7. Code-Erzeugung

Eingabe: Programm in Zwischensprache

Aufgaben:

Speicherabbildung	Definitionsmodul erweitern
Code-Auswahl	Instruktionssequenzen erzeugen
Registerzuteilung	Verwendung von Registern für Zwischenergebnisse

Ausgabe: Maschinenprogramm als Datenstruktur

Entwurf der Code-Erzeugung:

- Maschineneigenschaften untersuchen
- Speicherabbildung entwerfen
- Code-Sequenzen zu allen Zwischensprachoperatoren aufstellen; ggf. Alternativen

Implementierung:

Speicherabbildung:

Programm und Definitionsmodul durchlaufen,

Adressen und Speicherumfang berechnen

Code-Auswahl:

Generatoren für Mustersetzung in Bäumen

Registerzuteilung:

Algorithmen für unterschiedlich großen Kontext:

Ausdrucksbäume, Grundblöcke, Ablaufgraphen

Speicherabbildung

Ziel: Zu Speicherobjekten des Programms bestimmen:

Speicherklasse, Relativadresse darin, Umfang

Implementierung:

als Eigenschaften im Definitionsmodul berechnen.

Entwurf:

1. Speicherklassen:

- Code-Speicher
- globale Daten
- Laufzeitkeller
  - Prozedurschachteln (activation records); siehe U-61
- Halde für dynamisch allokierte Daten, Speicherbereinigung
- Register für
  - Adressierung der Speicherbereiche
  - Funktionsergebnisse, ggf. Parameter
  - lokale Variable, Zwischenergebnisse (Registerzuteilung)

2. Abbildung der Grundtypen

- Maschineneigenschaften:
  - Wertdarstellung
  - Verarbeitungsumfang, Speicherumfang, Ausrichtung
  - verfügbare Operationen

3. Abbildung zusammengesetzter Typen

- Arrays, Verbunde, Mengen, Klassen, Funktionen, ...

Prozedurschachteln

Prozedurschachtel (activation record) enthält lokale Daten für einen Prozeduraufruf und Verkettung auf dem Laufzeitkeller.

Entwurf der Schachtelstruktur zusammen mit Aufruf-Code

Schachtelstruktur	**Aufruf-Code**	
	Aufrufstelle	Prozedur-Code
1. Parameter	Parameter kellern	
n-ter Parameter		
stat. Vorgänger (*)	stat. Vorg. kellern	
Rückkehradresse	Unterprogrammsprung	
dynamischer Vorgänger		dyn. Vorg. kellern
(**)		Schachtelreg := Kellerpegel
lokale Variable		Kellerpegel für lok. Var. erhöhen
gesicherte Register		Register sichern
		...
		Prozedurrumpf
		...
		Register zurückladen
		lok. Variable freigeben
		Schachtelreg. := entkellern
		Rücksprung
	stat. Vorg. entkellern (*)	
	Parameter entkellern	

(*) Nur bei Sprachen mit geschachtelten Prozeduren.

(**) Relativadresse 0 der Schachtel

Code-Abbildung Ablaufstrukturen

Ablaufstrukturen in Code-Sequenzen mit Marken und Sprüngen umsetzen. Je nach Zwischensprache evtl. schon in der Transformationsphase.

Für jede Ablaufstruktur eine oder mehrere alternative Code-Sequenzen entwerfen, z. B.

```
while (B) S :   M1:   Code (B, false, M2)
                      Code (S)
                      goto M1
                M2:
          oder
                      goto M2
                M1:   Code (S)
                M2:   Code (B, true, M1)
```

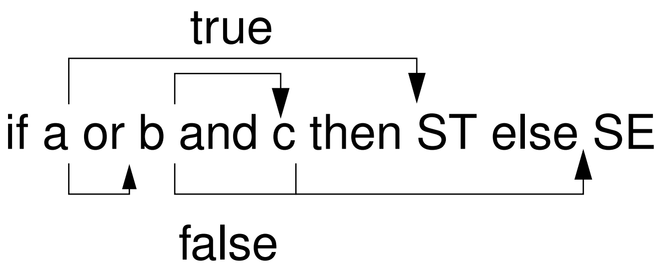
es bedeuten

Code (S): Code für `S` einsetzen

Code (B, true, M1): Code für Bedingung `B` so erzeugen, daß bei Ergebnis `true` auf die Marke `M1` gesprungen, sonst danach fortgesetzt wird

Kurzauswertung logischer Operatoren

Logische Ausdrücke in Sprungstrukturen übersetzen; falls Sprache erlaubt, nicht alle Operanden auszuwerten.



2 Code-Sequenzen für jeden Operator;Auswahl top-down:

Code (A and B, true, M):	Code (A, false, N) Code (B, true, M) N:
Code (A and B, false M):	Code (A, false, M) Code (B, false, M)
Code (A or B, true, M):	Code (A, true, M) Code (B, true M)
Code (A or B, false, M):	Code (A, true, N) Code (B, false, M) N:
Code (not A, X, M):	Code (A, not X, M)
Code (A < B, true, M):	Code (A, Ri); Code (B, Rj) cmp Ri, Rj bralt M
Code (A < B, false, M):	Code (A, Ri); Code (B, Rj) cmp Rj, Ri bralt M
Code für Blätter:	bedingter Sprung

Code-Auswahl für Ausdrücke

- Benachbarte Operationen können evtl. zu einer Instruktion zusammengefaßt werden
- verschiedene Alternativen möglich
- Wertdeskriptoren zu Baumknoten beschreiben Unterbringung des Zwischenergebnisses, z. B.

R_i	Wert im Register R_i
R_i,c	Adresse gebildet aus Inhalt R_i + Konstante c
c	konstanter Wert c
(...)	Inhalt der in Klammern angegebenen Adresse

Übersetzungsmuster für Baumknoten, z. B.

addr = Variablenadresse, **cont** = Inhaltsoperation,
const = Konstanter Wert, **addradd** = Adresse + Wert

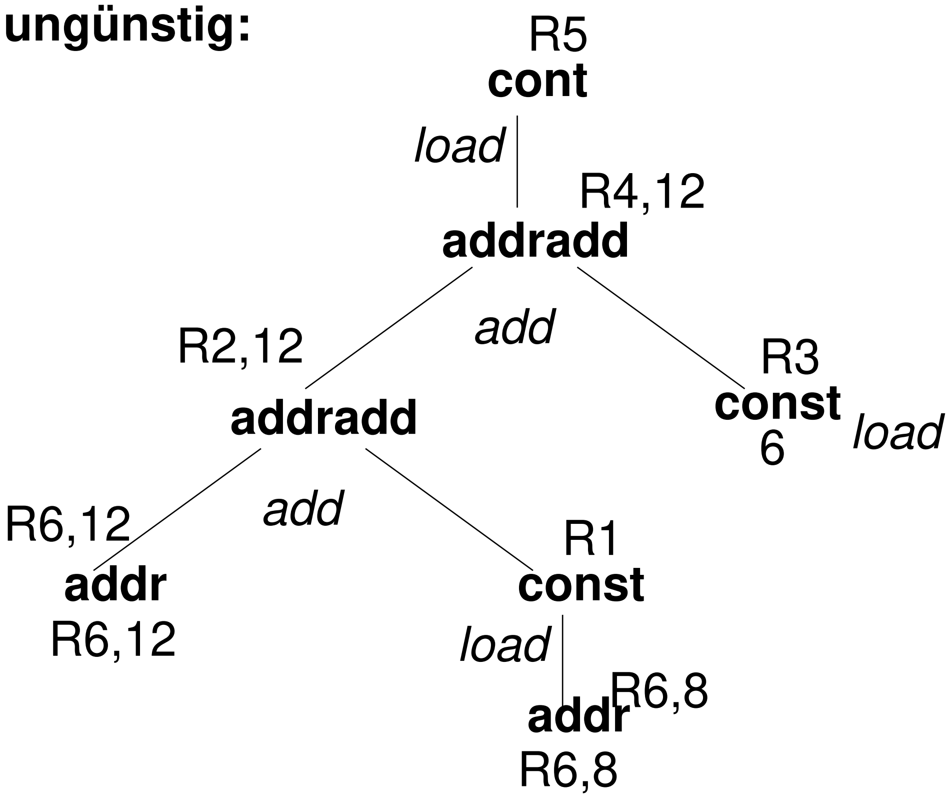
Operator	Wertdeskriptoren			Code
	Operand(en)		Ergebnis	
addr	R_i, c		-> R_i,c	./.
const	c		-> c	./.
const	c		-> R_i	load c, R_i
cont	R_i, c		-> (R_i, c)	./.
cont	R_i		-> (R_i)	./.
cont	R_i, c		-> R_j	load (R_i, c), R_j
cont	R_i		-> R_j	load (R_i), R_j
addradd	R_i	c	-> R_i, c	./.
addradd	R_i, c1	c2	-> R_i, c1 + c2	./.
addradd	R_i	R_j	-> R_k	add Ri, R_j, R_k
addradd	R_i, c	R_j	-> R_k, c	add R_i, R_j, R_k

Aufgabe: Baum mit Mustern passend überdecken, so daß möglichst wenige Instruktionen erzeugt werden.

Beispiel Code-Auswahl

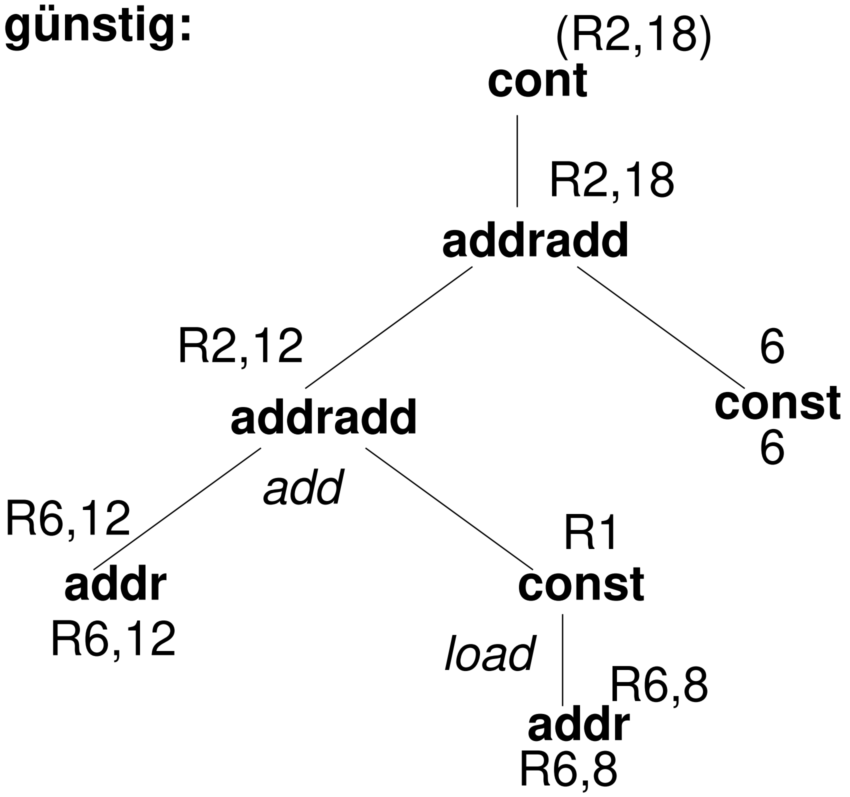
Baum zu `... := a[i].s`

ungünstig:



load (R6,8), R1
add R6,R1,R2
load 6,R3
add R2,R3,R4
load (R4,12),R5
store R5, ...

günstig:



load (R6,8), R1
add R6,R1,R2
store (R2,18),...

Musterersetzung in Bäumen

Methode: Baum bottom-up durchlaufen, anwendbare Muster auswählen, Entscheidung nach oben verzögern (vergl. dynamische Programmierung)

Spezifikation der Baummuster durch KFG-Produktionen plus Code; Wertdeskriptoren als Nichtterminale, z. B.

RegConst ::= addradd Reg Const

RegConst ::= addradd RegConst Reg add R_i, R_j, R_k

auch tiefere Baummuster, z. B.

Void ::= assign RegConst addradd Reg Const

store (R_i, c1),(R_j, c2)

Kosten für Auswahl: Anzahl Instruktionen

Methode „Graham, Glenville“, Generatoren : GG, GGSS:

Baum in Präfix-Form,

Parsing mit mehrdeutiger KFG

Entscheidung nach Kosten

Methode „Bottom-up Rewrite“, Generator BURG:

Muster zur Generierungszeit analysieren

Baumautomat generieren

Auswahlentscheidungen werden als Zustände von Knoten codiert

Registerzuteilung

Registerverwendungen:

Zwischenergebnis in Ausdrücken

mehrfach benutzte Ausdrucksergebnisse

Variable

Prozedurparameter

Funktionsergebnis

Kellerpegel, Schachtelzeiger, Haldenzeiger, ...

Anzahl der Register (in jeder Klasse) ist beschränkt

gute Registernutzung reduziert

- Zahl der Speicherzugriffe
- Code zum Zwischenspeichern (spill code)

verschiedene Zuteilungsverfahren für unterschiedlich großen Kontext:

- Ausdrucksbäume (Sethi, Ullman)
- Grundblöcke (Belady)
- Ablaufstrukturen (Graphfärbung)

nützliche Technik: Verschieben der Registerzuteilung in spätere Phase durch Zuteilung **symbolischer Register** aus unbegrenztem Vorrat

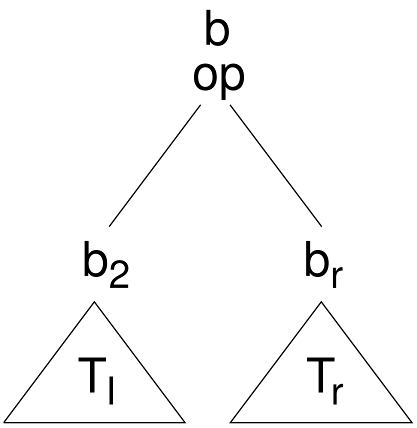
Registerzuteilung für Ausdrucksbäume

Voraussetzung für Optimalität: [Sethi, Ullman '70]

optimaler Code kann „baumartig“ zusammengesetzt werden

(nicht bei mehreren Registerklassen oder Registerpaaren)

Prinzip: bei 2-stelligen Operatoren erst den Teilbaum mit höherem Registerbedarf auswerten



Ann.: Erg. v. T_l und T_r in Registern

Reihenfolge	Reg.bedarf b =
T_l T_r op	max (b_l, b_r + 1)
T_r T_l op	max (b_r, b_l + 1)
	b minimieren

falls b > regmax (Anzahl verfügbarer Register):

dann gilt $b_l = b_r =$ regmax;

Spill-Code: T_r; **store R_r, h;** T_l; **load h, R_r**; op R_r, R_l

für T_l sind alle Register frei

load h, R_r entfällt, wenn

Speicheroperand h in op h, R_l möglich ist.

Implementierung z. B. durch Attributierung:

<u>1. Phase:</u> Bedarf, Ausw.reihenf. = synth. Attribute (aufwärts)

<u>2. Phase:</u> Registerzuteilung = inh. Attribute (abwärts)

<u>3. Phase:</u> Code-Erz. in Auswertungsreihenfolge (aufwärts)

Grundblöcke in 2 Durchgängen (Belady)

1. Durchgang:

Bestimmung der **Lebensdauer** der Werte, d.h. von Berechnung bis letzter Benutzung (mehrfache Benutzung ist möglich!).

Lebensdauer dargestellt als Intervallgraph

Schnitt im Graph = Anzahl belegter Register

maximaler Schnitt im Graph = Registerbedarf des Blockes

Register im Graph zuordnen

Bei Registermangel Werte zum Zwischenspeichern auswählen, Kriterien:

- Wert, der schon im Speicher steht
- Wert, der am spätesten wiederverwendet wird

2. Durchgang:

Register im Code zuteilen

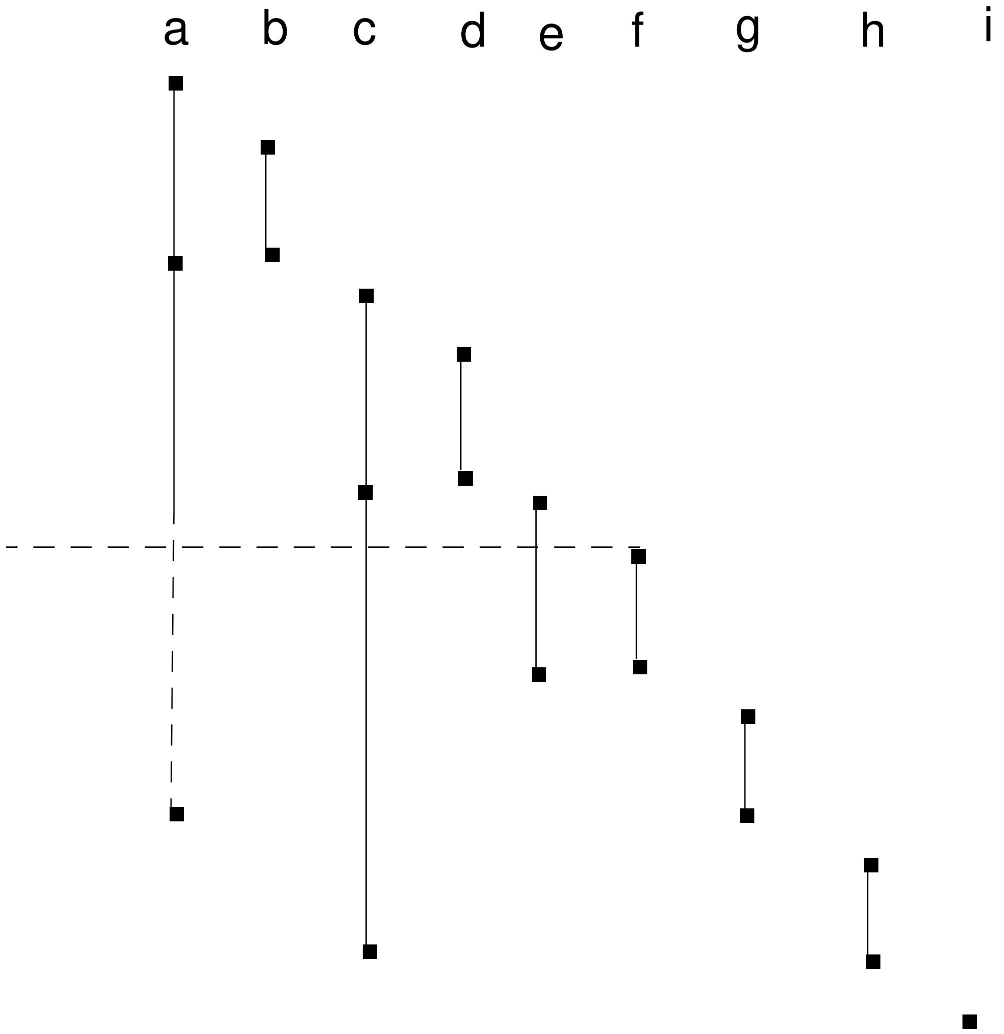
(Ausführungsreihenfolge wird nicht verändert.)

Verfahren ursprünglich als **Seitentauschverfahren** für Speicherverwaltungen von **Belady** 1966 vorgestellt.

Beispiel für Belady-Verfahren

Lebensdauer der Werte eines Grundblockes

a := x
b := y
c := b + a
d := z
e := d * c
f := s
g := e / f
h := g + a
i := h * c



Registerzuteilungen:

		a	b	c	d	e	f	g	h	i
4 Reg:	(a)	d1	d2	d2	d3	d3	d4	d3	d3	d3
3 Reg:	(b)			*			d2			
3 Reg:	(c)	*					d1			

* zwischenspeichern

Registerzuteilung durch Graphfärbung

Anwendung auf **Ablaufstrukturen**

Berechnung und Benutzung der Werte in verschiedenen Grundblöcken.

Zunächst symbolische Register zuteilen; dann

Unverträglichkeitsgraph aufstellen:

Knoten: symbolische Register

Kante {a, b}: Lebensdauer von a und b überlappt

Lebensdauern werden mit Datenflußanalyse ermittelt.

„Färbung“ mit realen Registernummern:

Kante {a, b} im Graph:

a und b in verschiedenen Registern

Graphfärbung NP-vollständig

heuristisches Verfahren zur Färbung mit k Farben (Registern):

sukzessive Knoten mit Grad < k streichen

falls am Ende Graph leer:

Graph ist k-färbbar

Knoten in umgekehrter Reihenfolge färben

sonst

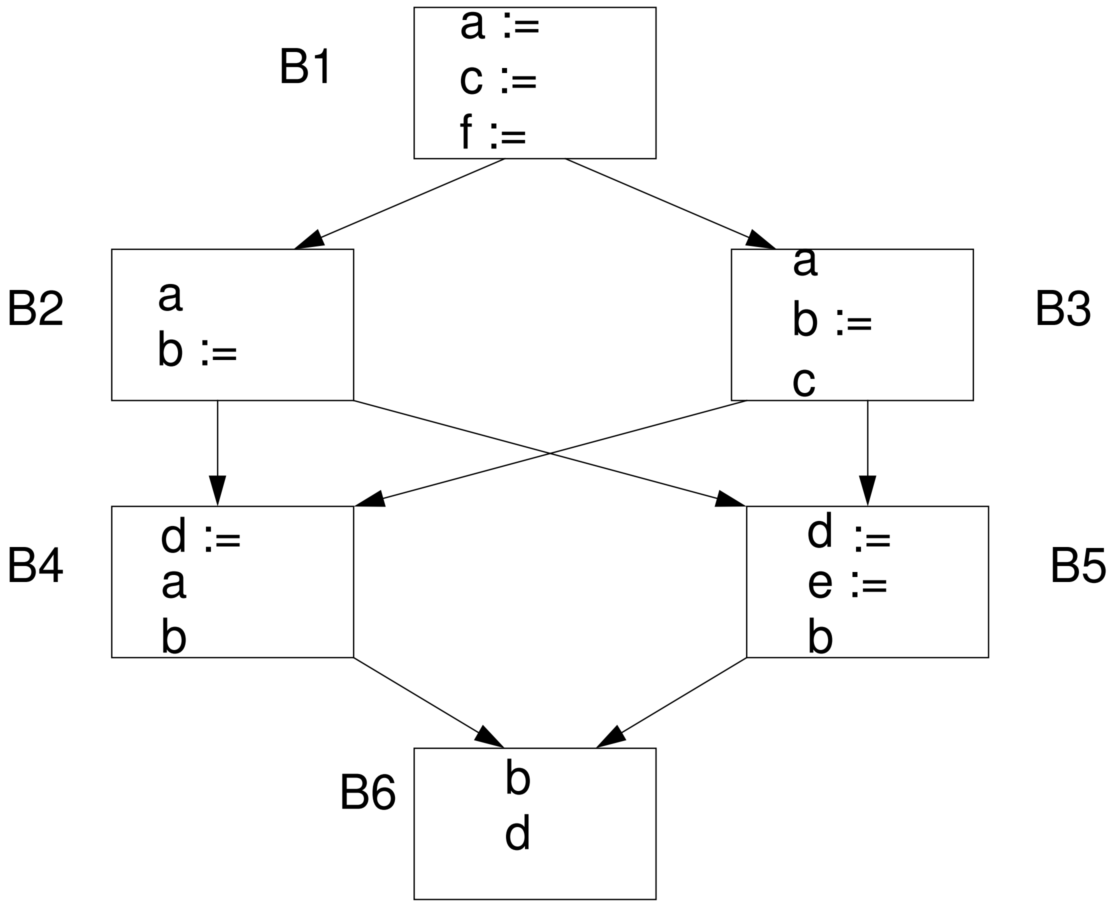
Graph ist so nicht k-färbbar

Knoten zum Zwischenspeichern auswählen (spill code)

Verfahren erneut anwenden

Beispiel: Graphfärbung

Ablaufgraph mit Benutzung von Werten



Unverträglichkeitsgraph