Ein Überblick über Placement und Routing in integrierten Schaltungen und Systemen

Jean-Pierre Schwickerath

http://schwicky.net/projects/2004/asic/

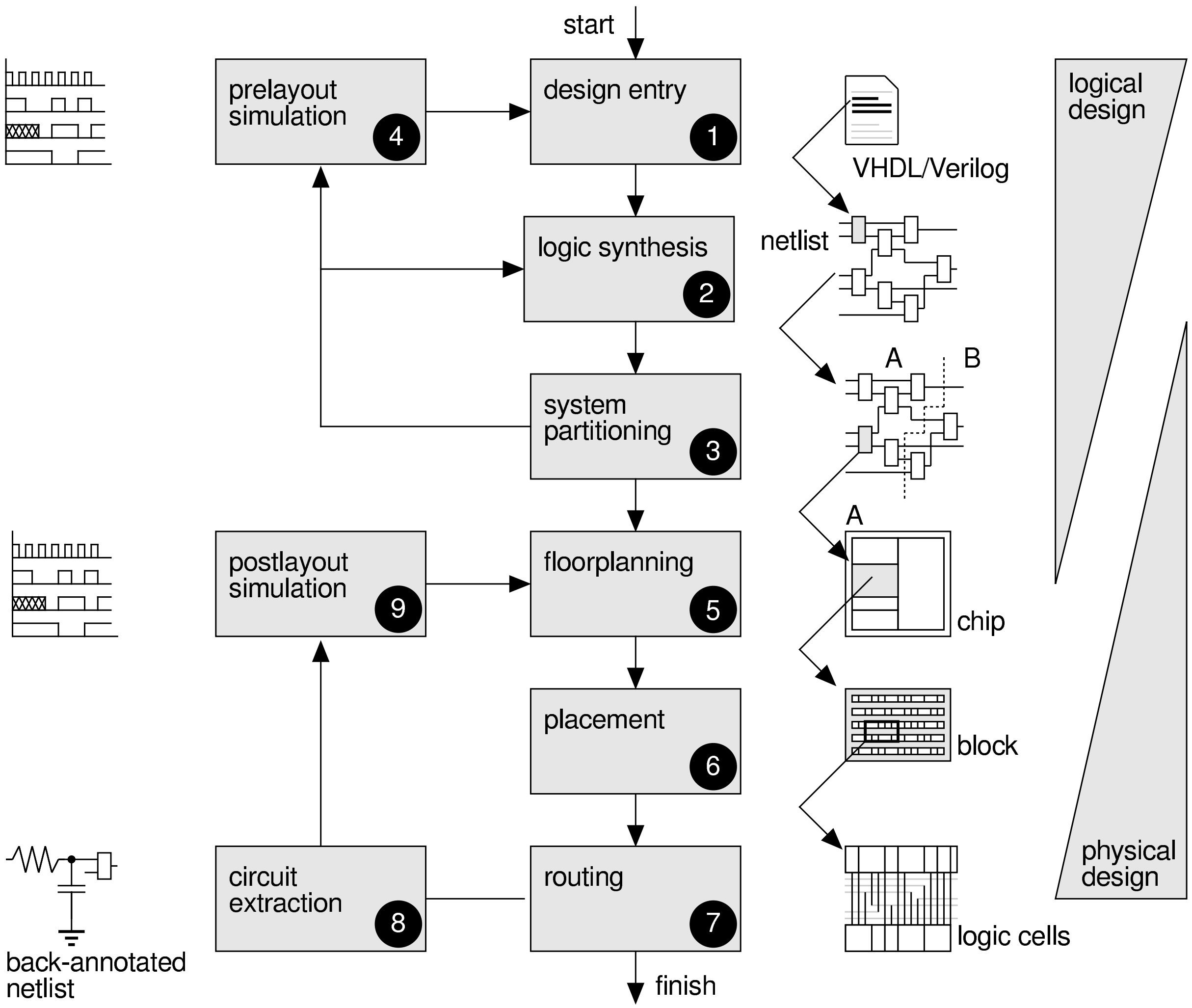
Technische Universität Darmstadt

Entwurf, Technik und Technologie integrierter Schaltungen und Systeme

Prof. Rolf Hoffmann, Dipl.-Ing. Wolfgang Heenes

2. Juli 2004

ASIC-Entwurf



Definitionen

- **Placement**: Platzierung von Komponenten auf dem Substrat.
  - Vorgaben: Minimierung der Fläche, Länge der Verbindungen. Gleichmässige Hitzeverteilung. Einhalten von Laufzeiten.
  - Genügend Platz für Routing $\longrightarrow$ Routingregionen.
- **Routing**: Verbindung zwischen den Pins der Komponenten.
  - Vorgaben: Minimierung der Anzahl an Layern, Vias, Störungsquellen, Rauschen.
  - Globales Routing und detailliertes Routing.

Konsequenzen

- Beim Placement müsste man schon wissen wie viel Platz das Routing braucht.
- Priorität: Platzierung von Komponenten mit wichtigen Auswirkungen.

Natur der Probleme

- Placement und Routing-Probleme können auf mehreren Ebenen betrachtet werden.
- Grosse, voneinander abhängige *NP*-harte Probleme:
  - Viele voneinander abhängige Kriterien,
  - Optimierung unter Berücksichtigung nicht trivialer Bedingungen.
- Abschätzungen müssen zur Hilfe genommen werden.
- Einsatz von genetischen und stochastischen Verfahren.

Placement

Unter Verwendung

- einer Menge an rechteckigen Zellen mit Pins,
- einer Netlist (Verbindungsliste),
- einer ungefähren Länge W des Chips.

Berechne

- die absolute Position jeder Zelle,
- die Orientierung und Spiegelung jeder Zelle,
- ein Rechteck B, dass die Form des Chips definiert.

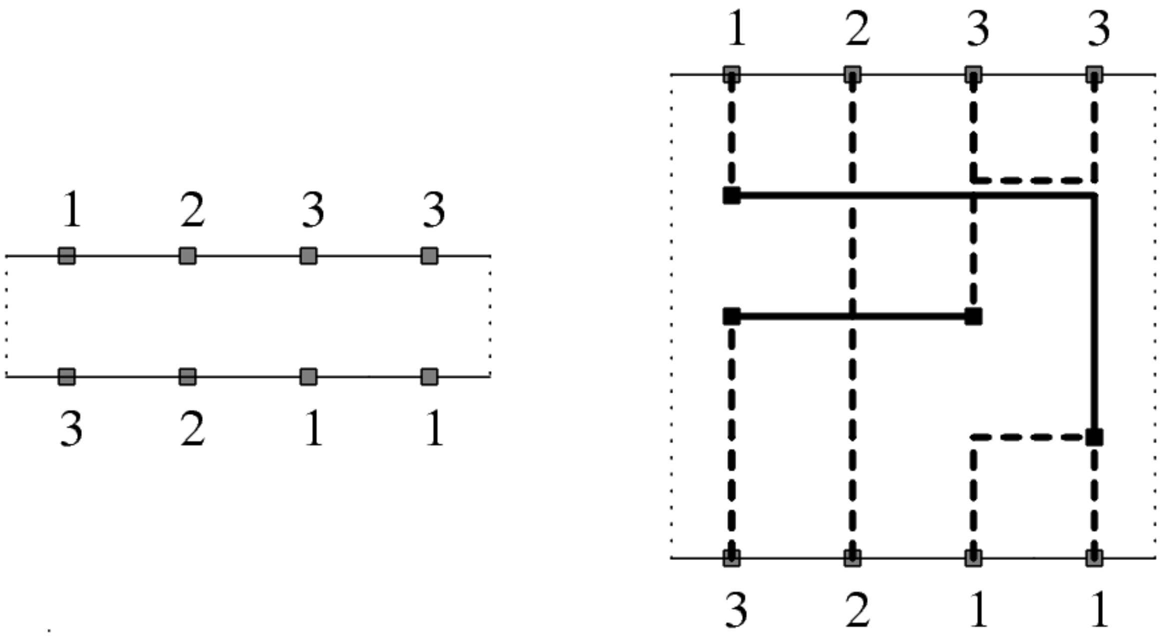
Placement (2)

Ziele:

- Minimierung der Fläche von B.
- Ohne Überlappung.
- Alle nicht belegten Flächen reichen fürs Routing.

Routing

Keine zwei Nets dürfen sich auf einem Layer kreuzen.
Beispiel: Channel-Routing.

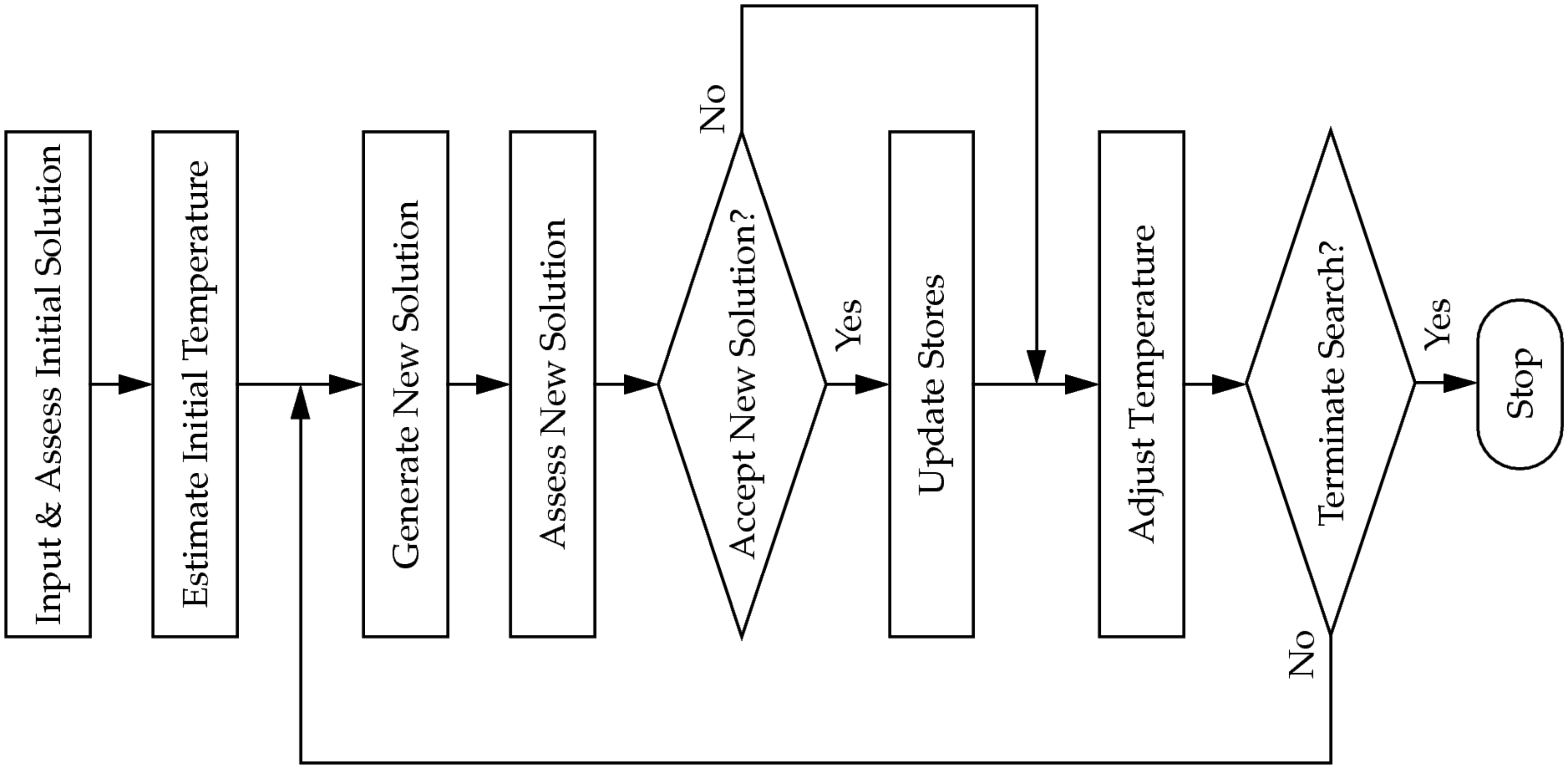


(a) (b)

Simulated Annealing

- Basiert auf Monte-Carlo-Methode.
- Einfrieren einer Flüssigkeit oder Kristallisierung eines Metalls wird simuliert.
- Die Substanz muss sich immer beinahe im thermodynamischen Gleichgewicht befinden.
- Von Natur aus sequenziell.

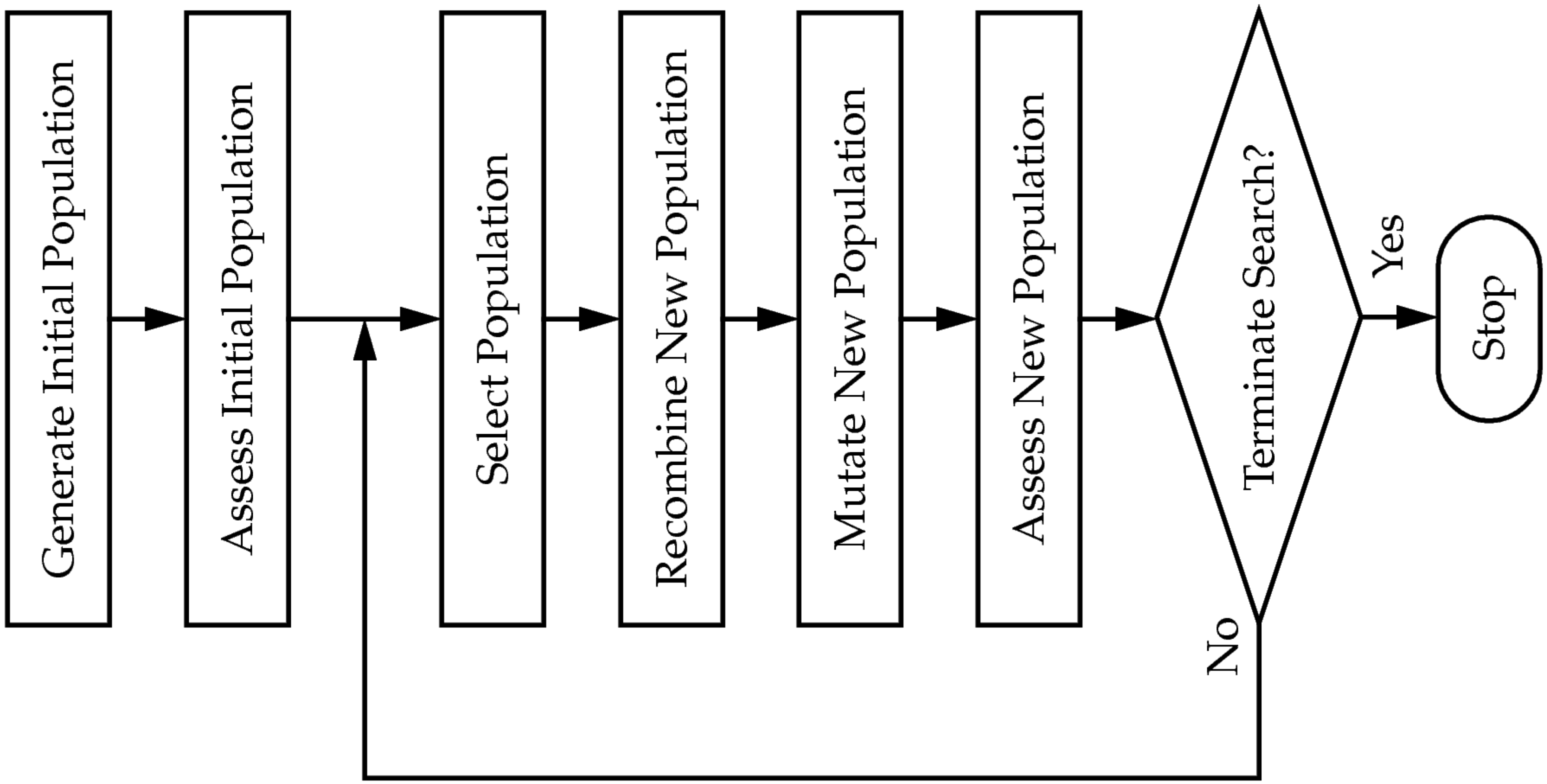
Simulated Annealing (2)



Genetische Algorithmen

- Suchen mit probabilistischen Übergängen nach vorteilhaften Anpassungen in einer sich immer ändernden Umgebung.
- Bevölkerung, Chromosome, Individuen, Evolutionsprozess:
  - Selektion,
  - Kreuzung (crossover oder recombination),
  - Mutation.

Genetische Algorithmen (2)



Genetische Algorithmen (3)

Sind für CAD-Probleme bestens geeignet:

- Relative Performanz verbessert sich mit der Komplexität.
- Sehr gut parallelisierbar. Beinahe lineare Skalierung auf MIMD. Rechenintensivste: Kostenfunktion.
- Sehr schnell gute Ergebnisse. Bei langer Laufzeit, sehr gute Ergebnisse.

Aber:

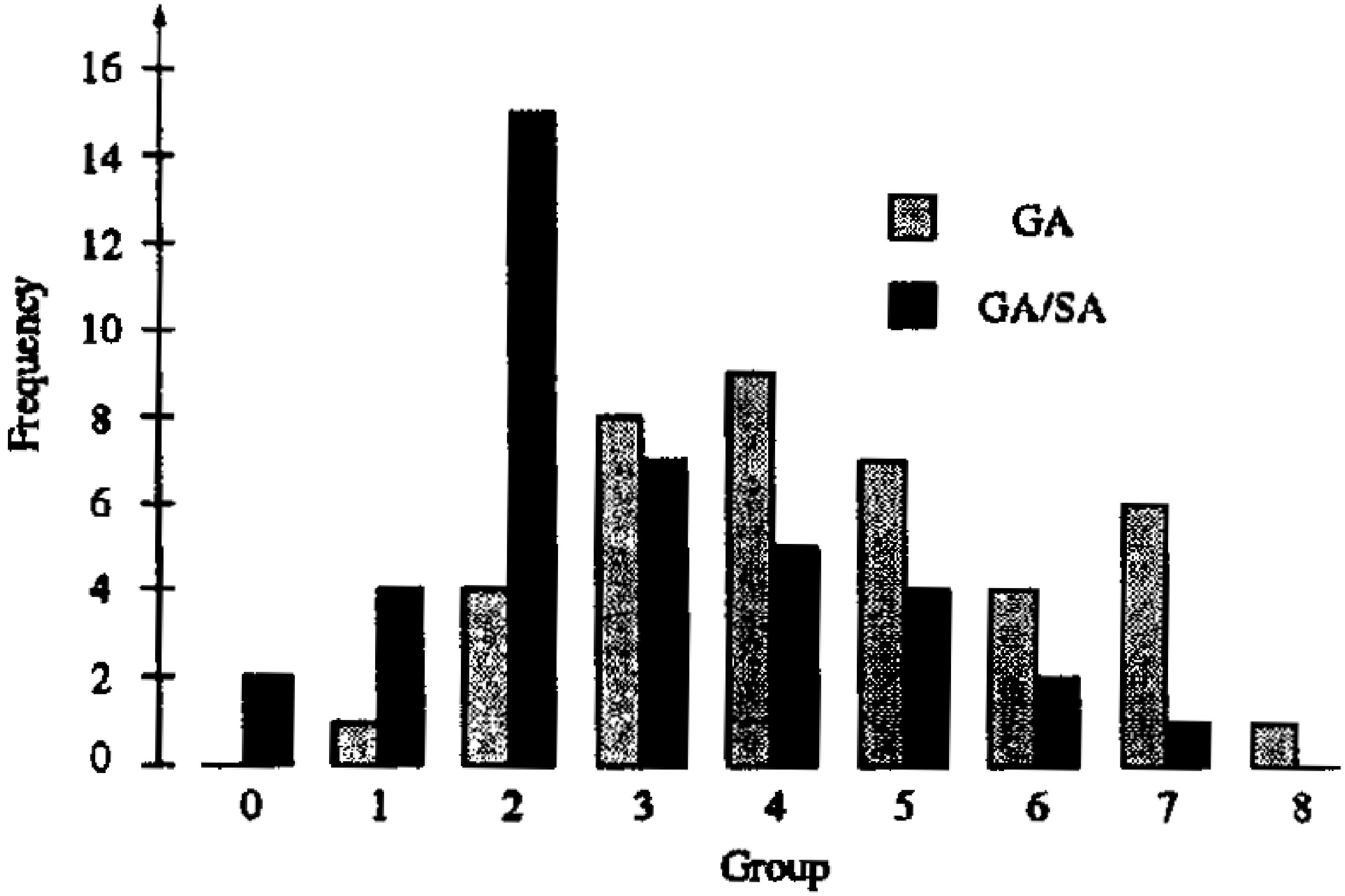
- Irgendwann nur noch sehr kleine Verbesserungen.
- Probleme mit lokalen Optima.

Die Lösung: SAGA

```
generate(Π_c);
∀ s ∈ Π_c : T_s = ⊥;
evaluate(Π_c);
q = bestOf(Π_c);
c_R = 0;
repeat until stopCriteria():
   if no improvement for R generations do :
      c_R = c_R + 1;
      M = max(round(β^{c_R} M), 1);
      Π_c = reduce(Π_c, M);
      p_mut = min(γ p_mut, 1.0);
   end;
   Π_n = ∅;
   repeat M times:
      select s ∈ Π_c, t ∈ Π_c;
      v = crossover(s, t);
      T_v = ⊥;
      Π_n = Π_n ∪ {v};
   end;
   evaluate(Π_c ∪ Π_n);
   Π_c = reduce(Π_c ∪ Π_n, M);
   ∀ s ∈ Π_c : s = SAmutate(s);
   ∀ s ∈ Π_c : with prob. p_inv do :
      s = invert(s);
   evaluate(Π_c);
   q = bestOf(Π_c ∪ {q})
end;
∀ t ∈ Π_c ∪ {q} : t = optimize(t);
r = bestOf(Π_c ∪ {q});
```

SAGA Benchmarks

Xerox Benchmark: Anzahl der Durchläufe im Intervall $[27.15+0.3i, 27.15+0.3(i+1)[$.



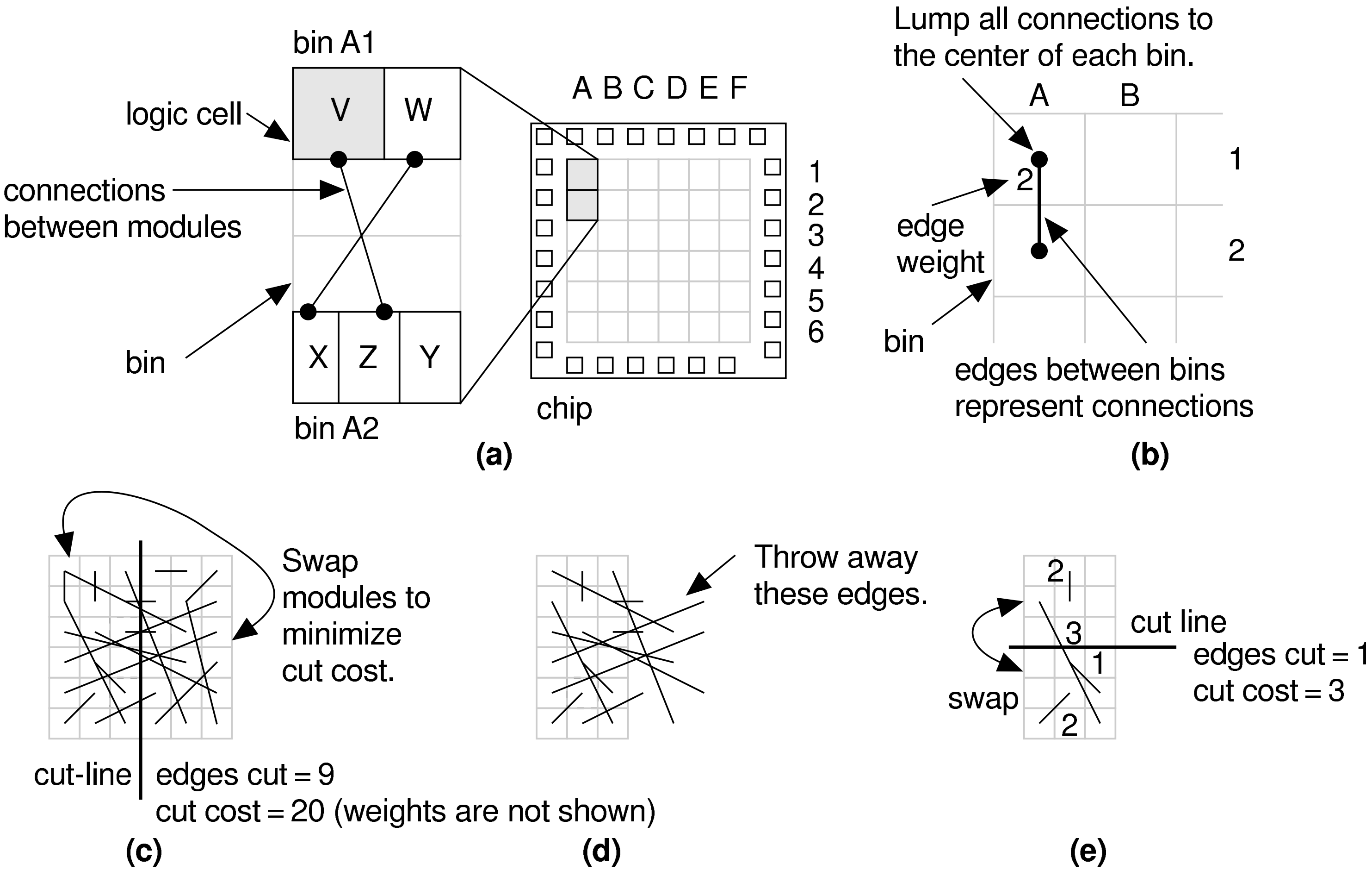
SAGA Benchmarks (2)

Benchmark	System	Area (mm^2)
Apte	SAGA	53.58
	BB [5]	54.05
	Seattle Silicon [6]	54.77
Xerox	Seattle Silicon [6]	25.79
	BB [5]	26.17
	SAGA	27.15
	BEAR [3]	28.47
	MOSAICO[1]	29.01
	VITAL[1]	31.71
Hp	SAGA	11.81
	Seattle Silicon [6]	11.85
	BB [5]	12.15

Placement im Detail

- Länge der Verbindung werden immer wichtiger: Verzögerung von Quelle zu Senke.
- Verstärkt durch Widerstand und Kapazität.
- Konstruktive Verfahren, meistens mit Min-Cut Algorithmen durch sukzessive Anwendung von Partitioning.
- Produzieren ein vollständiges Placement.

Min-Cut Placement



Placement im Detail (2)

Iterative Verfahren:

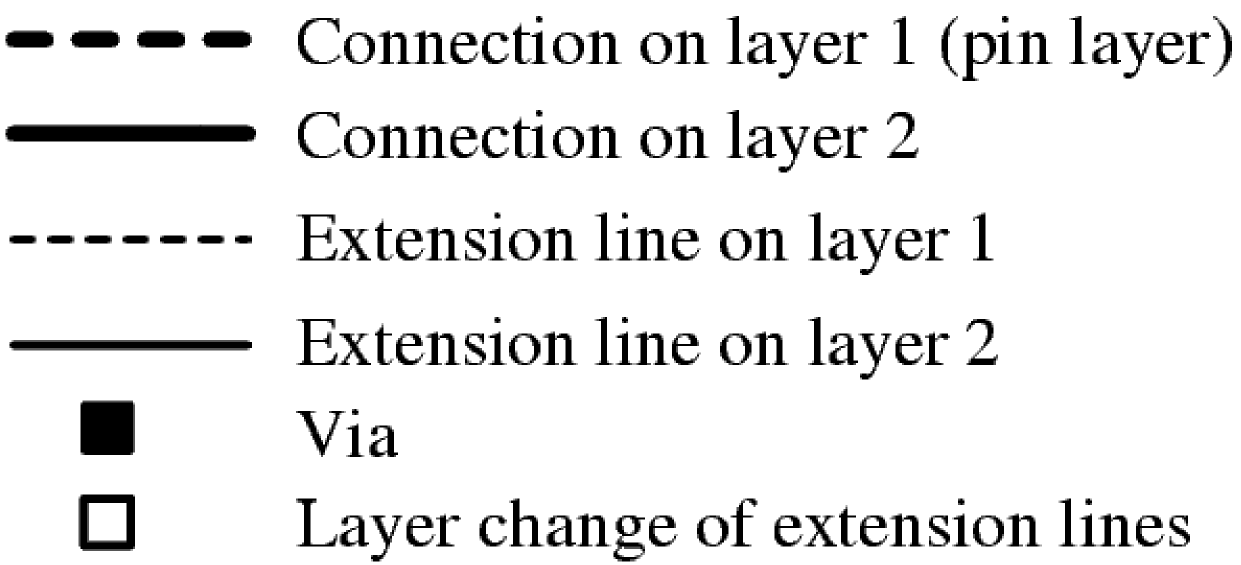
- Selektionskriterium, Messkriterium.
- Simulated Annealing:
  - Wähle Zelle für den Tausch.
  - Berechne Funktion E für das neue Placement.
  - Anhand des Messkriteriums wird entschieden ob die Zelle getauscht wird.
  - Senke die Temperatur und wiederhole.

Genetisches Routing

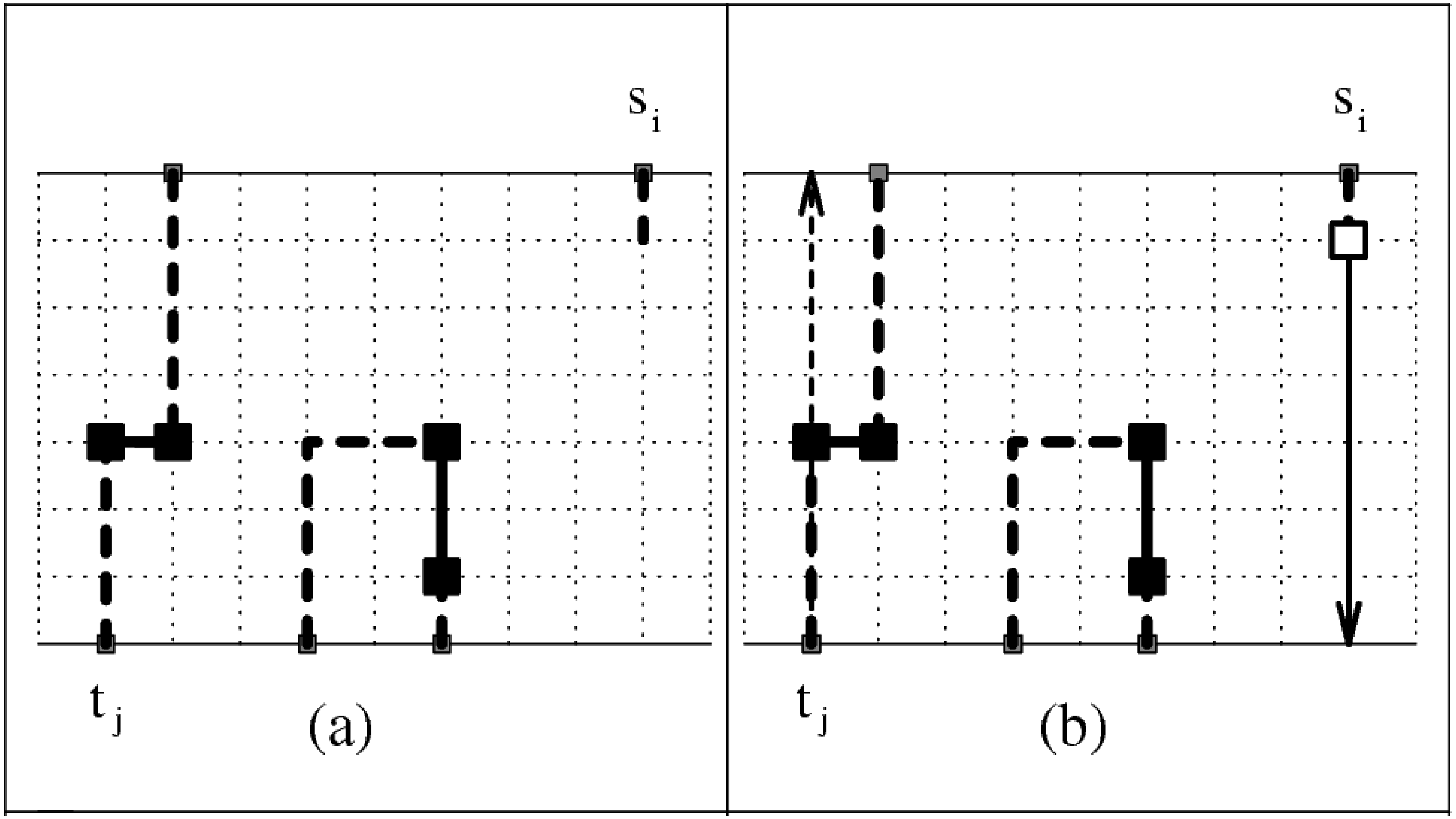
create initial population $(\mathcal{P}_c)$
fitness_calculation $(\mathcal{P}_c)$
p_{best} = best_individual $(\mathcal{P}_c)$
for $generation = 1$ until $max\_generation$
    $\mathcal{P}_n = \emptyset$
    for $offspring = 1$ until $max\_descendant$
        p_α = selection $(\mathcal{P}_c)$
        p_β = selection $(\mathcal{P}_c)$
        $\mathcal{P}_n = \mathcal{P}_n \cup$ crossover (p_α, p_β)
    endfor
    fitness_calculation $(\mathcal{P}_n)$
    $\mathcal{P}_c$ = reduction $(\mathcal{P}_c \cup \mathcal{P}_n)$
    p_{best} = best_individual $(p_{best} \cup \mathcal{P}_c)$
    mutation $(\mathcal{P}_c)$
    fitness_calculation $(\mathcal{P}_c)$
endfor
optimize (p_{best})

Genetisches Routing (2)

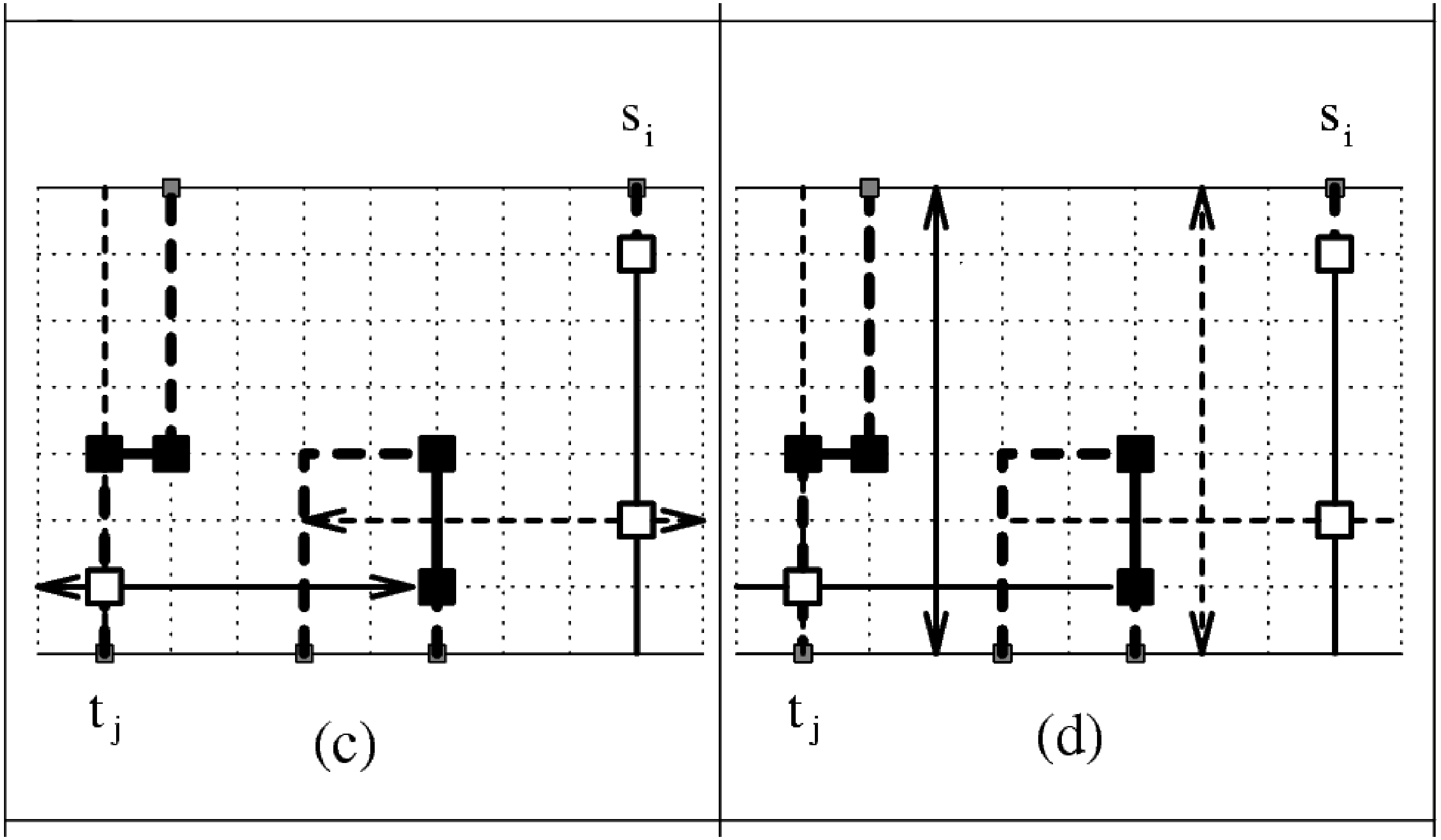
- Bevölkerung: $\mathcal{P}_c$.
- Lösung: Individuum (p_{best}).
- Qualität: Fitness.
- Selektion, Crossover, Mutation.



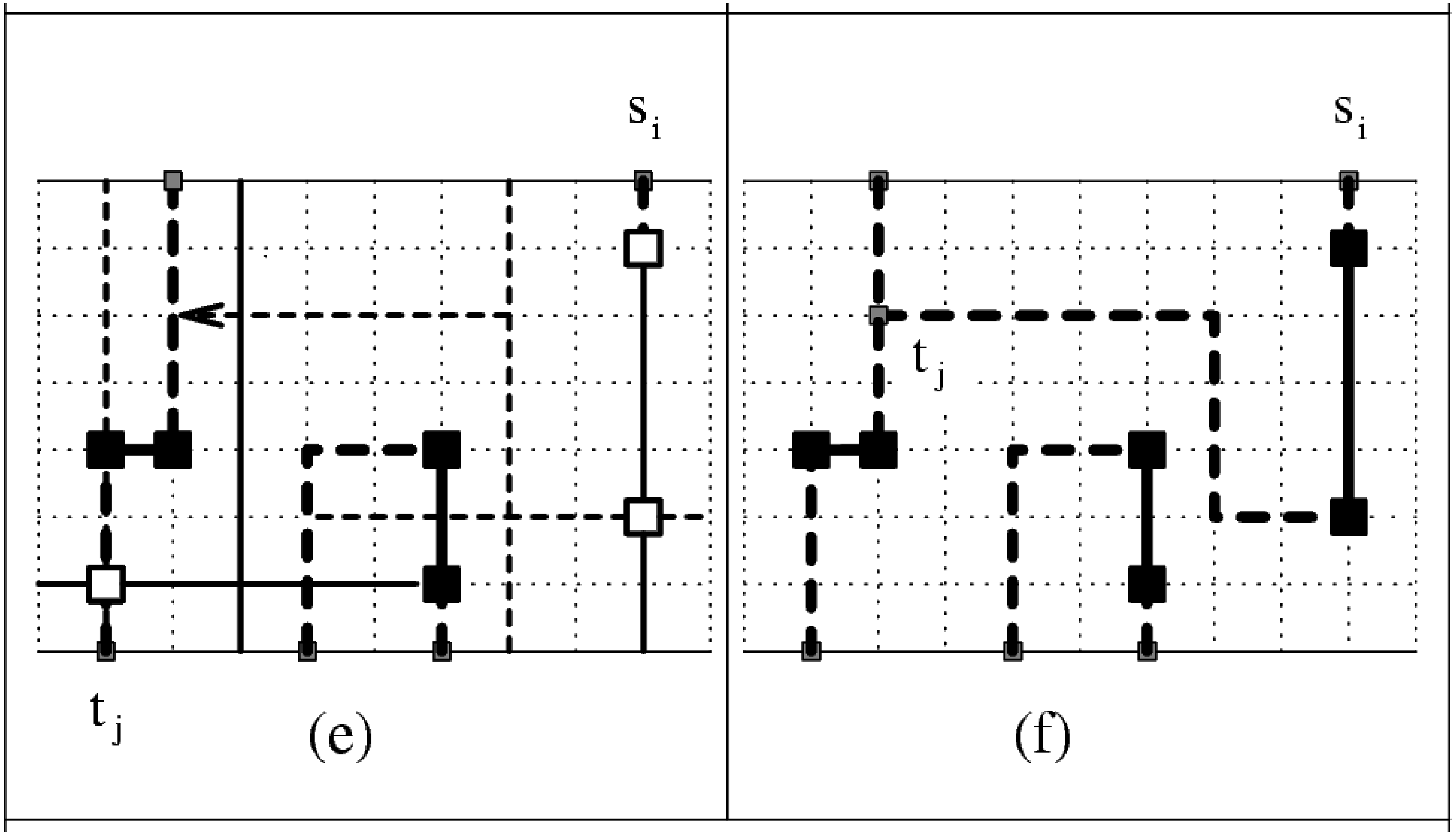
Channel-Routing



Channel-Routing (2)



Channel-Routing (3)



Benchmarks: Channel-Routing

Benchmark	System	Col.	Rows	Netlength	Vias
Yoshimura-Kuh channel	Yosh.-Kuh [34]	12	5	75	21
	Weaver [19]	12	4	67	12
	Monreale [11]	12	4	72	11
	Our work	12	4	70	11
Joo6_12	Weaver [19]	12	4	79	14
	Packer [12]	12	4	82	18
	Monreale [11]	12	4	84	13
	Our work	12	4	79	14
Joo6_13	Greedy [28]	18	8	194	38
	Weaver [19]	18	7	169	29
	Silk [23]	18	6	171	28
	Packer [12]	18	6	167	25
	Our work	18	6	165	25
Joo6_16	Weaver [19]	11	8	131	23
	Weaver[a] [19]	11	7	121	21
	Monreale [11]	11	7	120	19
	Our work	11	6	116	15
Burstein's difficult channel	Mighty [32]	13[b]	4	83	8
	Packer [12]	12	4	82	10
	Monreale [11]	12	4	82	10
	Our work	12	4	82	8

[a] interactively

[b] additional column in the middle of the channel

Zusammenfassung

- Genetische und Stochastische Verfahren sind sehr gut kombinierbar.
- Liefern qualitativ sehr gute Ergebnisse.
- Optimal für Parallelisierbarkeit.
- Untersuchungen haben gezeigt, dass aktuelle Werkzeuge noch sehr verbesserungswürdig sind.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!