Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

35. Handlungsplanung: Merge-and-Shrink-Abstraktionen

Malte Helmert

Universität Basel

12. Mai 2014

Handlungsplanung: Überblick

Kapitelüberblick:

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 polynomiellem 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:

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

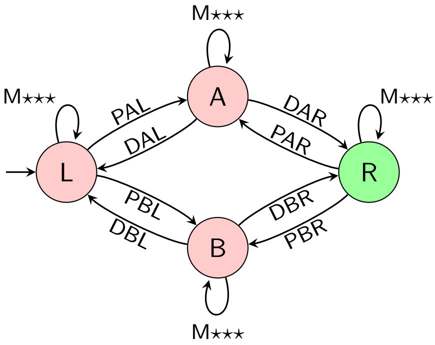
$\rightsquigarrow$ baue feine Abstraktionen aus gröberen

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$\star\star$: parallele Kanten für Aktionen MALR und MARL

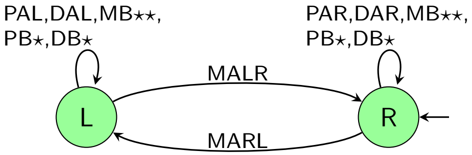
Beispiel: atomare Projektion für das Paket

$\mathcal{S}^{\pi_{\{package\}}}$:



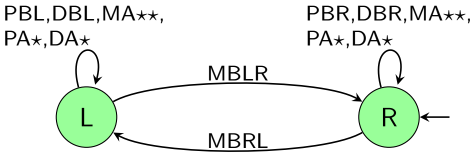
Beispiel: atomare Projektion für Lastwagen A

$\mathcal{S}^{\pi_{\{truck\ A\}}}$:



Beispiel: atomare Projektion für Lastwagen B

$\mathcal{S}^{\pi_{\{truck\ B\}}}$:



Synchrones Produkt von Zustandsräumen

Definition (synchrones Produkt von Zustandsräumen)

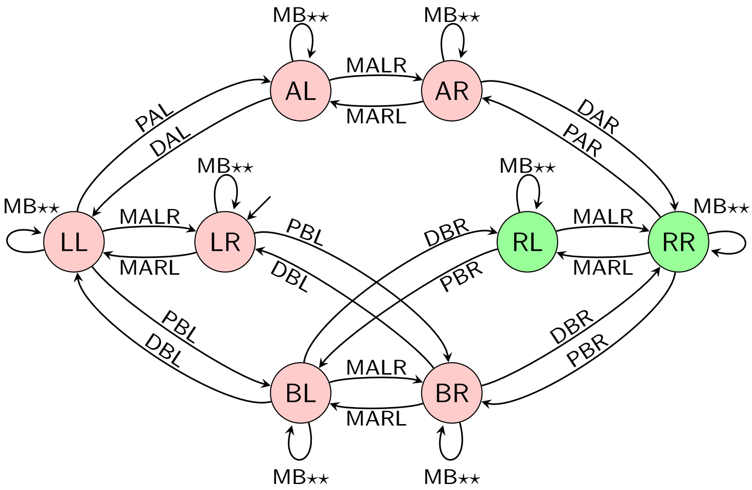
Für $i \in \{1, 2\}$ seien $\mathcal{S}^i = \langle S^i, A, cost, T^i, s_0^i, S_\star^i \rangle$ Zustandsräume (mit identischen Aktionen und Kosten).

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

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

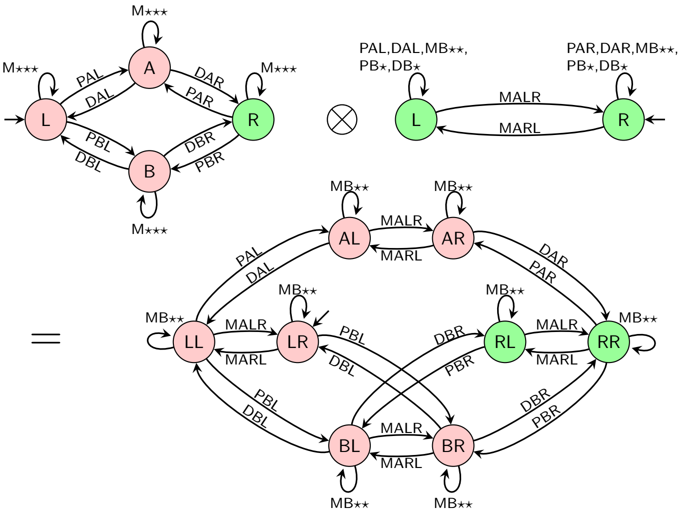
Beispiel: synchrones Produkt

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



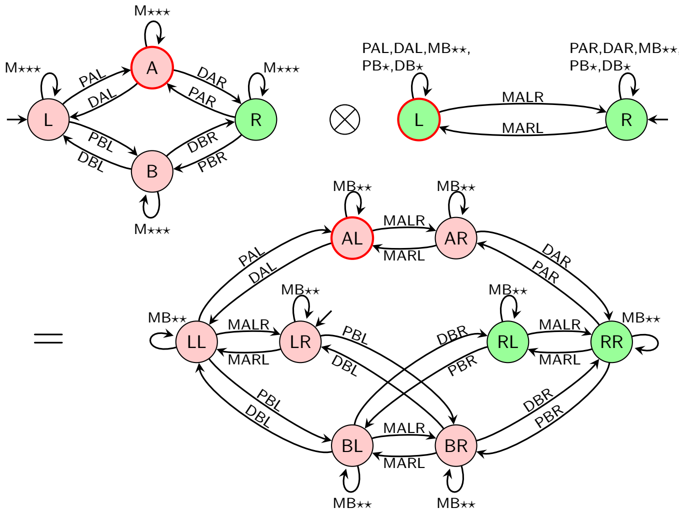
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



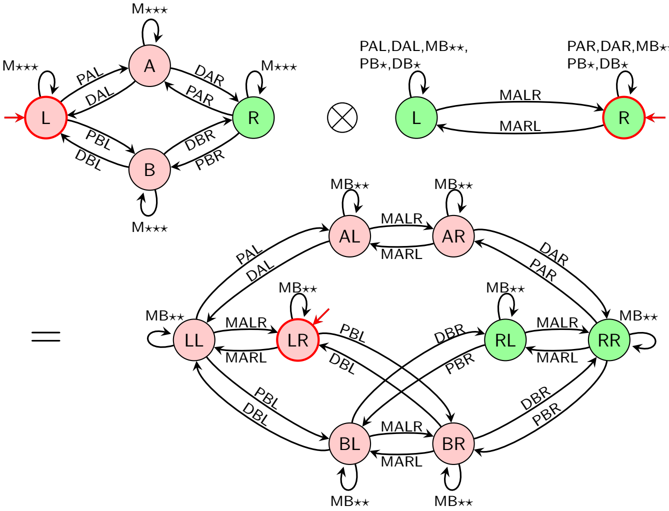
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



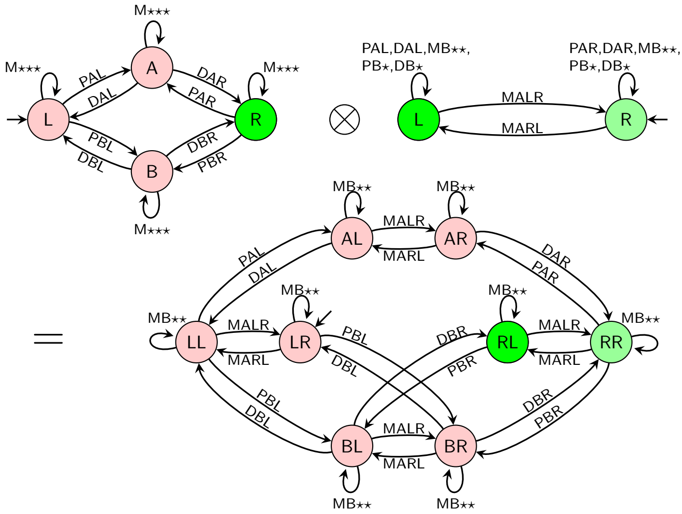
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



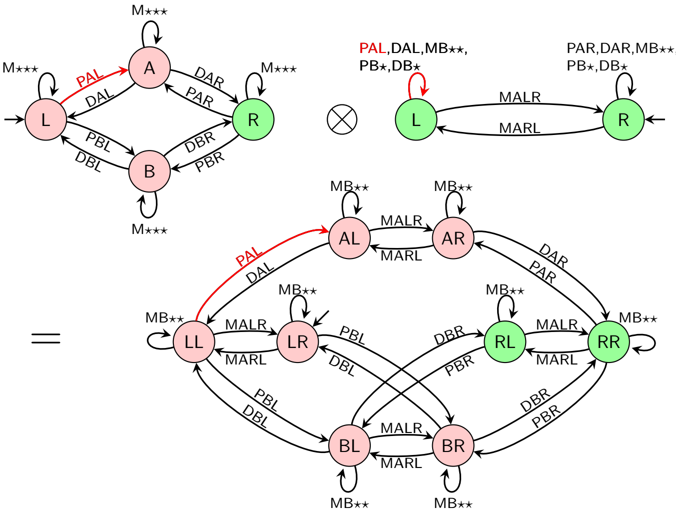
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



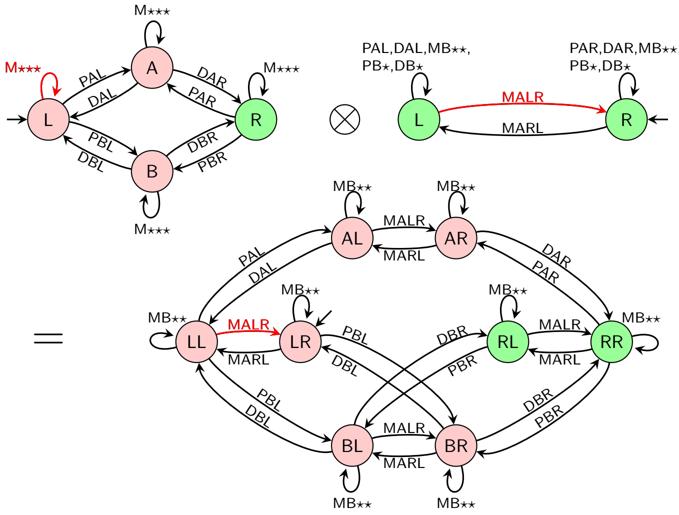
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



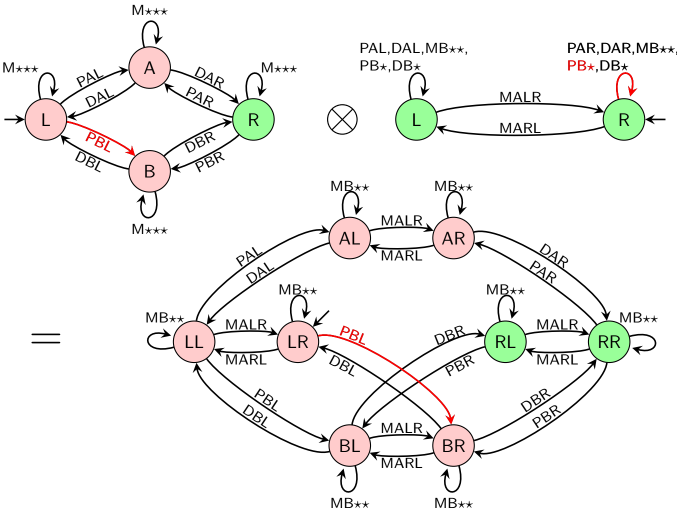
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



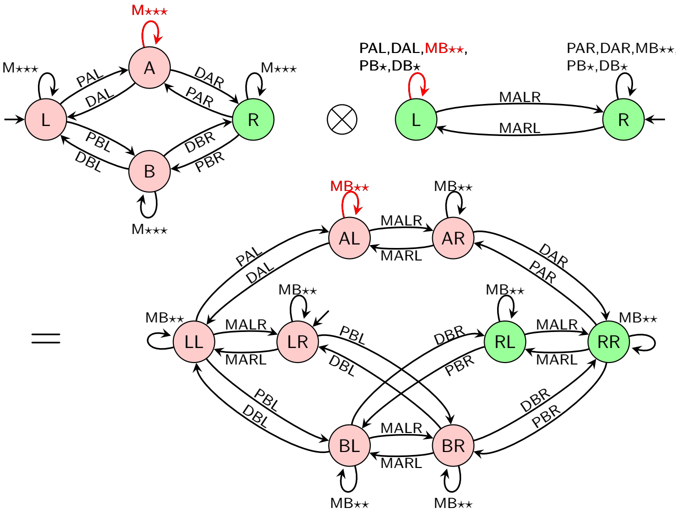
Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



Beispiel: Berechnung des synchronen Produkts

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



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*

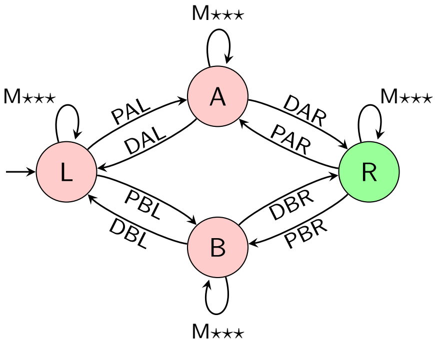
K: Parameter, der max. Anzahl abstrakter Zustände begrenzt

Praktische Implementierungen müssen entscheiden:

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

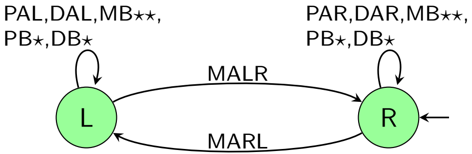
Initialisierungsschritt: atomare Projektion für das Paket

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



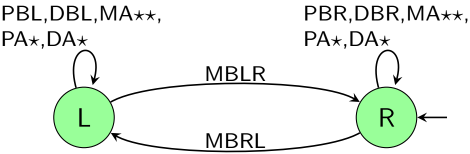
Initialisierungsschritt: atomare Projektion für Lastwagen A

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



Initialisierungsschritt: atomare Projektion für Lastwagen B

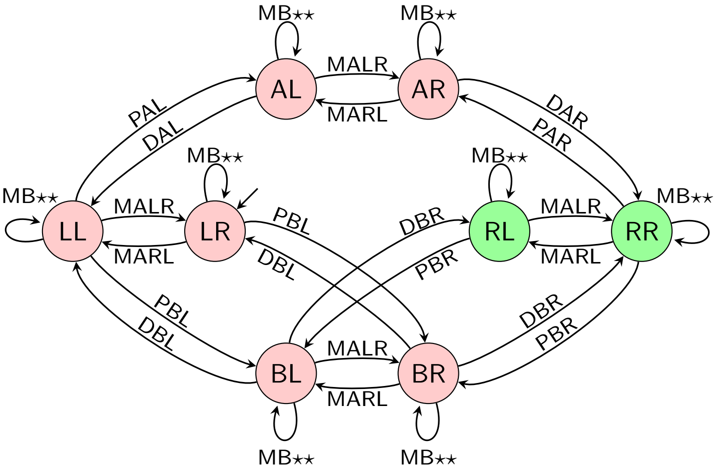
$\mathcal{S}^{\pi_{\{truck\ B\}}}$:



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

Erster Merge-Schritt

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



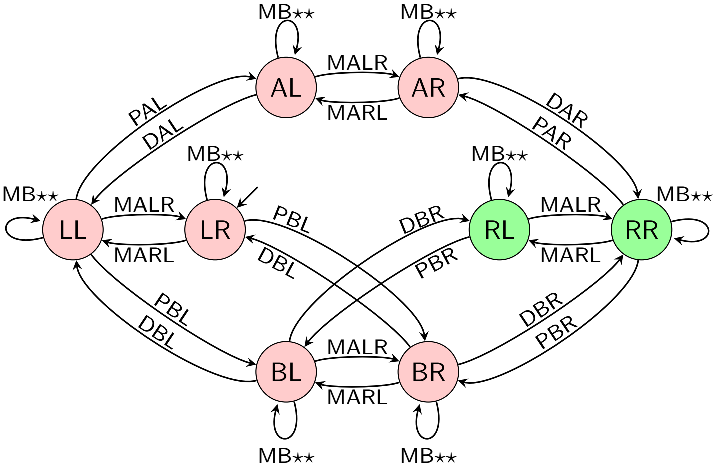
aktuelle Abstraktionsmenge: $abs = \{\mathcal{S}^1, \mathcal{S}^{\pi_{\{truck\ B\}}}\}$

Müssen wir vereinfachen?

- Wenn wir genügend Speicher haben, können wir nun $\mathcal{S}^1 \otimes \mathcal{S}^{\pi_{\{\textit{truck } B\}}}$ 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

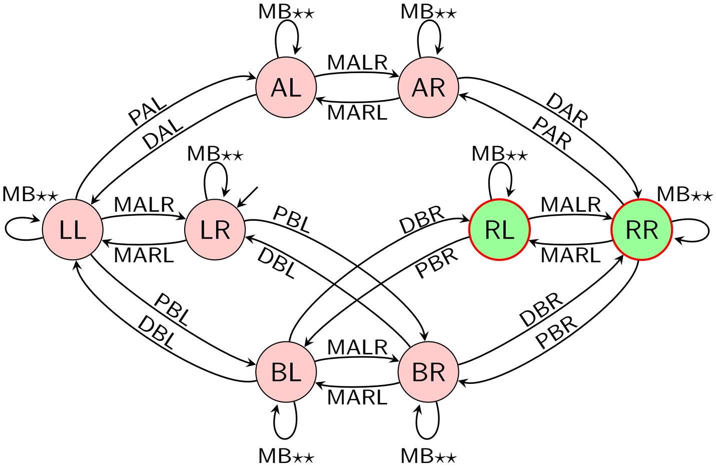
Erster Shrink-Schritt

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



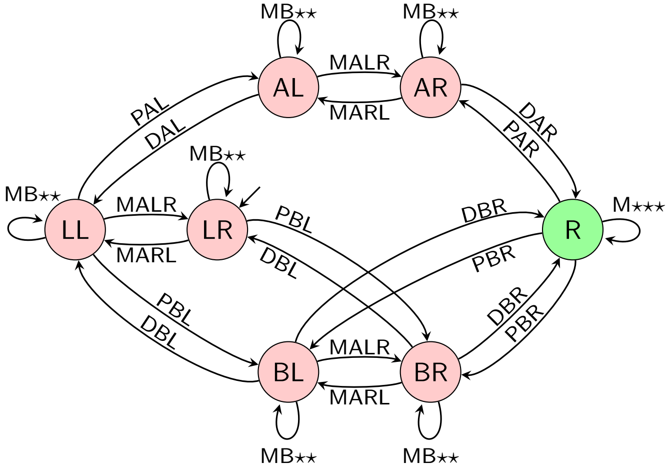
Erster Shrink-Schritt

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



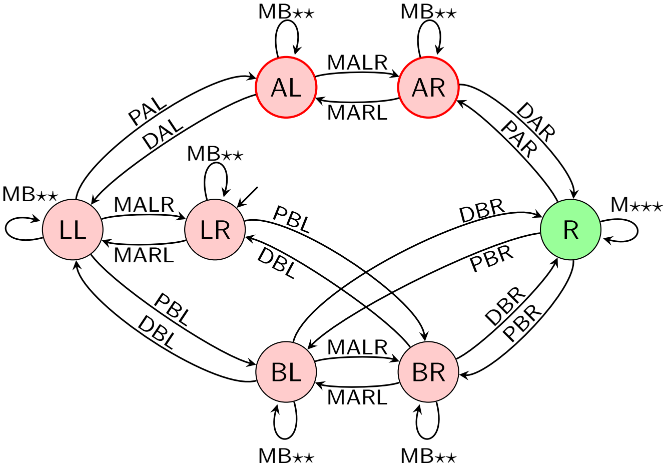
Erster Shrink-Schritt

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



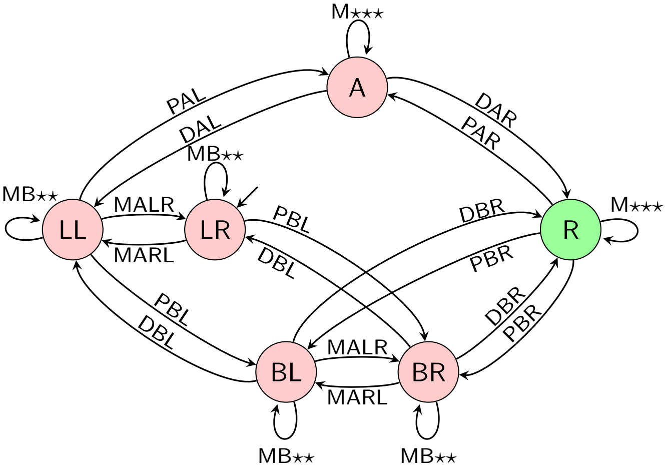
Erster Shrink-Schritt

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



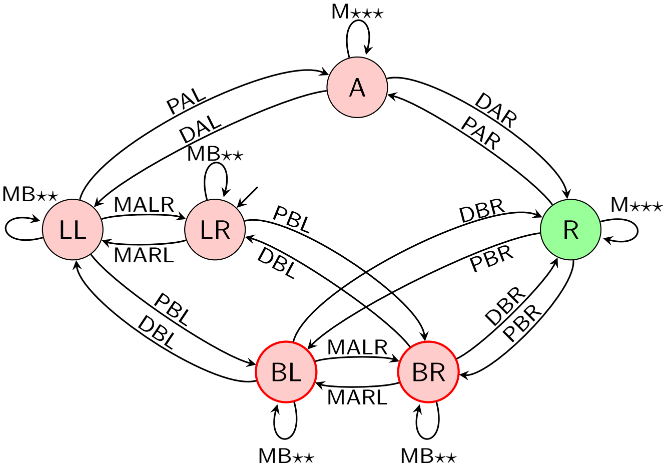
Erster Shrink-Schritt

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



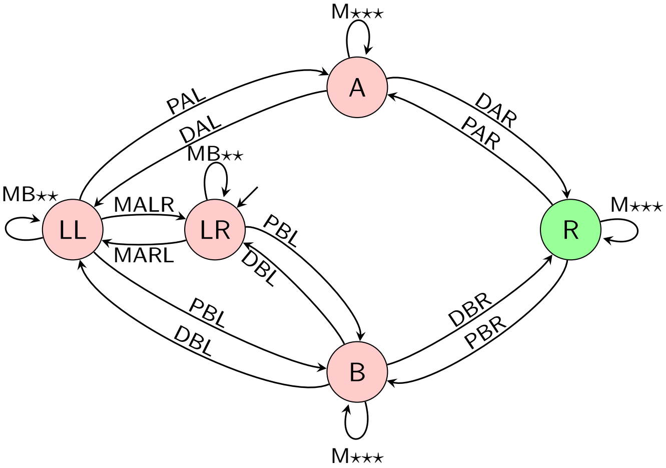
Erster Shrink-Schritt

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



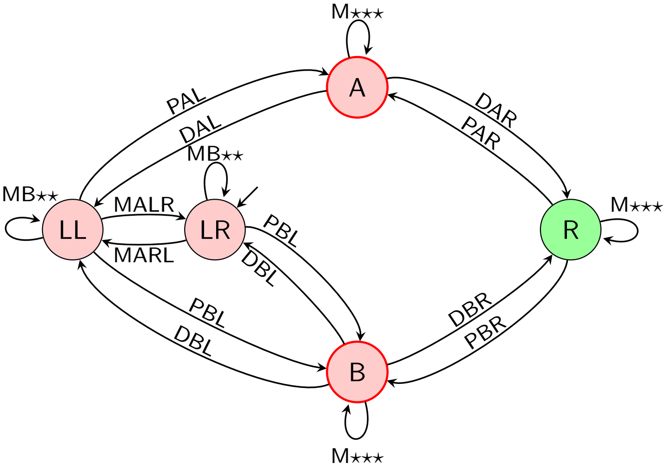
Erster Shrink-Schritt

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



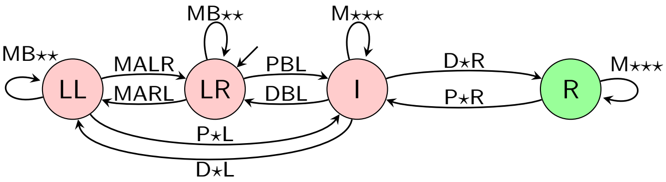
Erster Shrink-Schritt

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



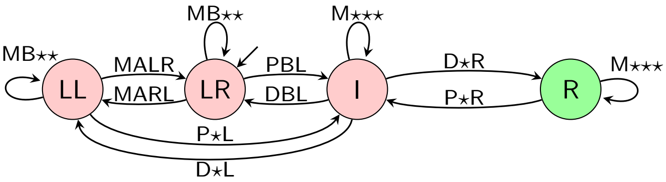
Erster Shrink-Schritt

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



Erster Shrink-Schritt

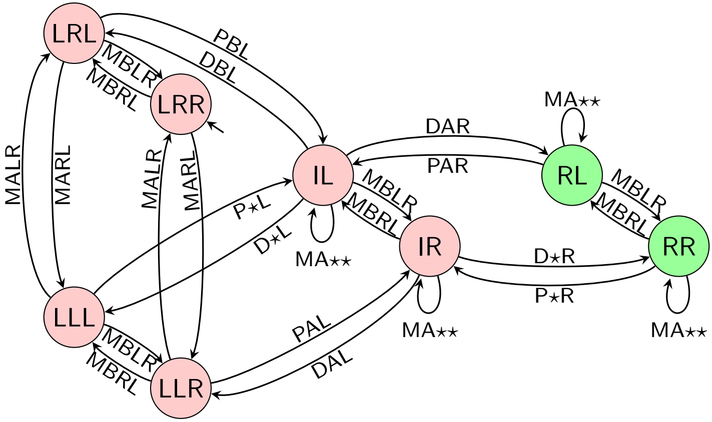
$\mathcal{S}^2 :=$ eine Abstraktion von $\mathcal{S}^1$



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

Zweiter Merge-Schritt

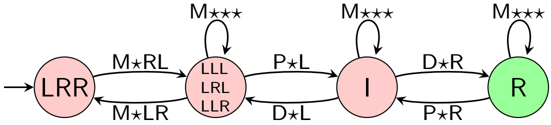
$\mathcal{S}^3 := \mathcal{S}^2 \otimes \mathcal{S}^{\pi_{\{truck\ B\}}}$:



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 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!

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