

Produktkonfiguration mittels geordneter Resolution

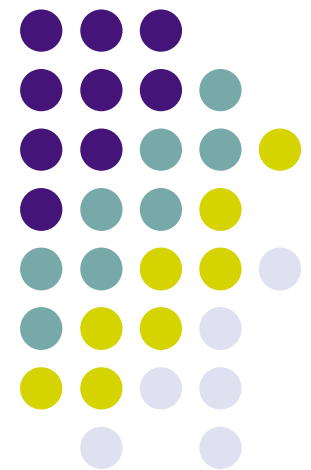
Carsten Sinz

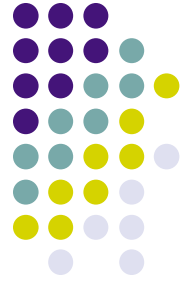
Arbeitsbereich Symbolisches Rechnen (Prof. Küchlin)

Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik



Universität Tübingen



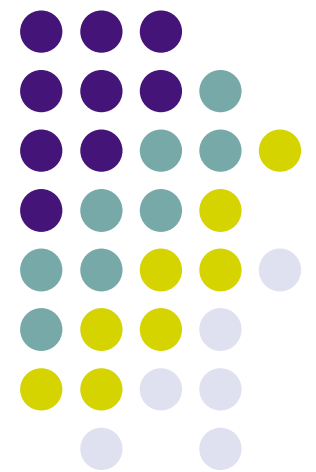


Übersicht

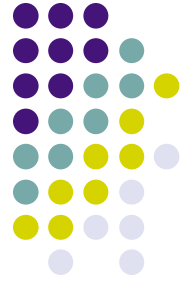
- Was ist Produktkonfiguration?
- Interaktive Konfiguration
- Konsistenzprüfung und Wissens-Kompilierung mittels geordneter Resolution
- Aktive Variablen und Klauseln



Produktkonfiguration




Was ist Produktkonfiguration?



- Variantenreiche Produkte mit einer Vielzahl von Optionen
 - z.B. Computer, PKW, Flugzeuge, Telekommunikationsanlagen
- Restriktionen bzgl. Kombinierbarkeit der Optionen
 - Option A geht nicht zusammen mit Option B.
 - Wenn A vorhanden ist, muss auch B oder C vorhanden sein.
- Spezifikation des Kunden muss geprüft und in gültige Produktinstanz umgesetzt werden
 - Bei unvollständige Angaben: Automatische Erweiterung um zusätzliche Optionen („Zusteuern“)
 - Präferenzen des Kunden sollten berücksichtigt werden.




C270CDI - Elegance - Microsoft Internet Explorer



Mercedes-Benz

Fahrzeugklasse
C-Klasse

Karosserie und Motorwahl:
C270CDI EUR 33.408,00



Design/Ausstattungslineie:
Elegance EUR 1.798,00

Lacke:
Magmarot EUR 0,00

Polster:
anthrazit "Cambr" EUR 0,00

Sonderausstattung:

<input checked="" type="checkbox"/>	Antenne für Telefon	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	Außenspiegel elek	243,60
<input checked="" type="checkbox"/>	Komfort-Klimatisie	591,60
<input checked="" type="checkbox"/>	Lautsprecher(7 Stüc	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	MB-Telefon Stand	893,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Bedien- und Anze	2.847,80

Limousinen

Benzin	Diesel
C180K	C200CDI
C200CGI	C220CDI
C200K	C270CDI
C240	C30 AMG
C2404M	
C32 AMG	
C320	
C3204M	

Classic
Elegance
Avantgarde

Unilackierung

Stoff

Design
Klimatisierung
Komfort
Lenkung/Schaltung
Radio/ Kommunikation
Räder und Fahrwerk
Sicherheit
Sitze
Technik

Ergebnis der Auswahl:
Gesamtpreis EUR 39.782,20

Ergebnis anzeigen
Online Suche

Produktinformation

- Preisblatt
- Preisfinder
- 360° Außenansicht
- 360° Innenansicht

Modellinformation

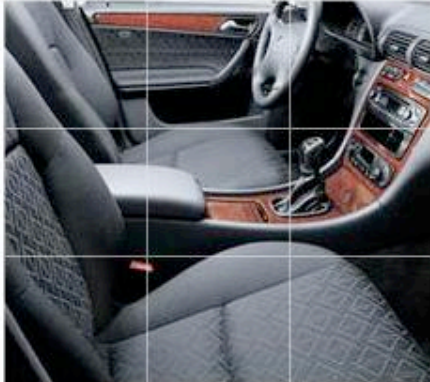

Die C-Klasse Limousinen
C 270 CDI LIMOUSINE

Sitze/Türen: 5/4
Motortyp: 5-Zyl. Diesel
Leistung: 125 kW (170 PS)
Hubraum: 2685 ccm

Grundpreis: 33.408,00 EUR

Hier geht es weiter

- Angebot anfordern
- Konfiguration drucken
- Leasing und Finanzierung

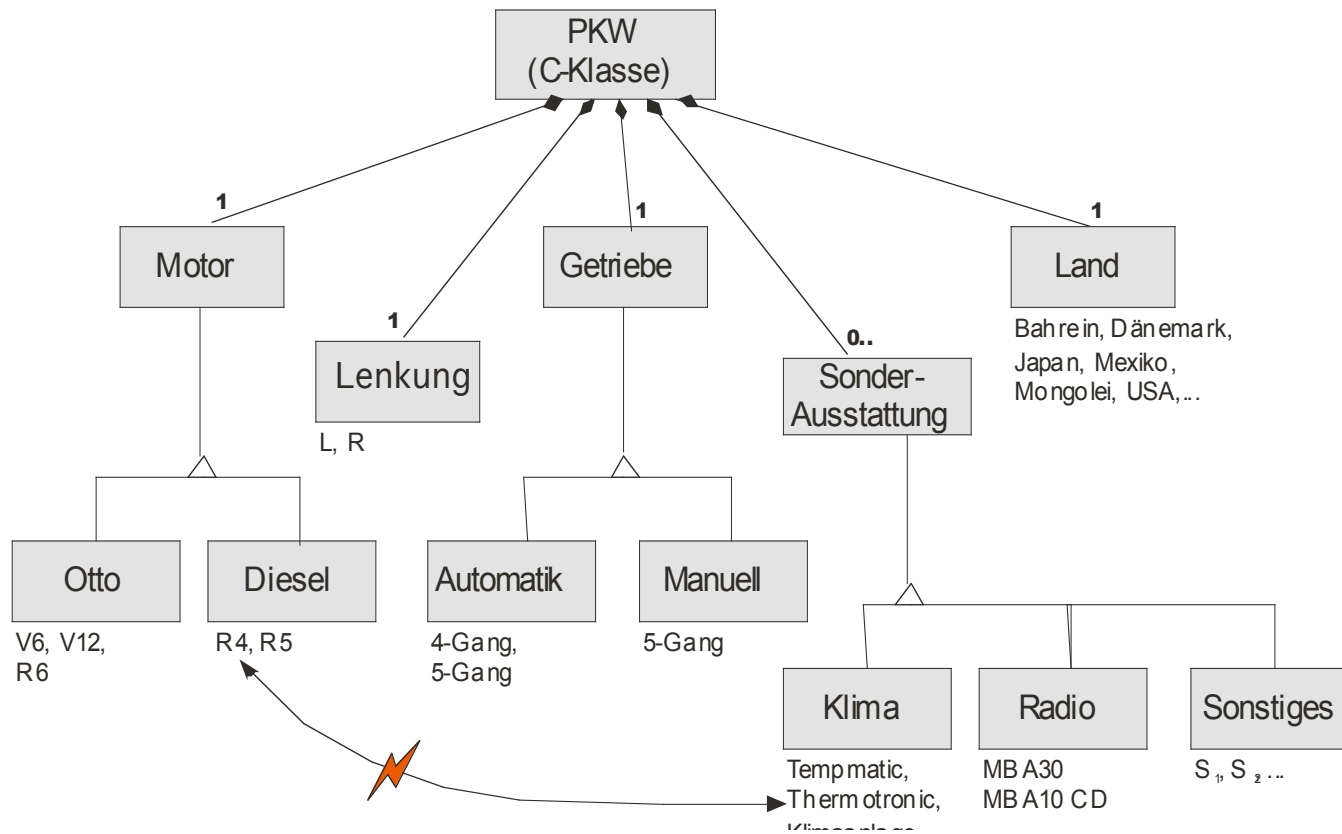
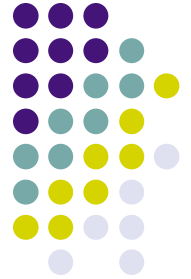
Front Seite Heck

Neue Konfiguration

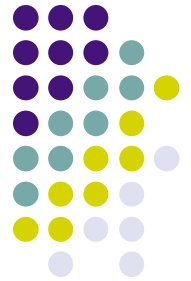
Fertig. Internet



Beispiel: Konfiguration PKW (schematisch)



Beispiel: Konfiguration PKW (Mercedes)

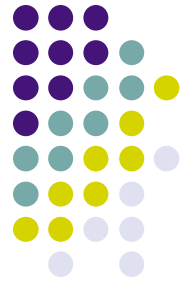


- 550** Anhängervorrichtung mit abnehmbarem Kugelhals
- 500 Außenspiegel links und rechts elektrisch heranklappbar
- 673** Batterie mit größerer Kapazität
- 231 Garagentoröffner im Innenspiegel integriert
- 551 Einbruch-Diebstahl-Warnanlage (EDW) mit Abschleppschutz
- 581** Komfort-Klimatisierungsautomatik THERMOTRONIC
- 280 Lenkrad in Lederausführung (zweifarbige) mit Chromspange
- 921 Motor mit Pflanzenölmethylester-Betrieb (Bio-Diesel)
- 353 Audio 30 APS (Navigationssystem mit integr. Radio und CD-Laufwerk)
- 671 Leichtmetallräder 4-fach, 7-Speichen-Design
- 772** Styling AMG

AMG-Styling (**772**) kann nicht mit Anhängervorrichtung **550** kombiniert werden.

Klimatisierungsautomatik (**581**) benötigt größere Batterie (**673**), außer bei den Benzinmotorvarianten mit 2,6 und 3,2 Litern Hubraum



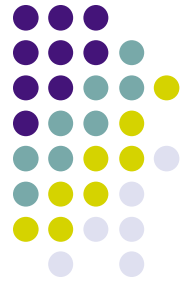


Konfigurations-Formalismen

- Anforderungen:
 - Abbildung der Produktstruktur
 - Abbildung der Restriktionen
 - Bei Bedarf: Umsetzung zwischen Kundenspezifikation und Stückliste (Teilebedarf)
- Gebräuchliche Formalismen:
 - Beschreibungslogiken (description logics)
 - Constraint-Logik (Variablen mit endlichen Bereichen)
 - Aussagenlogik
 - grafische Formalismen (UML)



Konfigurations-Formalismus bei DaimlerChrysler (I)



- Optionen entsprechen aussagenlogischen Variablen
- Drei Sorten von Regeln:

 „Zusteuierungsregeln“ (modifizieren Auftrag):

$682 \leftarrow 513L \vee 727L$ Füge Feuerlöscher (682) zum Auftrag hinzu, falls Fahrzeug nach Belgien (513L) oder Guatemala (727L) geht.

 „Baubarkeitsregeln“ (prüfen Auftrag):

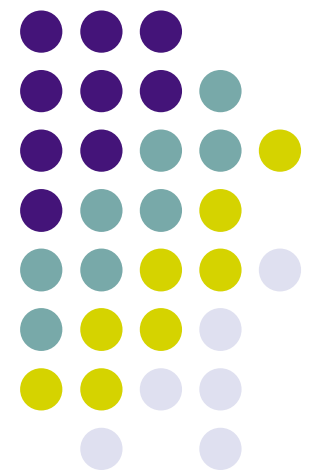
$970 \rightarrow 673 \wedge 260$ Alle Polizeifahrzeuge (970) müssen eine Batterie größerer Kapazität (673) besitzen und dürfen kein Typenschild (260) aufweisen.

 „Teileregeln“ (erstellen Stückliste):

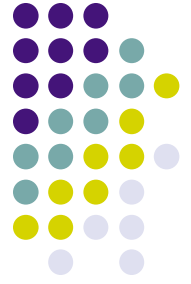
$Z04 \vee Z06 \rightarrow P9476$ Verwende spezielle Dichtung der Fahrertüre (P9476) bei gepanzerten Fahrzeugen (Z04 oder Z06)



Interaktive Konfiguration



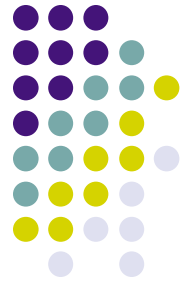
Interaktive Verkaufskonfiguration (I)



- Interaktion Kunde \leftrightarrow System: System schlägt Alternativen vor, Kunde kann auswählen
- Meist: Kunde muss Optionen in einer fest vorgegebenen Reihenfolge wählen
- Zielsetzung: Kunde sollte Entscheidungen nur angeboten bekommen, wenn diese zu einem gültigen Produkt führen können.



Exkurs: Aussagenlogischer Konfigurationsformalismus

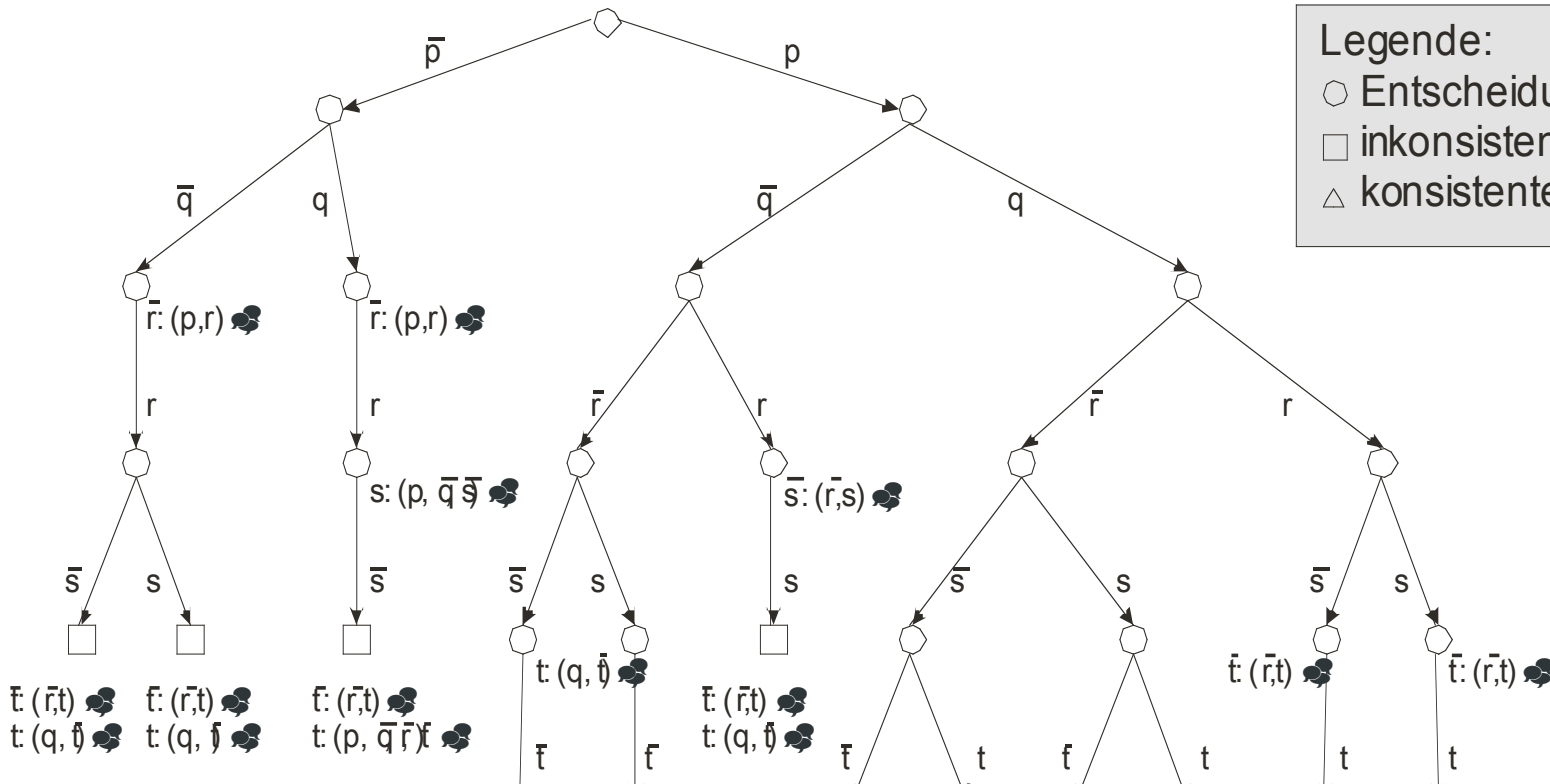
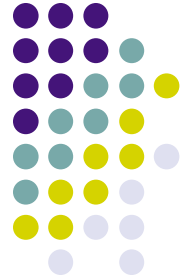


Im Folgenden: Aussagenlogischer Formalismus

- Eine Formel („Baubarkeitsformel“, meist in CNF) stellt alle *gültigen* (baubaren) und *vollständigen* (nicht weiter zu modifizierenden) Konfigurationen dar.
- Kundenspezifikationen („Aufträge“) werden als partielle Variablenbelegungen verstanden.
- Interaktive Konfiguration erstellt/sucht Modell durch sukzessive Belegung der Variablen.
- Prüfung eines vollständig spezifizierten Auftrags auf Gültigkeit: **Model-Checking** (in Aussagenlogik)
- Prüfung eines partiell spezifizierten Auftrags: **SAT-Checking**



Interaktive Verkaufskonfiguration (II)



Legende:

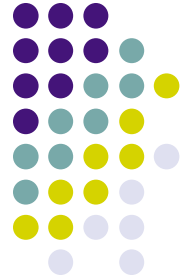
- Entscheidung
- inkonsistente Belegung
- △ konsistente Belegung

Klauselmenge:

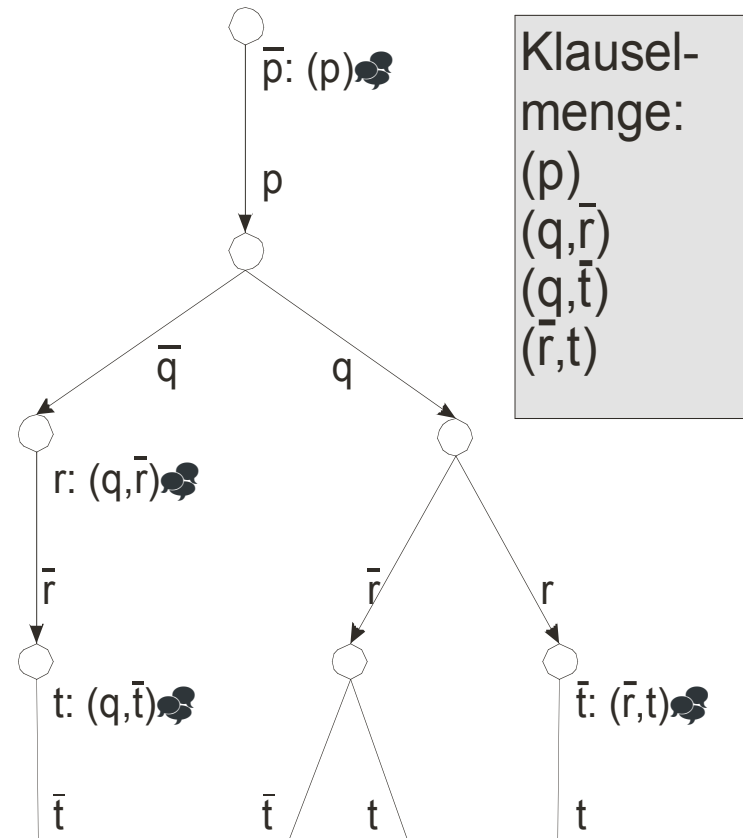
- (p,r)
- (q,t̄)
- (q,r̄,s)
- (r̄,t)
- (p,q̄,s̄)
- (p,q,t)
- (p,q̄,r̄,t̄)

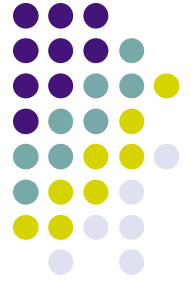


Interaktive Verkaufskonfiguration (III)



- Bei vorgegebener Konfigurationsreihenfolge $(p \text{ :: } q \text{ :: } r \text{ :: } s \text{ :: } t)$:
 - Nicht notwendige Äste abgeschnitten
 - Irrelevante Entscheidungen (s) aus dem Baum entfernt
- Klauselmengen des reduzierten Baums:
Per *geordneter Resolution* aus ursprünglicher Klauselmengen generiert!





Geordnete Resolution

- Gewöhnliche (aussagenlogische) Resolutionsregel:

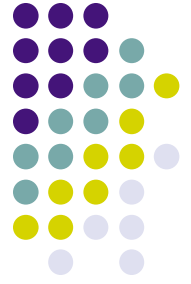
$$\frac{\{p_1, \dots, p_k, r\} \quad \{q_1, \dots, q_l, \bar{r}\}}{\{p_1, \dots, p_k\} \cup \{q_1, \dots, q_l\}} \text{Res}$$

- Geordnete Resolution: Variablenordnung \cdot gegeben, Klauseln (in aufsteigender R.) geordnet

$$\frac{(p_1, \dots, p_k, r) \quad (q_1, \dots, q_l, \bar{r})}{(s_1, \dots, s_j)} \text{ORes}$$

wobei $\{s_1, \dots, s_j\} = \{p_1, \dots, p_k\} \cup \{q_1, \dots, q_l\}$; d.h. Resolution nur über größtes Literal beider Klauseln möglich.



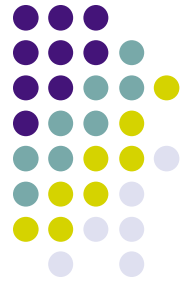


Geordnete Resolution

- Variablenordnung: $p :: q :: r :: s :: t$
- Ausgangs-Klauselmengemenge:
 $S = \{ (p,r), (q, \neg t), (q, \neg r, s), (\neg r, t), (p, \neg q, \neg s), (p, q, t), (p, \neg q, \neg r, \neg t) \}$
- „Geordnete Resolventen“:
 $(q, \neg r), (p, q), (p, \neg q, \neg r)$ und $(p, \neg q)$ und (p)
- Bei Abschluss von S unter ORes und Subs (Löschen subsumierter Klauseln):
 $S^* = \{ (p), (q, \neg r), (q, \neg t), (\neg r, t) \}$



Geordnete Resolution zur interaktiven Konfiguration



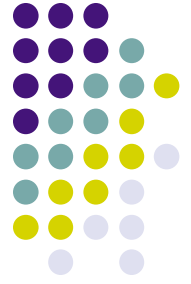
Ergebnis:

Falls S abgeschlossen unter ORes (bzgl. $∴$) und Subs, so erfordert Konfiguration in der durch $∴$ vorgegebenen Ordnung (aufsteigende R.) kein Rückgängigmachen bereits getroffener Entscheidungen (Backtracking).

Fragen:

Was ist bei anderer Konfigurationsreihenfolge?
Zusammenhang zu BDDs?



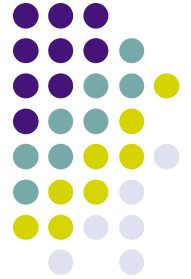


Vergleich mit BDDs

- BDDs (binäre Entscheidungsdiagramme) stellen Entscheidungsbaum (als reduzierten Grafen) explizit dar.
- Geordnete Resolution ergibt implizite Darstellung des Entscheidungsbaums mittels Klauseln.
- *Vermutung*: Es gibt Formeln, die in der einen Darstellung (bestenfalls) eine exponentiell größere Darstellung haben als in der anderen.



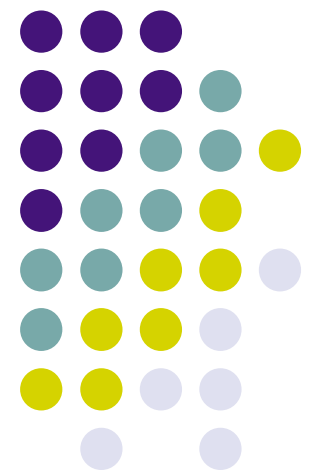
Andere Konfigurationsreihenfolge?

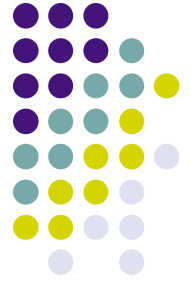


- Auswahl der Optionen nicht gemäß Ordnung ...
- *Triviale Lösung*: Bei Setzen der Variable x alle Belegungen der Variablen kleiner als x testen (schlimmstenfalls exponentieller Aufwand).
- *Besser*: (x) als Unit-Klausel dem Problem hinzufügen, dann wieder Abschluss unter ORes+Subs bilden.



Konsistenzprüfung und Wissens-
Kompilierung



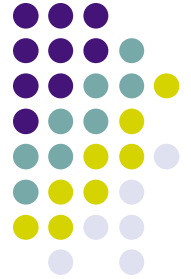


Konsistenzprüfung

- *Fragestellung*: Ist die Formalisierung aller gültigen Produktvarianten (die *Baubarkeitsformel B*) korrekt?
- Bei Mercedes-Benz C-Klasse:
 - 1.149 strukturbeschreibende Einschränkungsregeln
 - 18.508 Teile-Selektionsregeln
- Prüfung der Korrektheit anhand einer Vielzahl von Plausibilitätstests der Form $B \sim E_i$, wobei E_i zu prüfende Plausibilitätseigenschaft.
- *Konsequenz*: Große Serie von SAT-Tests der Form $B \wedge \neg E_i$, wobei typischerweise $|B| \ll |E_i|$.



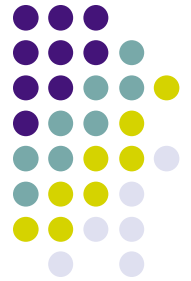
Exkurs: Wissens-Kompilierung



- Gegeben eine (aussagenlogische) Theorie B . Wie kann das Folgerungsproblem $B \sim F$ für die Theorie B effizient gelöst werden?
- *Idee*: Ersetze B durch eine äquivalente Theorie B' , in der das Folgerungsproblem effizient entschieden werden kann.
- *Häufig*: F Klausel, B in CNF, B' gebildet als Menge der Primimplikate von B (entspricht Abschluss von B unter Res+Subs)
 - Berechnung aller Primimplikate meist nicht effizient.



Wissens-Kompilierung mittels geordneter Resolution



- *Idee*: Bilde Abschluss unter ORes+Subs anstelle von Res+Subs.
- Ordnung $::: x :: y$ gdw. $f(x) > f(y)$, wobei $f(v) = (p(v)+1)(n(v)+1)$ [$p(v)/n(v)$: #pos./neg. Vork. von v]

Damit:

- Konsistenz von B direkt an B' ablesbar ($B' = \emptyset?$).
- Lösung des Folgerungsproblems $B \sim F$ durch erneute Abschlussbildung von $B \wedge \neg F$ und Test auf \emptyset .





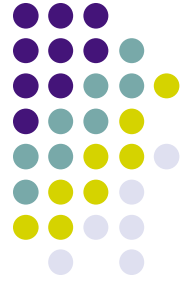
Experimentelle Ergebnisse

- Kompilierung durch Abschluss unter ORes+Subs für Mercedes-Benz Baureihen:

BR/AA	n	k	k_{O+S}	t_{O+S}
C202/FS	698	4954	5186	626,51
C202/FW	734	7290	9394	4092,02
C210/FS	723	4025	4707	484,78
C210/FW	775	5491	6703	1032,57

(n : #Var., k : #Klauseln, k_{O+S} : #Kl. Abschluss, t_{O+S} : Zeit Berechn.)

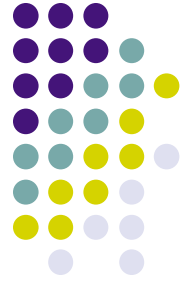




Aktive Literale (I)

- *Abschätzung*: Wie viele neue Klauseln entstehen durch erneuten Abschluss unter ORes+Subs von $B \wedge \neg F$?
- *Idee*: Welche Literale können als max. Literal in neu gebildeten Klauseln auftreten? (\rightarrow *aktive Literale*)
- Berechnung über rekursive Formel (in poly. Zeit): $A(B, F)$ = aktive Literale der unter ORes+Subs abgeschlossenen Klauselmenge B und der Klausel F .
- Zusätzlich ist $\approx \in A(B, F)$, falls es eine Klausel gibt, deren negierte Literale all aktive Literale sind.





Aktive Literale (II)

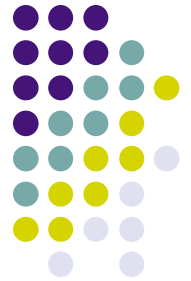
Es gilt (für B abgeschlossen unter ORes+Subs):

1. Das maximale Literal jeder aus $B \wedge \neg F$ herleitbaren Klausel ist aktives Literal aus $A(B, F)$.
2. Falls $B \sim F$, so gibt es einen ORes-Beweis von $B \wedge \neg F \delta_{\text{ORes}} \approx$, so dass alle Beweisschritte nach aktiven Literalen aus $A(B, F)$ resolvieren.
3. Falls $\approx \notin A(B, F)$, so gilt $B \Upsilon F$.

(Abschätzung der für den Abschluss zusätzlich generierten Klauseln durch *aktive Klauseln*)

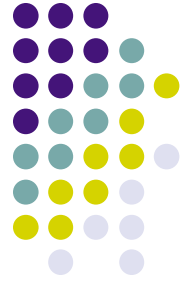


Aktive Literale (III): Experimentelle Ergebnisse



- Konsistenzprüfung der Mercedes-Benz Produktdokumentation, Baureihe C202/FW
- Test auf unzulässige und notw. Codes: $B \sim \pm x?$ für alle Variablen x aus B
- B abgeschlossen unter ORes+Subs
- 42,6% der Beweise (625 von 1468) können durch Kriterium 3 (in polynomieller Zeit) entschieden werden.





Zusammenfassung

- Industriell relevante Anwendung der Aussagenlogik: *Produktkonfiguration*
- *Geordnete Resolution* sowohl für interaktive Konfiguration als auch zur Konsistenzprüfung geeignet.

Weitere Informationen:

<http://www-sr.informatik.uni-tuebingen.de>

