

Algorithmen für Chip-Entwurfswerkzeuge

Partitionierung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Vorlesung
WS 2013/2014

Florian Stock, Andreas Koch

Eingebette Systeme und Anwendungen
Technische Universität Darmstadt



- ▶ Aufteilung einer Schaltung in Teilschaltungen (Partitionen, Blöcke)
 - ▶ Aufteilung auf mehrere Chips (auch System/Board/Package-Level)
 - ▶ Verkleinerung der Problemgröße
(Vorbereitung auf anderen Algorithmus)
- ▶ Optimierungsziele:
 - ▶ Minimierung der Verknüpfungen zwischen den Partitionen
 - ▶ Flächenziele
 - ▶ Gleichmäßige Größe
 - ▶ Erreichen vorgegebener Größen

► Problem:

Gegeben: Graph mit $2n$ Knoten

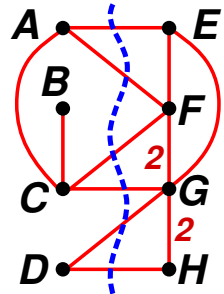
Gesucht: Partitionierung in 2 Knotenmengen A, B ,
so dass ...

1. beide n Knoten enthalten und
2. das Gewicht γ_{a_j, b_k} der **geschnittenen**
Kanten $\sum_{e_i=(a_j, b_k), a_j \in A, b_k \in B} e_i$
(**Schnittkosten**) minimal ist (Min-Cut)

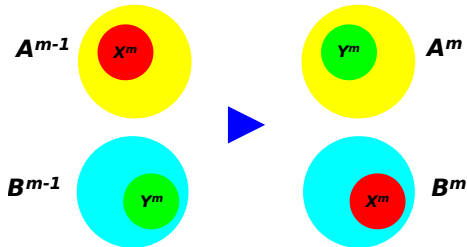
► NP-vollständig

► Bewährte Heuristiken:

- Kerningham-Lin (KL)
- Fediuccia-Mattheyses (FM)
- SA



- ▶ 1970
- ▶ Idee:
 1. Anfangslösung mit beliebiger Startlösung A_0, B_0
 2. Isoliere Teilmenge $X_m \subset A_m$ und $Y_m \subset B_m$
 3. Tausche Teilmengen um A_{m+1} und B_{m+1} zu erzeugen
 4. Wiederhole bis keine Verbesserung mehr erreichbar
- ▶ Arbeitet auf 2-Pin Netzen (Cliques-Modell)

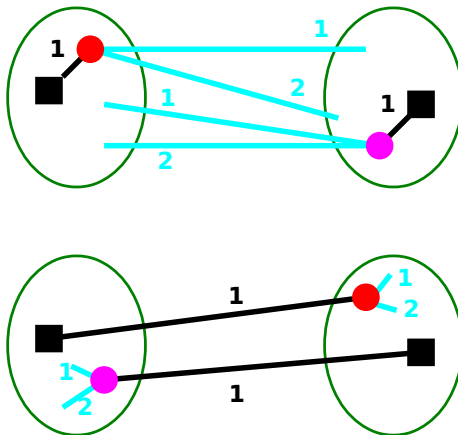




- ▶ Optimum immer in einem Schritt erzielbar
Bei geeignetem X_m und Y_m
 - ▶ Problem: Wie X_m und Y_m wählen?
 - ▶ Schwer zu finden
- ⇒ Suche Lösung in mehreren Schritten
Solange bis keine Verbesserung mehr
- ▶ Anzahl Schritte unabhängig von n
In der Praxis ≤ 4

Kerninghan-Lin-Algorithmus

Kostenidee



Kerninghan-Lin-Algorithmus

Kosten

- ▶ Konstruktion von X_{m+1} und Y_{m+1}

- ▶ Externe Kosten

$$E(a) = \sum_{c \in B_m} \gamma_{a,c}, a \in A_m$$

- ▶ Interne Kosten

$$I(a) = \sum_{c \in A_m} \gamma_{a,c}, a \in A_m$$

- ▶ D-Kosten (Drang/Desirability) – Kosten falls Knoten wechselt

$$D(a) = E(a) - I(a)$$

- ▶ Groß, $> 0 \Rightarrow$ Drang Partition zu wechseln
 - ▶ Klein, $< 0 \Rightarrow$ Drang in Partition zu bleiben
- ▶ Analog für B

Kerninghan-Lin

Beispiel Tauschkosten



- ▶ Verbesserung Δ der Schnittkosten, falls a mit b ausgetauscht wird
- ▶ Bei Austausch von $a \in A_m$ und $b \in B_m$

$$\Delta = D(a) + D(b) - 2\gamma_{a,b}$$

- ▶ Δ kann auch negativ sein!



KernighanLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** *Berechne* $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** *Berechne* $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ *maximal* ;

Sperre a_i und b_i ;

foreach *freie* $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach *freie* $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ *das maximal ist* ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

Entsperre alle Knoten ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Initialisierung

Startmengen A_0 und B_0 erzeugen

Kernighan-Lin Algorithmus



KernighanLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** *Berechne* $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** *Berechne* $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ *maximal* ;

Sperre a_i und b_i ;

foreach *freie* $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach *freie* $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ *das maximal ist* ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

Entsperre alle Knoten ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Berechnung der D-Kosten

► Für alle Knoten

► Komplexität: $\mathcal{O}(n^2)$



KerninghamLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0);

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** Berechne $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** Berechne $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

 Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ maximal;

 Sperrte a_i und b_i ;

foreach freie $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach freie $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ das maximal ist;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

 Entsperrte alle Knoten;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Gewinn beim Tauschen

► Für alle Knotenpaare a_i und b_i

► Komplexität: $\mathcal{O}(n^2)$

► Paar mit größtmöglichem Gewinn wählen

KerninghamLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** Berechne $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** Berechne $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

 Finde *freie* $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ maximal ;

Sperre a_i und b_i ;

foreach *freie* $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach *freie* $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

Entsperre alle Knoten ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Freie und gesperrte Knoten

- ▶ Einmal zum Tausch ausgewählte Elemente werden gesperrt
- ▶ Erst nächste Iteration wieder verfügbar



KernighanLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** Berechne $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** Berechne $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

 Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ maximal ;

 Sperrte a_i und b_i ;

foreach freie $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach freie $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

 Entsperrte alle Knoten ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Update der D-Kosten

- $D(x)$ nicht mehr aktuell,
falls x mit a_i oder b_i verbunden

$$\begin{aligned} D(x) &= E(x) - I(x) \\ &= E(x)^{old} + \gamma_{a,x} - \gamma_{b,x} - \\ &\quad (I(x)^{old} - \gamma_{a,x} + \gamma_{b,x}) \\ &= D(x)^{old} + 2\gamma_{a,x} - 2\gamma_{b,x} \end{aligned}$$

KernighanLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** Berechne $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** Berechne $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

 Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ maximal ;

 Sperrte a_i und b_i ;

foreach freie $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach freie $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

 Entsperrte alle Knoten ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Auswahl der zu tauschenden Knoten

- ▶ n vorläufige Tauschpartner
- ▶ Greedy Verfahren um tatsächliche Austauschungen zu wählen
- ▶ Δ_i kann negativ werden
- ▶ $\sum \Delta_i$ kann zeitweise auch negativ sein
 - ▶ Bei dicht verbundenen Teilmengen
 - ▶ Keine Verbesserung bei Austausch von Einzelknoten
 - ▶ Erst bei Tausch der gesamten Teilmenge



KerninghamLin(V, E, γ): **begin**

Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** Berechne $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** Berechne $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

 Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ maximal ;

 Sperrte a_i und b_i ;

foreach freie $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach freie $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

 Entsperrte alle Knoten ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Austausch

- ▶ Wenn Gewinn gewählten Austausch durchführen
- ▶ Bis kein Gewinn mehr möglich

Kernighan-Lin Algorithmus



KernighanLin(V, E, γ): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

foreach $a \in A_m$ **do** *Berechne* $D(a)$;

foreach $b \in B_m$ **do** *Berechne* $D(b)$;

for ($i:=1; i \leq n; i++$) **do**

Finde freies $a_i \in A_m, b_i \in B_m$ mit $\Delta_i := D(a_i) + D(b_i) - 2\gamma_{a_i, b_i}$ *maximal* ;

Sperre a_i und b_i ;

foreach *freie* $x \in A_m$ **do** $D(x) := D(x) + 2\gamma_{x, a_i} - 2\gamma_{x, b_i}$;

foreach *freie* $x \in B_m$ **do** $D(x) := D(x) - 2\gamma_{x, a_i} + 2\gamma_{x, b_i}$;

Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k \Delta_i$ *das maximal ist* ;

if $G > 0$ **then**

$X_{m+1} := a_1, \dots, a_k$;

$Y_{m+1} := b_1, \dots, b_k$;

$A_{m+1} := (A_m \setminus X_{m+1}) \cup X_{m+1}$;

$B_{m+1} := (B_m \setminus Y_{m+1}) \cup Y_{m+1}$;

Entsperre alle Knoten ;

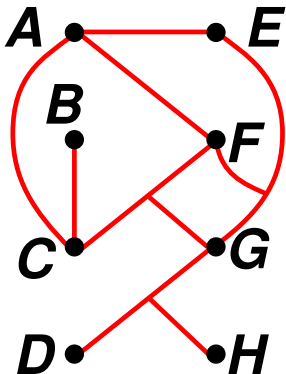
$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Kerninghan-Lin Beispiel

Beispielhypergraph

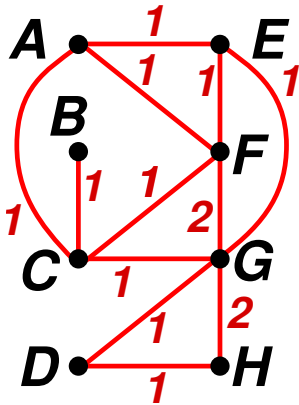
- ▶ Einfachheit halber: Kantengewichte alle 1



Kerninghan-Lin Beispiel

Beispielgraph

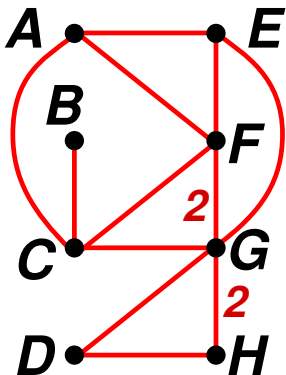
- ▶ Hyperkanten durch Cliques ersetzt
- ▶ Falls bereits Kante vorhanden, werden Gewichte addiert



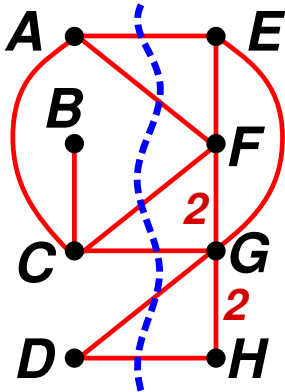
Kerninghan-Lin Beispiel

Beispielgraph

- ▶ Nur Kantengewichte $\neq 1$ annotiert



Kerninghan-Lin Beispiel

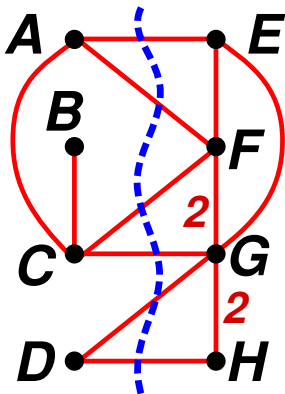


Beispielgraph

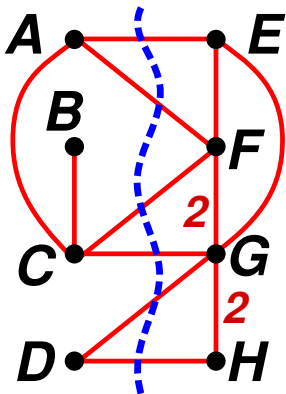
- ▶ Nur Kantengewichte $\neq 1$ annotiert
- ▶ Startpartitionen
 $A_0 = \{A, B, C, D\}, B_0 = \{E, F, G, H\}$
- ▶ Kosten: 6

Kerninghan-Lin Beispiel

► 1. Durchlauf



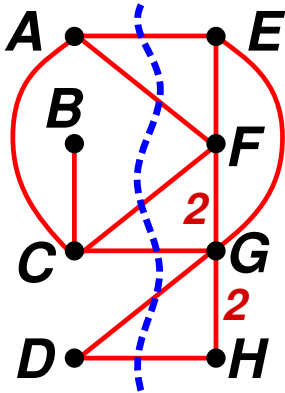
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$E(x)$	2	0	2	2	1	2	2	1
$I(x)$	1	1	2	0	2	3	5	2
$D(x)$	1	-1	0	2	-1	-1	-3	-1

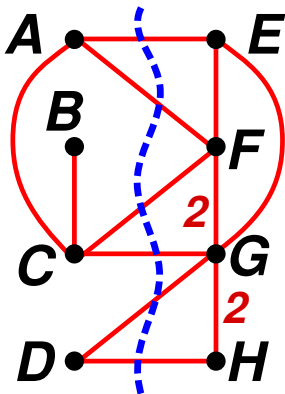
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_1

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	1	-1	0	2	-1	-1	-3	-1

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

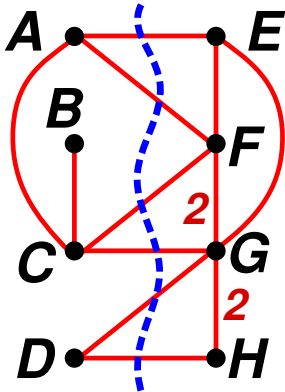
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	1	-1	0	2	-1	-1	-3	-1

▶ Bestimmung von Δ_1

	E	F	G	H
A	-2	-2	-1	0
B	-2	-2	-3	-2
C	-1	-2	-3	0
D	1	1	-2	-1

Kerninghan-Lin Beispiel

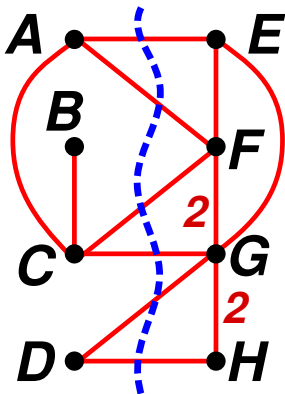


- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_1

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	1	-1	0	2	-1	-1	-3	-1

	E	F	G	H	$\Delta_1 = 1$ $D \leftrightarrow E$
A	-2	-2	-1	0	
B	-2	-2	-3	-2	
C	-1	-2	-3	0	
D	1	1	-2	-1	

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

▶ Bestimmung der $D(x)$

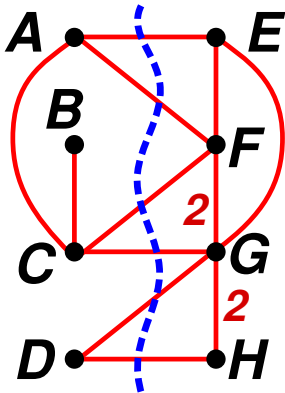
	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-3	-3

▶ Bestimmung von Δ_1

	E	F	G	H	$\Delta_1 = 1$ $D \leftrightarrow E$
A	-2	-2	-1	0	
B	-2	-2	-3	-2	
C	-1	-2	-3	0	
D	1	1	-2	-1	

▶ Aktualisierung $D(x)$

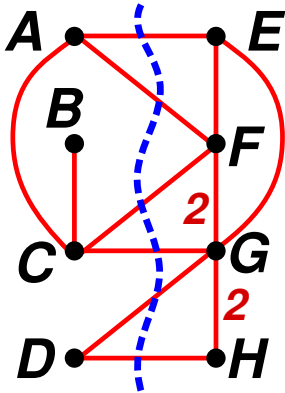
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_2

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-3	-3

Kerninghan-Lin Beispiel



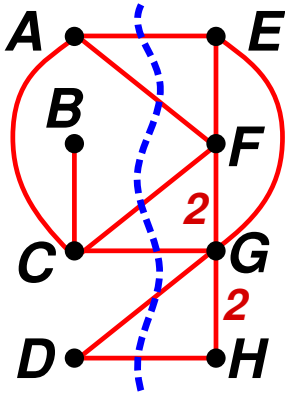
- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-3	-3

- ▶ Bestimmung von Δ_2

	E	F	G	H
A		-2	-4	-4
B		0	-4	-4
C		-1	-5	-3
D				

Kerninghan-Lin Beispiel



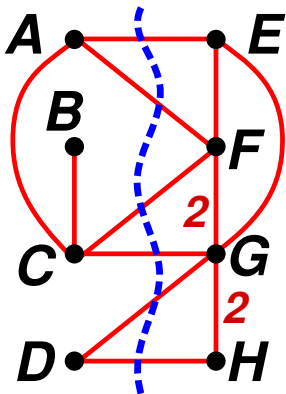
- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-3	-3

- ▶ Bestimmung von Δ_2

	E	F	G	H
A		-2	-4	-4
B		0	-4	-4
C		-1	-5	-3
D				

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

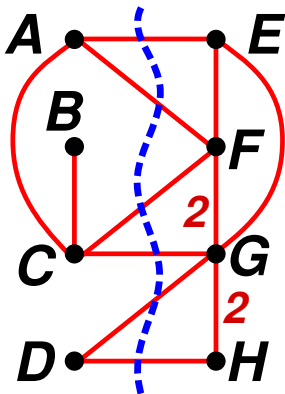
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-3	-3

▶ Bestimmung von Δ_2

	E	F	G	H		
A		-2	-4	-4	$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B		0	-4	-4	$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C		-1	-5	-3		
D						

Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf

- ▶ Bestimmung der $D(x)$

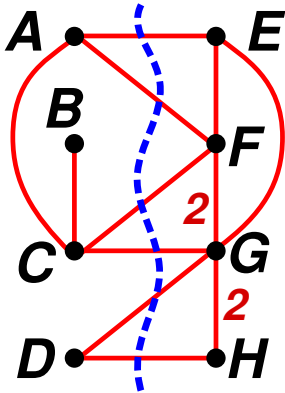
	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	2	-1	1	-7	-3

- ▶ Bestimmung von Δ_2

	E	F	G	H		
A		-2	-4	-4	$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B		0	-4	-4	$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C		-1	-5	-3		
D						

- ▶ Aktualisierung $D(x)$

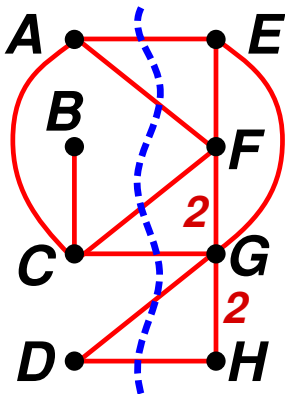
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_3

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	2	-1	1	-7	-3

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

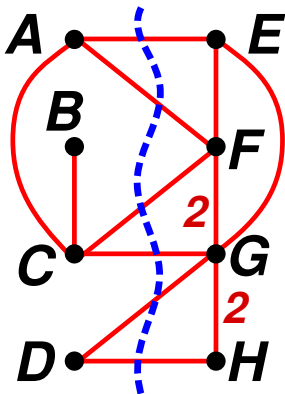
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	2	-1	1	-7	-3

▶ Bestimmung von Δ_3

	E	F	G	H
A			-10	-6
B				
C			-9	-3
D				

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

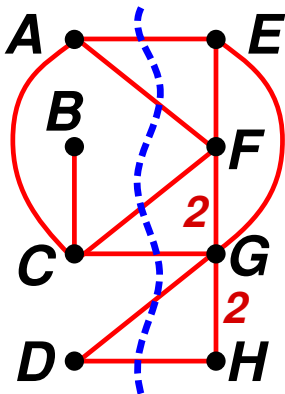
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	2	-1	1	-7	-3

▶ Bestimmung von Δ_3

	E	F	G	H		
A			-10	-6	$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B					$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C			-9	-3	$\Delta_3 = -3$	$C \leftrightarrow H$
D						

Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf

- ▶ Bestimmung der $D(x)$

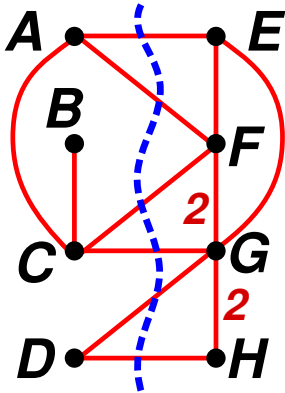
	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-5	-3

- ▶ Bestimmung von Δ_3

	E	F	G	H		
A			-10	-6	$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B					$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C			-9	-3	$\Delta_3 = -3$	$C \leftrightarrow H$
D						

- ▶ Aktualisierung $D(x)$

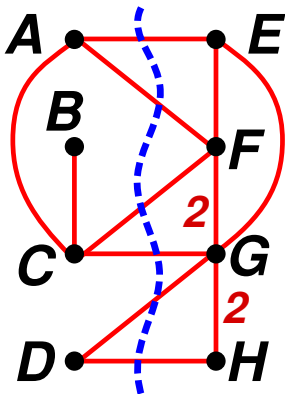
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_4

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-5	-3

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

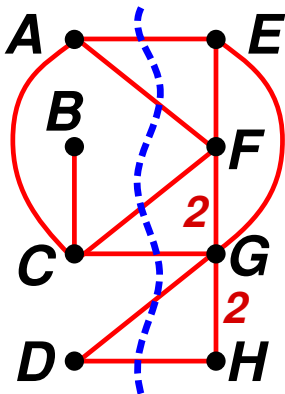
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-5	-3

▶ Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H		
A			-6		$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B					$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C					$\Delta_3 = -3$	$C \leftrightarrow H$
D					$\Delta_4 = -6$	$A \leftrightarrow G$

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 1. Durchlauf

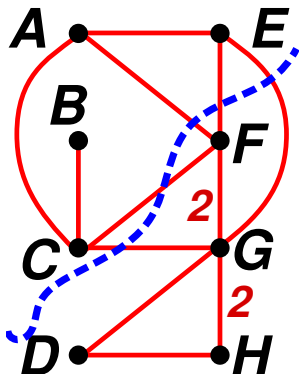
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-5	-3

▶ Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H		
A			-6		$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B					$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C					$\Delta_3 = -3$	$C \leftrightarrow H$
D					$\Delta_4 = -6$	$A \leftrightarrow G$

Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 1. Durchlauf

- ▶ Bestimmung der $D(x)$

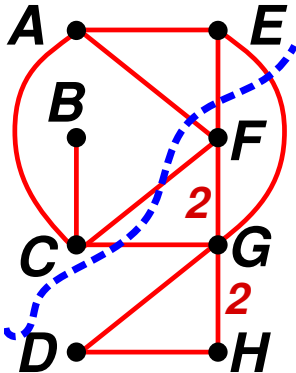
	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	-5	-3

- ▶ Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H		
A			-6		$\Delta_1 = 1$	$D \leftrightarrow E$
B					$\Delta_2 = 0$	$B \leftrightarrow F$
C					$\Delta_3 = -3$	$C \leftrightarrow H$
D					$\Delta_4 = -6$	$A \leftrightarrow G$

- ▶ $\sum_i^k \Delta_i$ wird maximal bei $k = 1$
 \Rightarrow Nur D und E austauschen

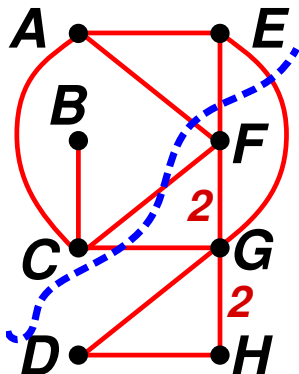
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 2. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	-2	1	1	-5	-3

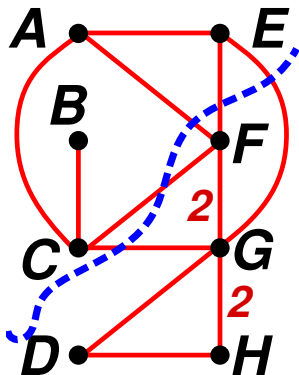
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 2. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_1

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	-2	1	1	-5	-3

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

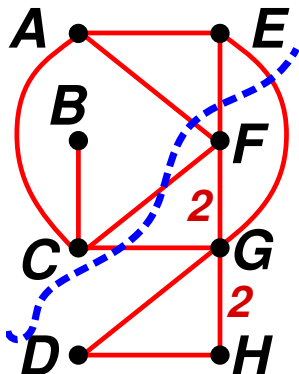
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	-2	1	1	-5	-3

▶ Bestimmung von Δ_1

	D	F	G	H
A	-3	-2	-5	-4
B	-3	0	-5	-4
C	-2	-1	-6	-3
E	-1	0	-5	-2

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

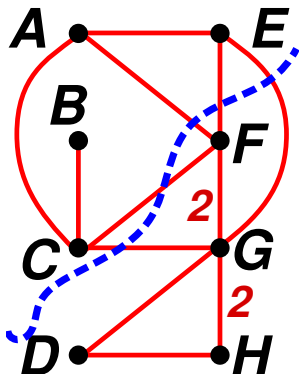
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	-2	1	1	-5	-3

▶ Bestimmung von Δ_1

	D	F	G	H	$\Delta_1 = 0$ $B \leftrightarrow F$
A	-3	-2	-5	-4	
B	-3	0	-5	-4	
C	-2	-1	-6	-3	
E	-1	0	-5	-2	

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

▶ Bestimmung der $D(x)$

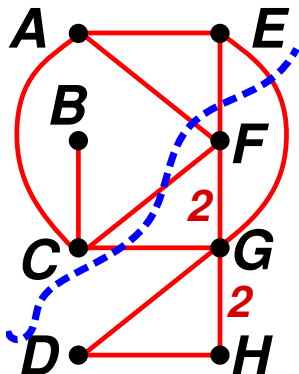
	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	-2	-1	1	1	-3

▶ Bestimmung von Δ_1

	D	F	G	H	$\Delta_1 = 0$ $B \leftrightarrow F$
A	-3	-2	-5	-4	
B	-3	0	-5	-4	
C	-2	-1	-6	-3	
E	-1	0	-5	-2	

▶ Aktualisierung $D(x)$

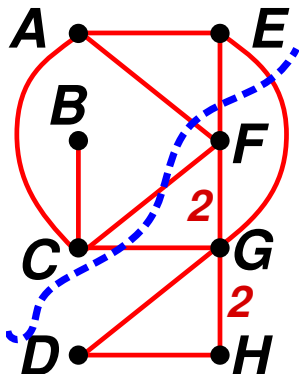
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 2. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_2

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	-2	-1	1	1	-3

Kerninghan-Lin Beispiel



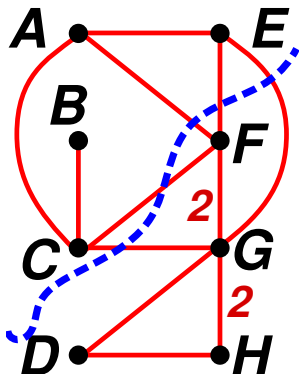
- ▶ 2. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	-2	-1	1	1	-3

- ▶ Bestimmung von Δ_2

	D	F	G	H
A	-5		-3	-6
B				
C	-2		-1	-3
E	-3		-2	-4

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

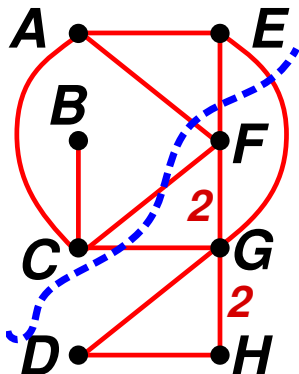
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	-2	-1	1	1	-3

▶ Bestimmung von Δ_2

	D	F	G	H
A	-5		-3	-6
B				
C	-2		-1	-3
E	-3		-2	-4

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

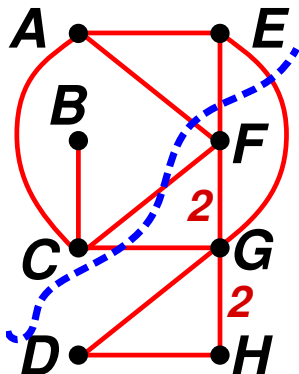
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-3	-1	0	-2	-1	1	1	-3

▶ Bestimmung von Δ_2

	D	F	G	H		
A	-5		-3	-6	$\Delta_1 = 0$	$B \leftrightarrow F$
B					$\Delta_2 = -1$	$C \leftrightarrow G$
C	-2		-1	-3		
E	-3		-2	-4		

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	0	-3	1	1	1

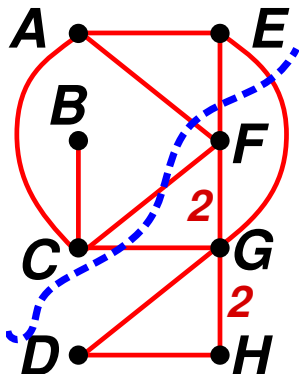
▶ Bestimmung von Δ_2

	D	F	G	H
A	-5		-3	-6
B				
C	-2		-1	-3
E	-3		-2	-4

$\Delta_1 = 0$ $B \leftrightarrow F$
 $\Delta_2 = -1$ $C \leftrightarrow G$

▶ Aktualisierung $D(x)$

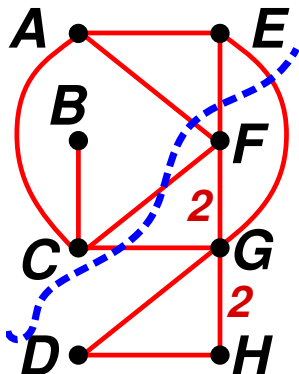
Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 2. Durchlauf
- ▶ Bestimmung der $D(x)$
- ▶ Bestimmung von Δ_3

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	0	-3	1	1	1

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

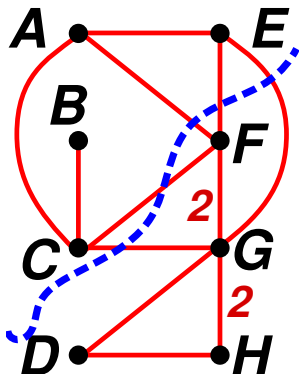
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	0	-3	1	1	1

▶ Bestimmung von Δ_3

	D	F	G	H
A	-1			0
B				
C				
E	-3			-2

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	0	-3	1	1	1

▶ Bestimmung von Δ_3

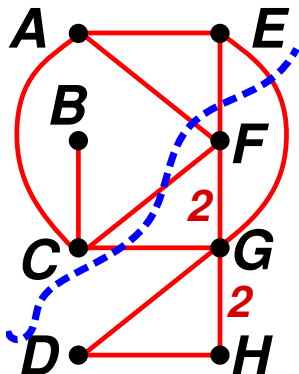
	D	F	G	H
A	-1			0
B				
C				
E	-3			-2

$$\Delta_1 = 0 \quad B \leftrightarrow F$$

$$\Delta_2 = -1 \quad C \leftrightarrow G$$

$$\Delta_3 = 0 \quad A \leftrightarrow H$$

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	1	1

▶ Bestimmung von Δ_3

	D	F	G	H
A	-1			0
B				
C				
E	-3			-2

$$\Delta_1 = 0$$

$$B \leftrightarrow F$$

$$\Delta_2 = -1$$

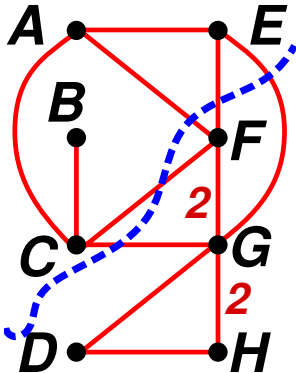
$$C \leftrightarrow G$$

$$\Delta_3 = 0$$

$$A \leftrightarrow H$$

▶ Aktualisierung $D(x)$

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

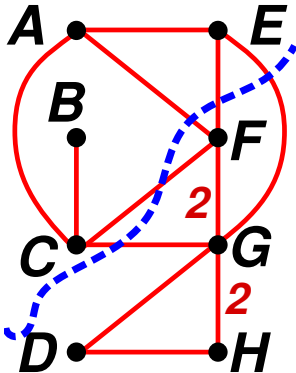
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	1	1

▶ Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H
A				
B				
C				
D	1			

Kerninghan-Lin Beispiel



► 2. Durchlauf

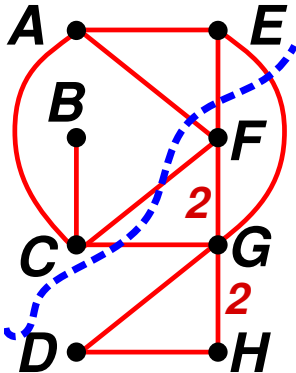
► Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	1	1

► Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H		
A					$\Delta_1 = 0$	$B \leftrightarrow F$
B					$\Delta_2 = -1$	$C \leftrightarrow G$
C					$\Delta_3 = 0$	$A \leftrightarrow H$
D	1				$\Delta_4 = -1$	$E \leftrightarrow D$

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

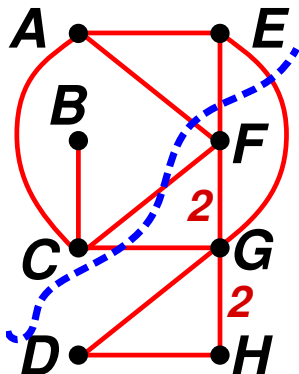
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	1	1

▶ Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H		
A					$\Delta_1 = 0$	$B \leftrightarrow F$
B					$\Delta_2 = -1$	$C \leftrightarrow G$
C					$\Delta_3 = 0$	$A \leftrightarrow H$
D	1				$\Delta_4 = -1$	$E \leftrightarrow D$

Kerninghan-Lin Beispiel



▶ 2. Durchlauf

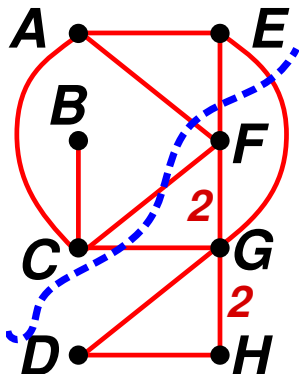
▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	1	1

▶ Bestimmung von Δ_4

	E	F	G	H		
A					$\Delta_1 = 0$	$B \leftrightarrow F$
B					$\Delta_2 = -1$	$C \leftrightarrow G$
C					$\Delta_3 = 0$	$A \leftrightarrow H$
D	1				$\Delta_4 = -1$	$E \leftrightarrow D$

Kerninghan-Lin Beispiel



- ▶ 2. Durchlauf

- ▶ Bestimmung der $D(x)$

	A	B	C	D	E	F	G	H
$D(x)$	-1	-1	0	2	-1	1	1	1

- ▶ Bestimmung von

	E	F	G	H		
A					$\Delta_1 = 0$	$B \leftrightarrow F$
B					$\Delta_2 = -1$	$C \leftrightarrow G$
C					$\Delta_3 = 0$	$A \leftrightarrow H$
D	1				$\Delta_4 = -1$	$E \leftrightarrow D$

- ▶ Maximale $\sum_i^k \Delta_i \leq 0$

⇒ Keine weitere Verbesserung möglich

Lösung: Partitionierung zu Beginn des Durchlaufes



- ▶ Lokale Suche mit variabler Nachbarschaft
- ▶ Komplexität: $\mathcal{O}(n^3)$ pro Durchlauf
- ▶ Nachteile:
 - ▶ Kein Hypergraph
 - ▶ Exakte Bisektion
⇒ Partitionen müssen gleich groß sein
ggf. Dummy-Knoten einfügen
 - ▶ Unterstützt keine Knotengewichte
- ▶ Allgemeiner: k -Wege Partitionierung (bisher $k = 2$)
 1. Partitionieren des Graph in k gleich große Mengen
 2. KL auf jedes Teilmengenpaar anwenden



- ▶ 1982
- ▶ Arbeitet mit Hypergraphen (Multi-Pin-Netze)
⇒ Reduziert Netzkosten, nicht Kantenkosten
- ▶ Partitionen können verschieden Größe haben
Nur eine ca.-Verhältnisvorgabe für die beiden Partitionen
- ▶ Immer nur eine Zelle auf einmal bewegen (d.h. kein Austausch)
- ▶ Sehr schnell

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Notation

- ▶ Gegeben: Netze $1, \dots, N$, Zellen $1, \dots, C$
 - $n(i)$: Anzahl Zellen von Netz i
 - $s(i)$: Größe von Zelle i
 - $|x_1, x_x, \dots| := \sum_j x_j$
 - $S_{max} := \max_i s(i)$
 - $p(i)$: Anzahl Pins von Zelle i
 - $P := \sum_i p(i)$ Anzahl aller Pins
- ▶ Zu gegebenen Verhältnis $0 < r < 1$, partitioniert **FM** den Graph $G = (V, E)$ in Knotensets A und B , so dass ...
 - ▶ die Schnittkosten minimiert werden
 - ▶ $\frac{|A|}{|A|+|B|} \approx r$

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Ideen

- ▶ **Schnittkosten**: Kosten der Netze in der **Schnittmenge** (Menge der Netze die beide Partitionen verbinden)
- ▶ **Zellgewinnwert** (gain) $g(v)$ einer Zelle v : Veränderung der Schnittkosten beim Wechsler der Zelle
- ▶ $-p(v) \leq g(v) \leq p(v)$
- ▶ Nur eine Zelle bewegen
- ▶ Versuchen balanciert zu bleiben (inkl. etwas *Spiel*) \Rightarrow max. Partitionsgröße

$$r|V| - S_{max} \leq |A| \leq r|V| + S_{max}$$



FiducciaMattheyses() (V,E,r,n,s,): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

 m := 0 ;

repeat

 Entsperre alle Knoten ;

for ($i:=1; i \leq |V| ; i++$) **do**

 Finde freies $v_i \in A_m \cup B_m$ mit
 maximalem Gain, dass die Größen-
 bedingungen nicht verletzt ;

$g_i := \text{gain}(v_i)$;

 WechselVorläufig(v_i) ;

 Sperr v_i ;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k g_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

 MacheWechselPermanent(v_1, \dots, v_k) ;

 VerwerfeWechsel($v_{k+1}, \dots, v_{|V|}$) ;

 m := m+1 ;

until $G \leq 0$;

Initialisierung

Startmengen A_0 und B_0 erzeugen
(zufällig)



FiducciaMattheyses() (V,E,r,n,s): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

Entsperre alle Knoten ;

for ($i:=1; i \leq |V| ; i++$) **do**

 Finde *freies* $v_i \in A_m \cup B_m$ mit
 maximalem Gain, dass die Größen-
 bedingungen nicht verletzt ;

$g_i := \text{gain}(v_i)$;

 WechselVorläufig(v_i) ;

Sperre v_i ;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k g_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

 MacheWechselPermanent(v_1, \dots, v_k) ;

 VerwerfeWechsel($v_{k+1}, \dots, v_{|V|}$) ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Freie und gesperrte Knoten

- ▶ Einmal zum Wechsel ausgewählte Zellen werden gesperrt
- ▶ Erst nächste Iteration (*Pass*) wieder verfügbar



FiducciaMattheyses() (V,E,r,n,s,): **begin**

Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

Entsperre alle Knoten ;

for ($i:=1; i \leq |V| ; i++$) **do**

Finde freies $v_i \in A_m \cup B_m$ mit
maximalem Gain, dass die Größen-
bedingungen nicht verletzt ;

$g_i := \text{gain}(v_i)$;

WechselVorläufig(v_i) ;

Sperre v_i ;

Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k g_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

MacheWechselPermanent(v_1, \dots, v_k) ;

VerwerfeWechsel($v_{k+1}, \dots, v_{|V|}$) ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Wechselkandidaten auswählen

- ▶ Zelle v so wählen, dass
 - ▶ v nicht gesperrt ist
 - ▶ Ein Wechsel von v die Größenbedingung nicht verletzt
 - ▶ Zellgewinnwert von v maximal ist
- ▶ Wechsel nur vorläufig



FiducciaMattheyses() (V,E,r,n,s): **begin**

 Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

 Entsperre alle Knoten ;

for ($i:=1; i \leq |V|; i++$) **do**

 Finde freies $v_i \in A_m \cup B_m$ mit
 maximalem Gain, dass die Größen-
 bedingungen nicht verletzt ;

$g_i := \text{gain}(v_i)$;

 WechselVorläufig(v_i) ;

 Sperr v_i ;

 Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k g_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

 MacheWechselPermanent(v_1, \dots, v_k) ;

 VerwerfeWechsel($v_{k+1}, \dots, v_{|V|}$) ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

Auswahl der zu wechselnden Knoten

- ▶ Greedy Verfahren um tatsächliche Wechsel zu wählen
- ▶ $g(i)$ kann negativ werden
- ▶ $\sum g(i)$ kann zeitweise auch negativ sein
 - ▶ Bei dicht verbundenen Teilmengen
 - ▶ Keine Verbesserung beim Wechsel von Einzelknoten
 - ▶ Erst bei Wechsel der gesamten Teilmenge



FiducciaMattheyses() (V,E,r,n,s): **begin**

Init(A_0, B_0) ;

$m := 0$;

repeat

Entsperre alle Knoten ;

for ($i:=1; i \leq |V| ; i++$) **do**

Finde freies $v_i \in A_m \cup B_m$ mit
maximalem Gain, dass die Größen-
bedingungen nicht verletzt ;

$g_i := \text{gain}(v_i)$;

WechselVorläufig(v_i) ;

Sperre v_i ;

Finde k mit $G := \sum_{i=1}^k g_i$ das maximal ist ;

if $G > 0$ **then**

MacheWechselPermanent(v_1, \dots, v_k) ;

VerwerfeWechsel($v_{k+1}, \dots, v_{|V|}$) ;

$m := m+1$;

until $G \leq 0$;

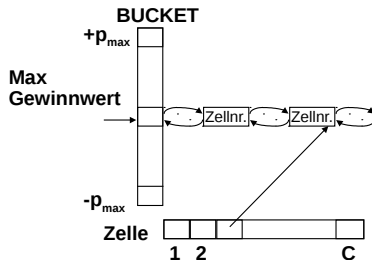
Wechsel

- ▶ Wenn Gewinn gewählten Wechsel durchführen
- ▶ Bis kein Gewinn mehr möglich

FM-Implementierungsdetails

Datenstrukturen

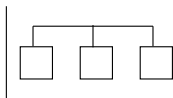
- ▶ Zwei **Bucket-List** Strukturen, für jede Partition eine
- ▶ Erlaubt in $\mathcal{O}(1)$:
 - ▶ Zelle mit maximalem Gewinnwert finden
 - ▶ Aktualisieren des max. Gewinnwert-Zeigers
 - ▶ Zelle v löschen
 - ▶ Zelle v einfügen
 - ▶ Ändern von $g(v)$



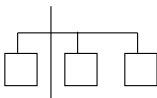
FM-Implementierungsdetails

Kritische Netze

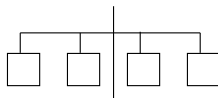
- ▶ Neuberechnung aller Zellgewinnwerte $\mathcal{O}(C^2)$
- ▶ **Besser:**
 - ▶ Nur bewegte Zellen und mit ihr verbundene Neuberechnen!
 - ▶ **Noch Besser:** Dies nur für kritische Netze tun!
- ▶ **Kritische Netze:** Netze deren **Schnittzustand** (d.h. geschnitten oder nicht) sich beim Zellbewegen ändert
- ▶ Zellgewinnwert hängt nur von kritischen Netzen ab.
- ▶ Bestimmung ob ein Netz kritisch ist:
 - ▶ Netz i ist kritisch, gdw. Anzahl Zellen am Netz in einer Partition 0 oder 1 ist.



A=0, B=3
kritisch



A=1, B=2
kritisch



A=2, B=2
nicht kritisch

FM-Implementierungsdetails

Berechnung Zellgewinnwerte



```
InitGain(Zelle z) begin  
  z.gain := 0 ;  
  F := FromPartition(z) ;  
  T := ToPartition(z) ;  
  foreach Netz n verbunden mit z do  
    if #Pins von n in F = 1 then  
      | z.gain++ ;  
    if #Pins von n in T = 0 then  
      | z.gain-- ;
```

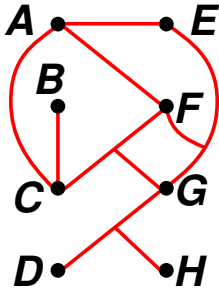
Komplexität: $\mathcal{O}(P)$

```
UpdateGain(Zelle z) begin  
  F := FromPartition(z) ;  
  T := ToPartition(z) ;  
  foreach Netz n verbunden mit z do  
    if #Pins von n in T = 0 then  
      | foreach Freie Zelle a verbunden mit z do  
        | a.gain++ ;  
    if #Pins von n in T = 1 && die Zelle a ist frei then  
      | a.gain-- ;  
    #Pins von n in T++ ; #Pins von n in F-- ;  
    if #Pins von n in F = 0 then  
      | foreach Freie Zelle a verbunden mit z do  
        | a.gain-- ;  
    if #Pins von n in F = 1 && die Zelle a ist frei then  
      | a.gain++ ;
```

Komplexität: $\mathcal{O}(P)$ für einen FM-Durchlauf

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

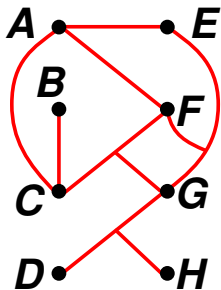
Beispiel



- ▶ $r = \frac{4}{8} = 0.5$
- ▶ Zur Vereinfachung im Beispiel:
 - ▶ Alle Zellen Einheitsgröße $s = 1$
 - ▶ Keine besonderen Datenstrukturen
- ▶ Zufällige Startpartitionen
($\{A, B, C, D\}$, $\{E, F, G, H\}$)
⇒ Schnittkosten = 4

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



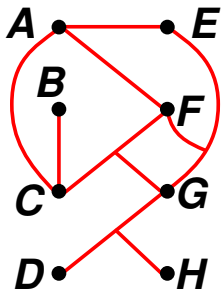
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



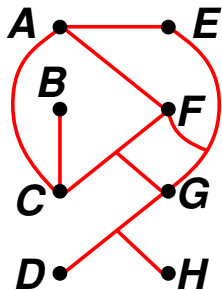
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



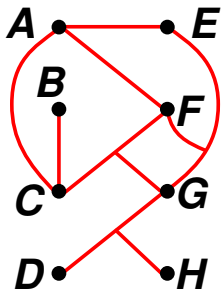
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



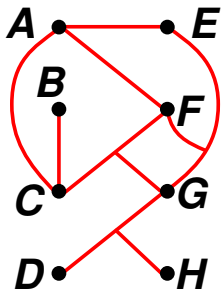
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



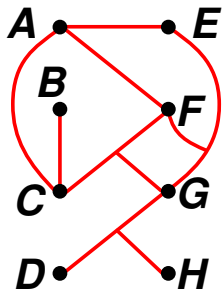
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2
4		1		0	-2	-3	-1		-1	1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



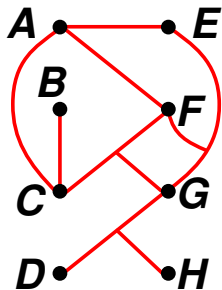
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2
4		1		0	-2	-3	-1		-1	1
5		1		-1	-1	-1			1	2

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



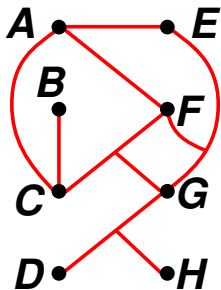
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2
4		1		0	-2	-3	-1		-1	1
5		1		-1	-1	-1			1	2
6				-1	-1	-1			-1	1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



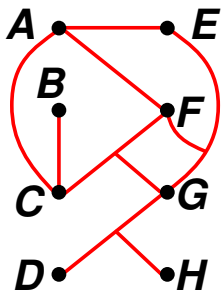
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2
4		1		0	-2	-3	-1		-1	1
5		1		-1	-1	-1			1	2
6				-1	-1	-1			-1	1
7				-1		0			0	1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



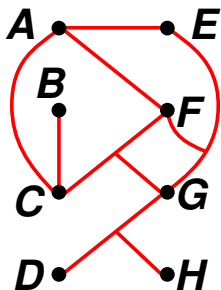
Durchlauf 1

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2
4		1		0	-2	-3	-1		-1	1
5		1		-1	-1	-1			1	2
6				-1	-1	-1			-1	1
7				-1		0			0	1
8				-1					-1	0

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



Durchlauf 1

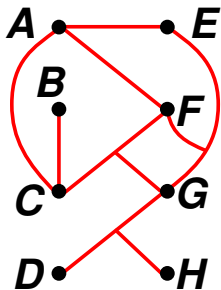
Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	1	1
2		0	1	0	-2	-1	-1	0	0	1
3		0	1	0	-2	-1	-1		1	2
4		1		0	-2	-3	-1		-1	1
5		1		-1	-1	-1			1	2
6				-1	-1	-1			-1	1
7				-1		0			0	1
8				-1					-1	0

\sum maximal bei $i = 3 \Rightarrow$ Zellen A, H, C Wechseln

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



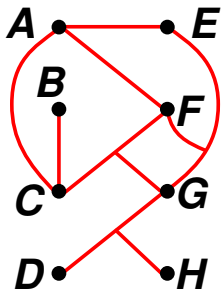
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



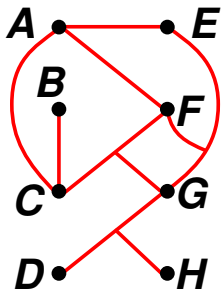
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



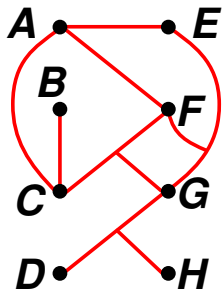
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



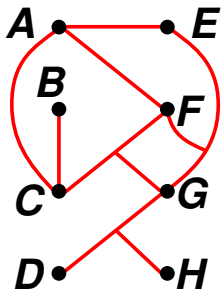
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



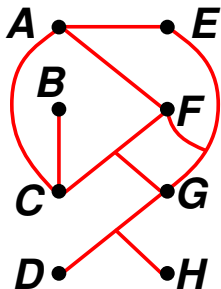
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2
4		-1			0	0	-1	1	1	-1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



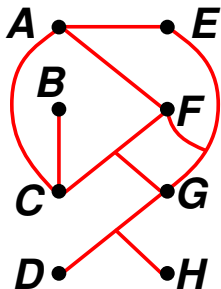
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2
4		-1			0	0	-1	1	1	-1
5		-1			0	0	-2		0	-1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



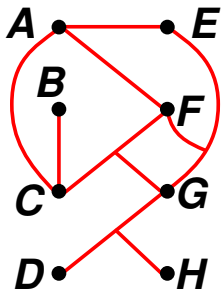
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2
4		-1			0	0	-1	1	1	-1
5		-1			0	0	-2		0	-1
6		-1				1	-2		1	0

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



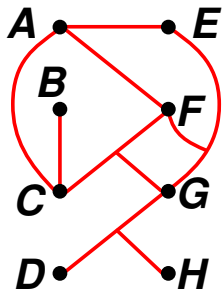
Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2
4		-1			0	0	-1	1	1	-1
5		-1			0	0	-2		0	-1
6		-1				1	-2		1	0
7		-1					1		-1	-1

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel

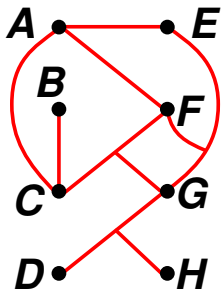


Durchlauf 2
 Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2
4		-1			0	0	-1	1	1	-1
5		-1			0	0	-2		0	-1
6		-1				1	-2		1	0
7		-1					1		-1	-1
8							1		1	0

Fiduccia-Mattheyses-Algorithmus

Beispiel



Durchlauf 2

Δ Gewinnwert:

i	A	B	C	D	E	F	G	H	$g(i)$	$\sum g(i)$
1	-3	1	-1	0	-2	-3	-1	0	-1	-1
2	-1	-1		0	-2	-3	-1	0	0	-1
3	-1	-1			-2	-3	-1	1	-1	-2
4		-1			0	0	-1	1	1	-1
5		-1			0	0	-2		0	-1
6		-1				1	-2		1	0
7		-1					1		-1	-1
8							1		1	0

\sum maximal = 0 \Rightarrow kein Wechsel, FM fertig
Finale Schnittkosten = 2

FM-Algorithmus

Zusammenfassung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Komplexität: $\mathcal{O}(P)$ pro Durchlauf $\Rightarrow \mathcal{O}(P \log P)$
- ▶ Sehr schnell durch geschickte Wahl der Datenstrukturen
- ▶ Nicht optimal, aber relativ gute Qualität



- ▶ Multilevel Partitionierer

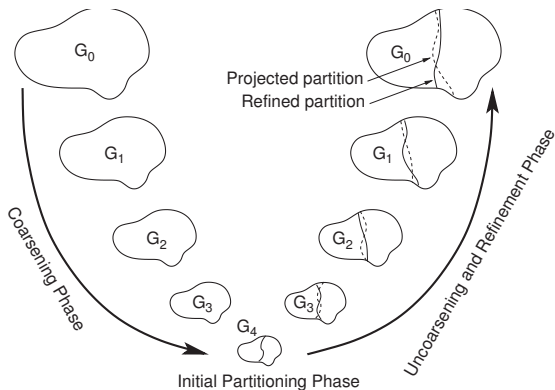
- ▶ Ablauf:

Vergrößern: Rekursiv Knoten zusammengruppieren
(Basierend auf einer Konnektivitätsmetrik) bis Anzahl Knoten einer Gruppe kleiner als kleiner Wert c (Größenordnung $c = 100$)

Verfeinern: ▶ Ergebnis einer gröberen Stufe nehmen und auf feinere projizieren
▶ Jedesmal Partitionierungsalgorithmus benutzen, um Qualität schrittweise zu verbessern

- ▶ Beispiel:

- ▶ hMetis (Karypis, 1997)
- ▶ Benutzt zufällige Initiale Partitionierung
- ▶ Für die Verfeinerung FM
- ▶ Insgesamt sehr gute Lösungsqualität



Quelle: Y.-W. Chang

Partitionierungsbasierte Platzierer Idee



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Ansatz:
 1. Verfügbarer Platz wird halbiert
 2. Schaltung wird partitioniert (mittels FM, KL, . . .)
 3. Halbe Schaltung wird auf jeweils die Hälfte platziert
 4. Rekursiv bis auf das kleinste Element runter
- ▶ Anzahl Netze über die Schnittlinien wird minimiert, darum auch **Min-Cut**-Platzierung
- ▶ Problematisch: Partitionsübergreifende Verbindungen
⇒ Terminal propagation (Dunlop, 1995):
Fixierte Dummy Terminals werden eingefügt

Partitionierungsbasierte Platzierer

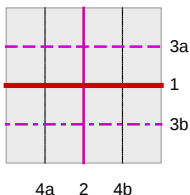
Rekursion



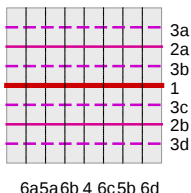
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ▶ Verschiedene Ansätze für die Rekursion möglich:

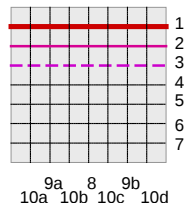
Quadratur-Platzierung
(Quadrature placement)



Halbierungs-Platzierung
(Bisection placement)



Reihen-/Halbierungs-Platzierung
(Slice/bisection placement)



Nach Sak, S. M., Yousefi, H.: VLSI Physical Design Automation

Partitionierungsbasierte Platzierer

Übersicht

- ▶ Sehr schnell
 - ▶ Hierarchisch \Rightarrow sehr gut für große Schaltungen und parallelisierbar
 - ▶ Unterhalb bestimmter Größen wird oft herkömmlicher Platzierer verwendet
 - ▶ Optimierung immer nur bzgl. einer Schnittlinie
 - ▶ Waren in 90ern nicht annähernd so gut wie SA oder analytische Platzierer
 - ▶ Stark verbessert mit den Multilevel Partitionierern
- 2 Akademische Platzierer: Capo (Caldwell, 2000), Fengshui (Yildiz, 2001)



- ▶ Partitionierung
- ▶ KL
- ▶ FM
 - ▶ Schneller als KL, aber schlechtere Lösungsqualität
- ▶ Multilevel Partitionierung
- ▶ Andere akademische Ansätze: Spektral Methode, Netzwerkfluß, ILP, Hybrid-Varianten, ...
- ▶ Partitionierungsbasierte Platzierer