_\star^\otimes \rangle$ mit

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

Beispiel: synchrones Produkt

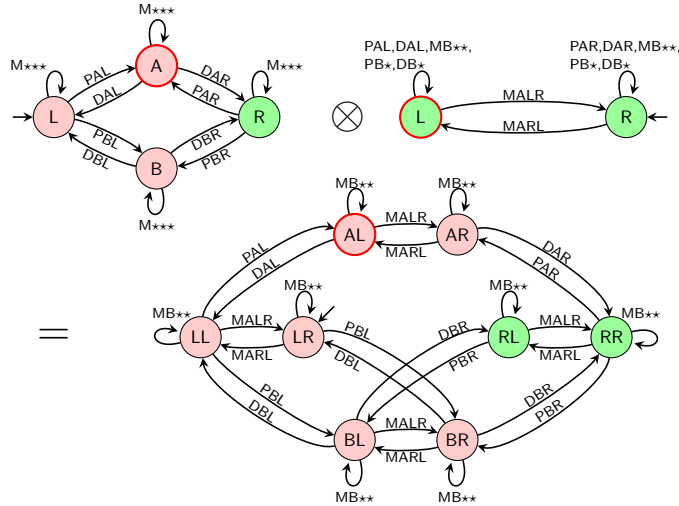
 $\mathcal{S}^{\pi}\{\text{package}\} \otimes \mathcal{S}^{\pi}\{\text{truck A}\}:$


Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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


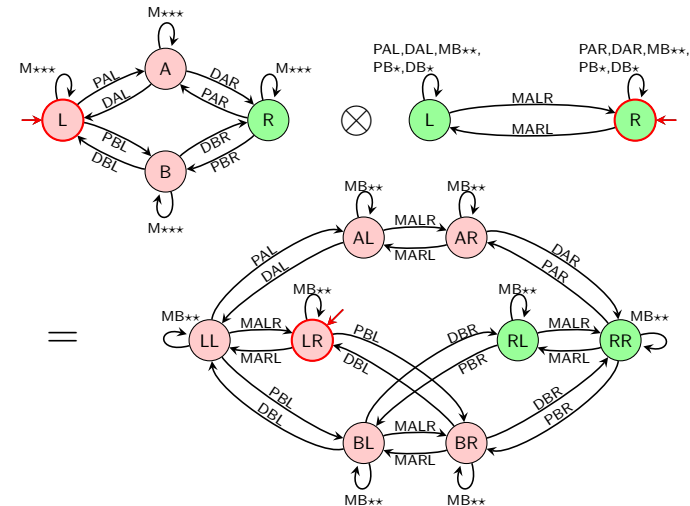
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



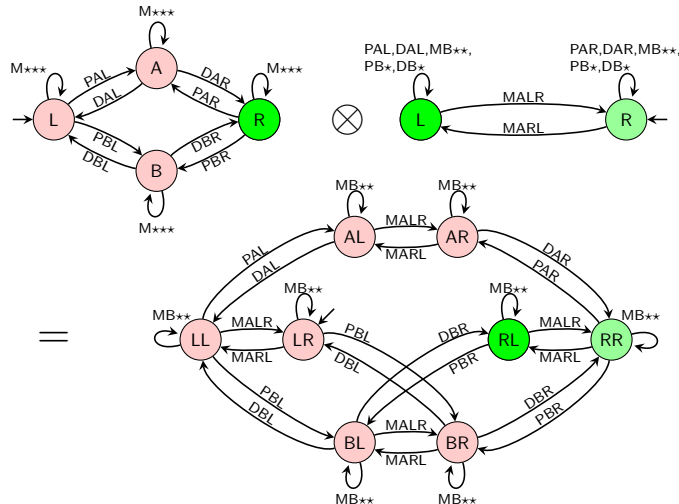
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



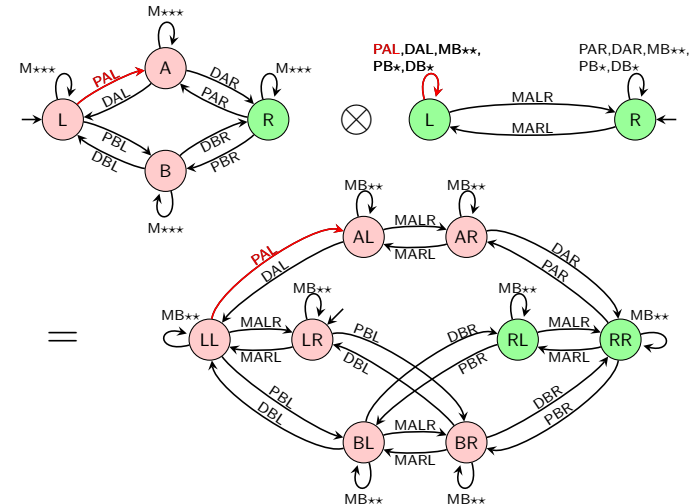
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



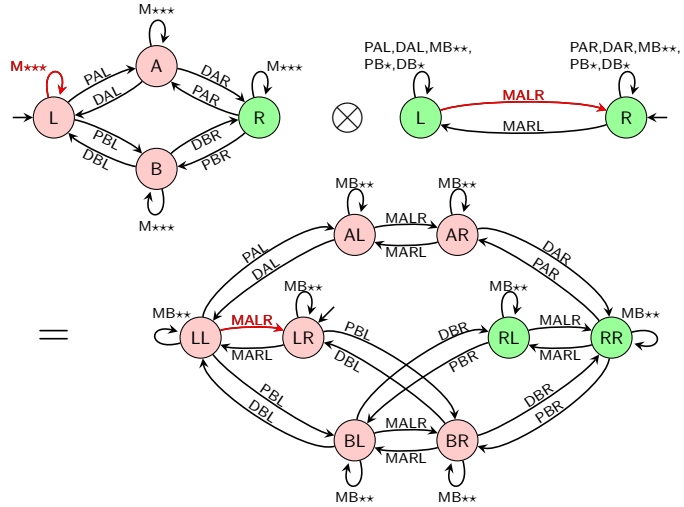
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



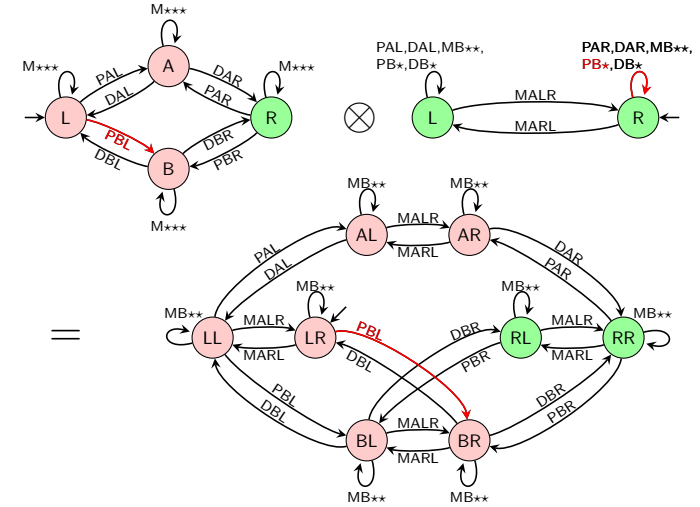
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



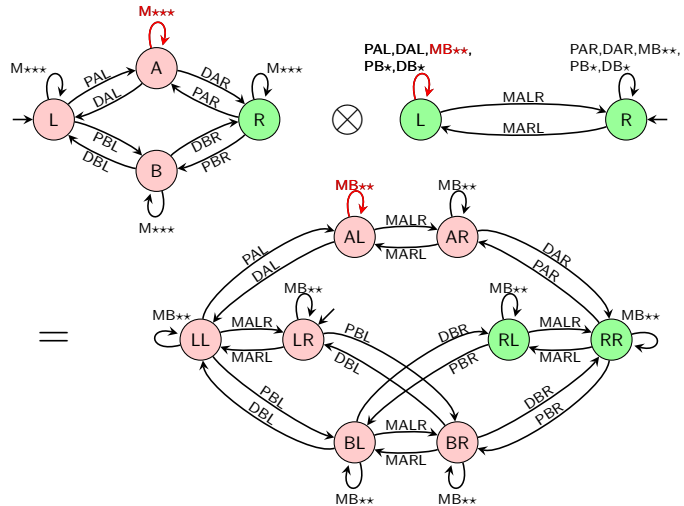
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



38.3 Merge-and-Shrink

M&S-Abstraktionen: Kernideen (Fortsetzung)

Kernideen bei M&S:

- Information von zwei abstrakten Zustandsräumen \mathcal{A} und \mathcal{A}' für denselben konkreten Zustandsraum können durch eine einfache Graphenoperation **kombiniert** werden: **synchrones Produkt** $\mathcal{A} \otimes \mathcal{A}'$.
- 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

- 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 := {  $\mathcal{S}^{\pi\{v\}}$  |  $v \in V$  } [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 \ {  $\mathcal{S}^1, \mathcal{S}^2$  } ∪ {  $\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^2$  } [Merge-Schritt]
return the remaining abstraction in abs

```

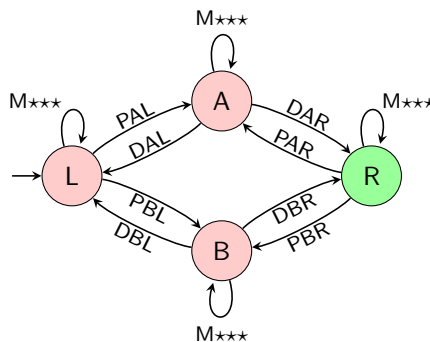
K: Parameter, der max. Anzahl abstrakter Zustände begrenzt

Praktische Implementierungen müssen entscheiden:

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

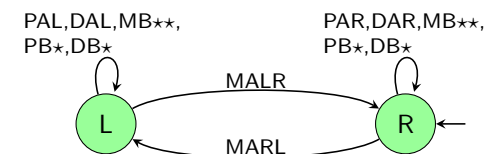
Initialisierungsschritt: atomare Projektion für das Paket

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



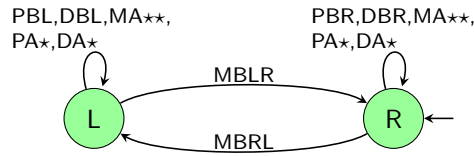
Initialisierungsschritt: atomare Projektion für Lastwagen A

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



Initialisierungsschritt: atomare Projektion für Lastwagen B

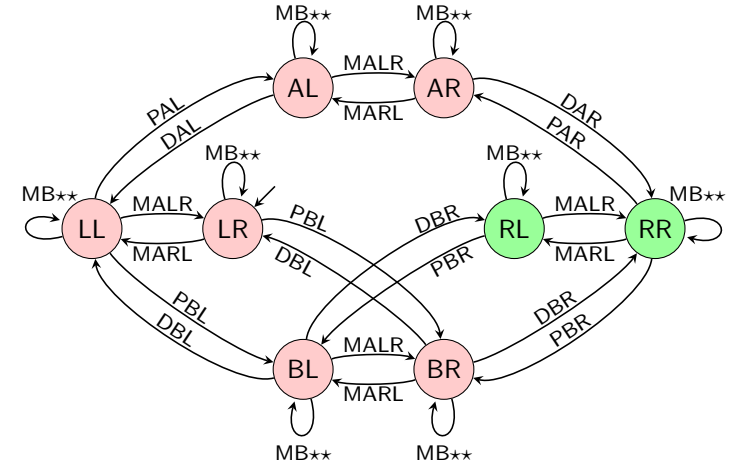
$\mathcal{S}^{\pi\{\text{truck B}\}}:$



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

Erster Merge-Schritt

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



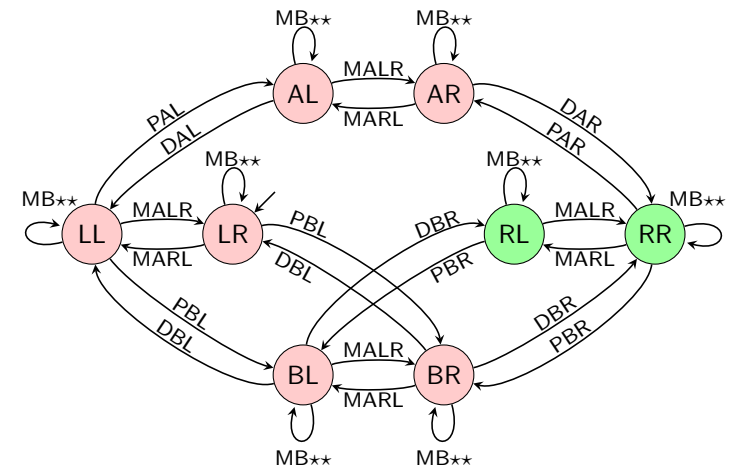
aktuelle Abstraktionsmenge: $abs = \{\mathcal{S}^1, \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck B}\}}\}$

Müssen wir vereinfachen?

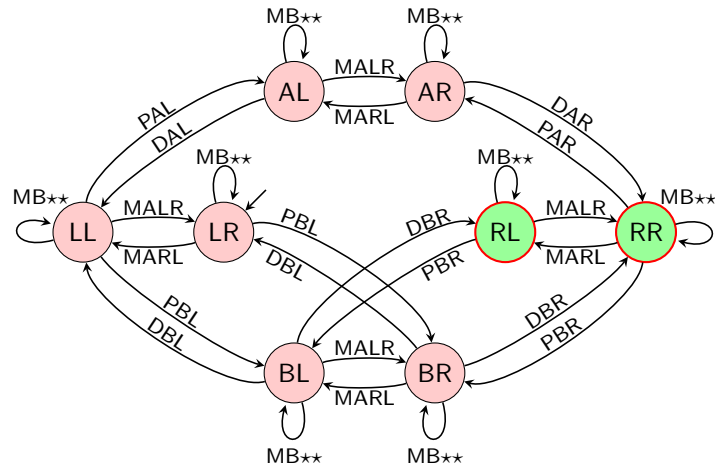
- ▶ Wenn wir genügend Speicher haben, können wir nun $\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^{\pi\{\text{truck B}\}}$ berechnen, wonach wir den konkreten Zustandsraum des Problems konstruiert hätten.
- ▶ Um die allgemeine Idee zu illustrieren, nehmen wir jedoch an, dass wir nicht genug Speicher für dieses 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

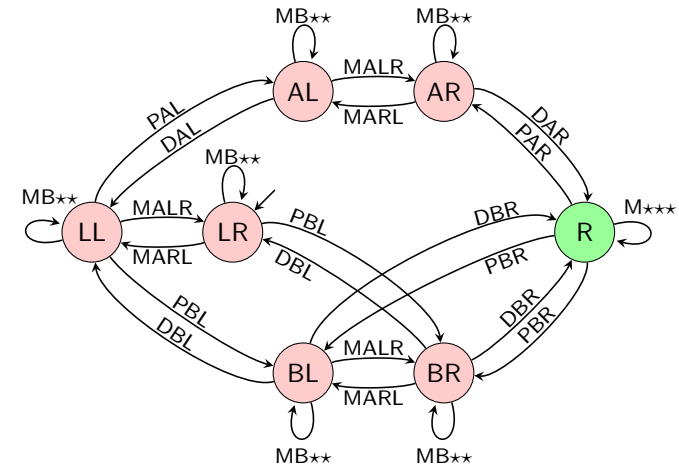
$\mathcal{S}^2 :=$ eine Abstraktion von \mathcal{S}^1



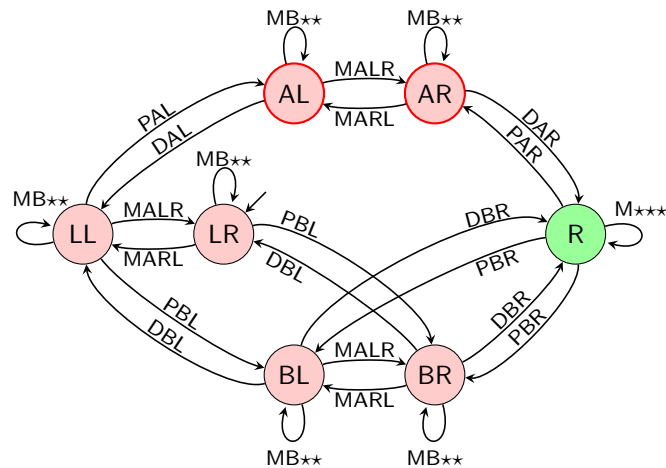
Erster Shrink-Schritt

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


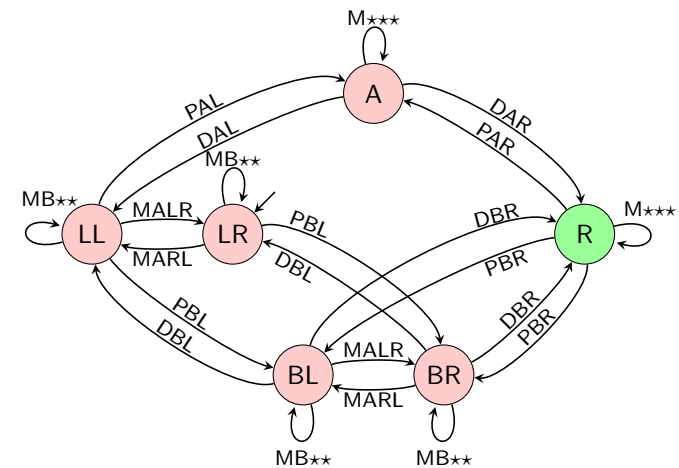
Erster Shrink-Schritt

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


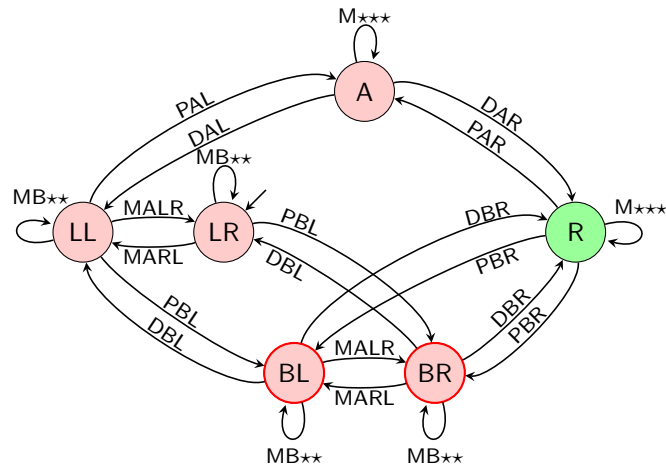
Erster Shrink-Schritt

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


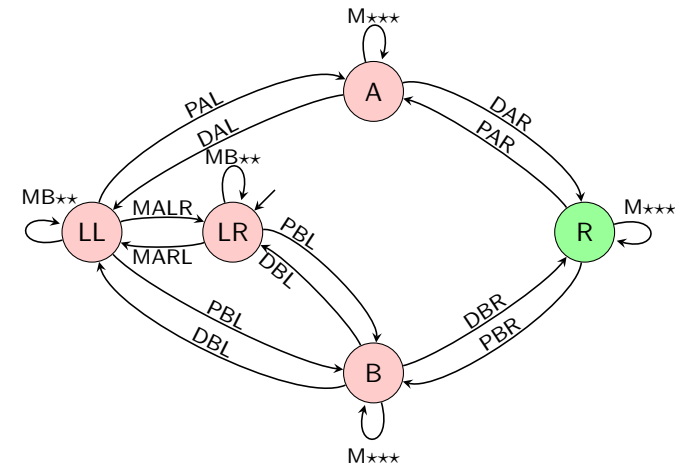
Erster Shrink-Schritt

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


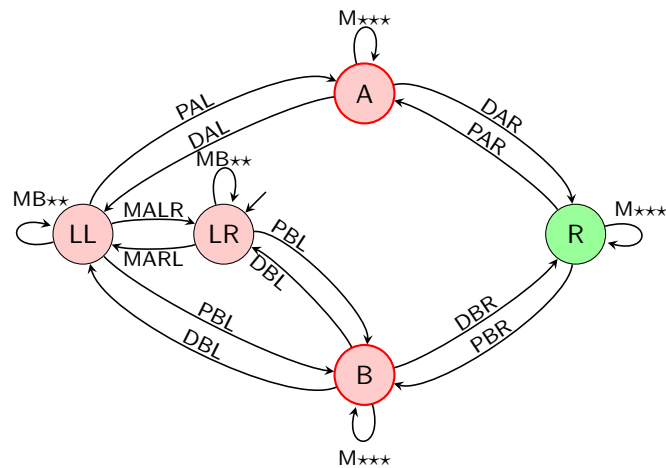
Erster Shrink-Schritt

 $S^2 :=$ eine Abstraktion von S^1


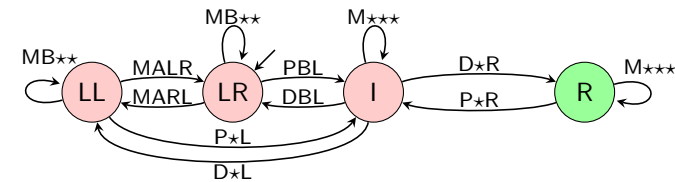
Erster Shrink-Schritt

 $S^2 :=$ eine Abstraktion von S^1


Erster Shrink-Schritt

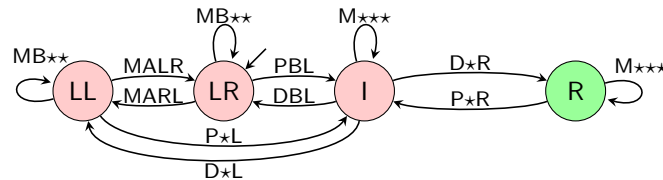
 $S^2 :=$ eine Abstraktion von S^1


Erster Shrink-Schritt

 $S^2 :=$ eine Abstraktion von S^1


Erster Shrink-Schritt

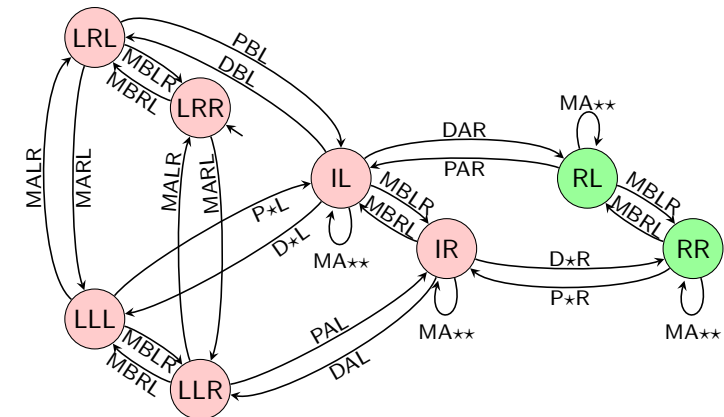
$S^2 :=$ eine Abstraktion von S^1



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

Zweiter Merge-Schritt

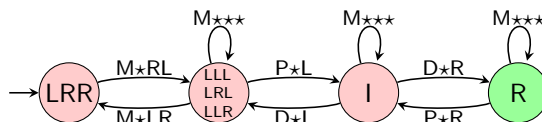
$S^3 := S^2 \otimes S^{\pi\{truck\ B\}} :$



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

Zweiter Shrink-Schritt

- Wir schrumpfen (um die Ideen zu illustrieren; der generische Algorithmus wäre hier fertig) S^3 noch zu 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 Grössenschranke 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!

38.4 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 Transitionssysteme 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