

ディープサブミクロン配線の リピータ挿入最適化



東京大学生産技術研究所
井高康仁 桜井貴康

発表の概要



- 1、背景
- 2、配線遅延のモデル化
- 3、最適化手法
(Simulated Diffusion法)
- 4、最適化の例
- 5、まとめ

1、背景

1、配線の微細化に伴う配線遅延の増大

2、トランジスタ数の増加による配線量の増大

3、トランジスタ動作速度の向上

→ 配線の遅延時間が相対的に増大

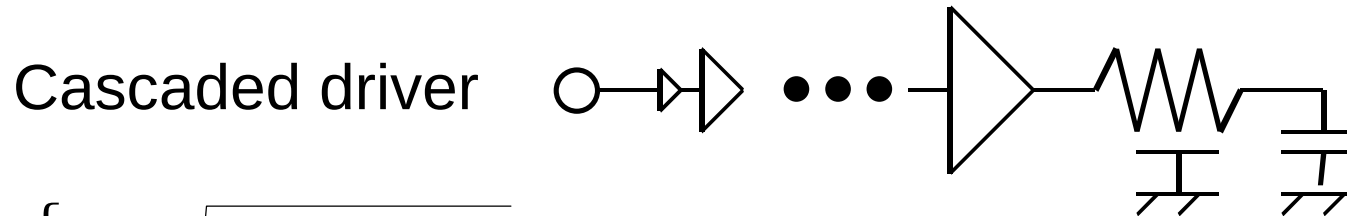
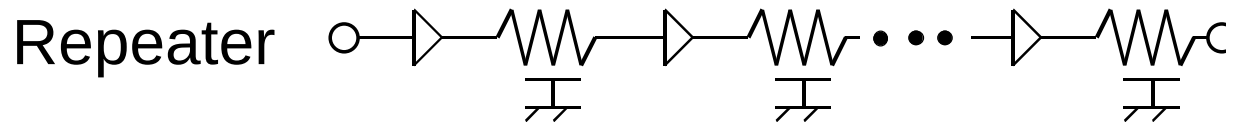
厚さ	k^{-1}
幅	k^{-1}
間隔	k^{-1}
抵抗/長さ	k^2
容量/長さ	1
RC遅延/長さ	k^2
RC遅延/ゲート遅延	k^3

配線遅延のスケーリング効果

配線の高速化はLSI設計にとって
必要不可欠

リピータ挿入による 配線遅延の高速化

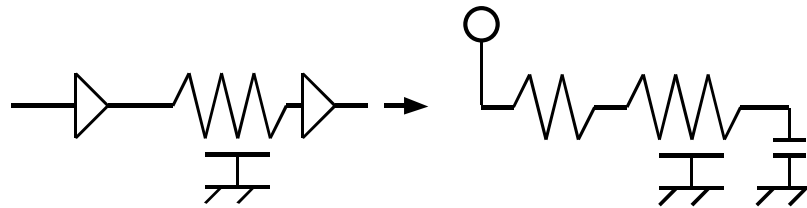
配線長の2乗に比例して遅延は増大
そのため途中にbufferを挿入して高速化を図る



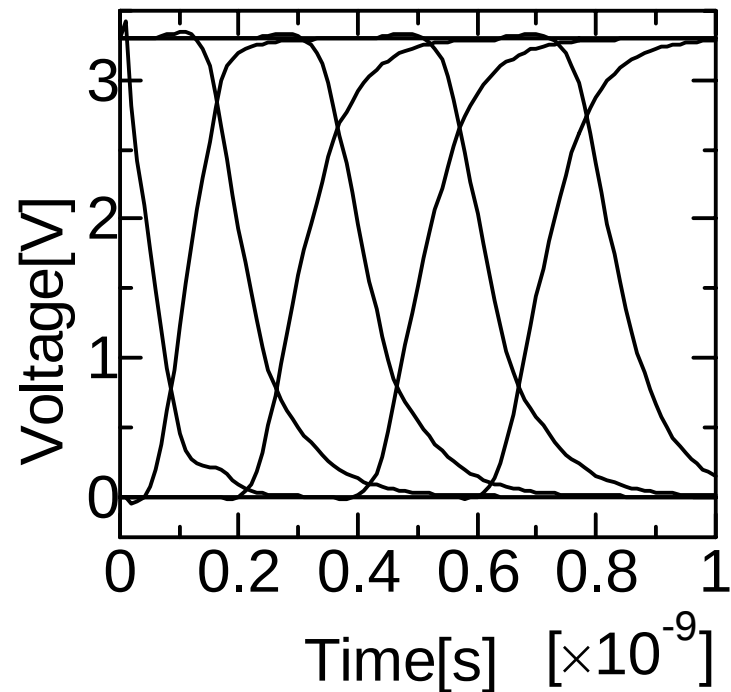
$$\begin{cases} k = \sqrt{\frac{R_{line}C_{line}}{2R_{tr}C_{tr}}} \\ h = \sqrt{\frac{R_{tr}C_{line}}{R_{line}C_{tr}}} \end{cases}$$

リピータ挿入の最適化問題を
simulated diffusionを用いて解析

2、遅延モデル



トランジスタを抵抗及び容量で近似



SPICEの電圧波形の例

配線は全てRC分布定数線路

電圧波形として以下の形を仮定

$$V(t) = V_{dd} \exp\left(-\frac{t-d}{\tau}\right)$$

Moment matching法により時定数を計算し、その和が最小となるようにリピータを挿入

3、 Simulated Annealing

局所的極小値(local minimum)の多い関数を最適化する時に用いる方法

局所的な極小値に陥ることなく広い範囲を探索することが可能

計算の初期過程では悪い値であっても採用するが、その確率は温度の低下とともに減少

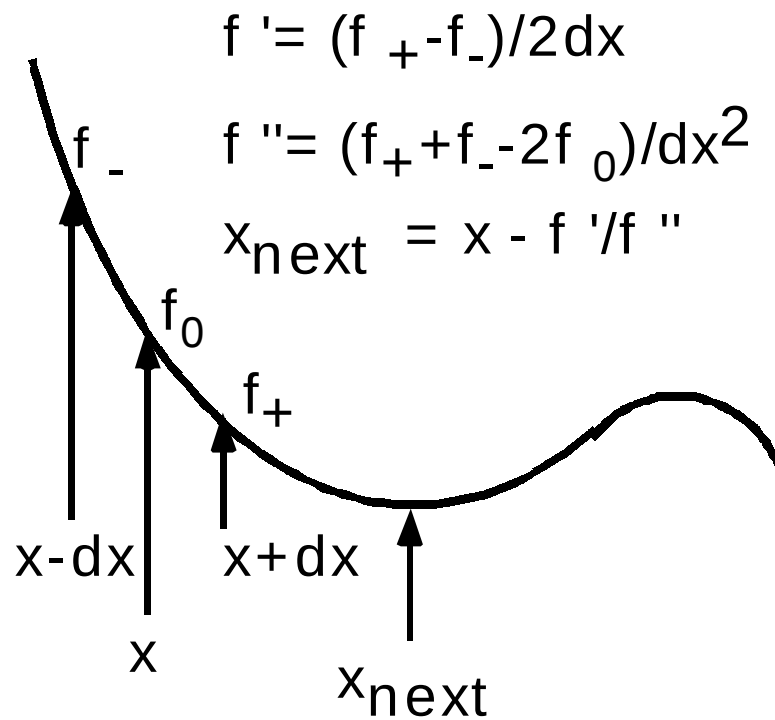
```
温度 T = 初期値
状態 X = 初期値
while( 収束するまで ){
    for( 一定回数 ){
        新しい状態 Y を生成
         $\Delta E = E(Y) - E(X)$ 
        if(  $\Delta E < 0$  ) then X = Y
        else{
             $P = \exp( - \Delta E / T )$ 
            R = ( 0, 1 ) の乱数
            if( R < P ) then X = Y
        }
    }
    温度冷却
}
```

Simulated diffusion

基本的な部分はsimulated annealingと同じ

連続的な変数を最適化するとき用いる手法

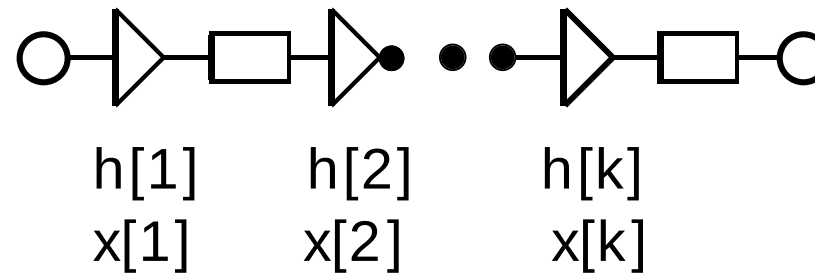
微分情報を使って最適解に見当をつけ、それをもとに新しい状態を生成



変数の設定

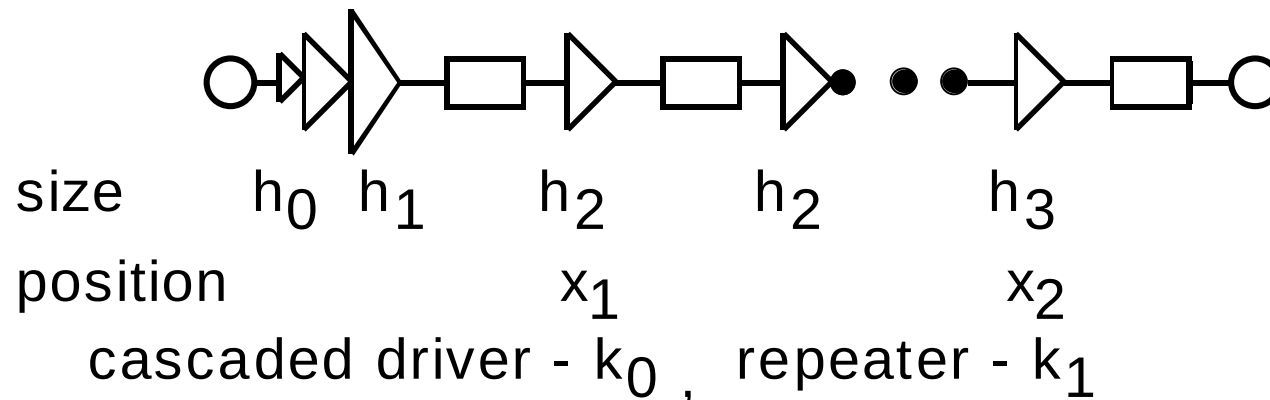
方法 1

- 全てのリピータの大きさ、位置を変数とする

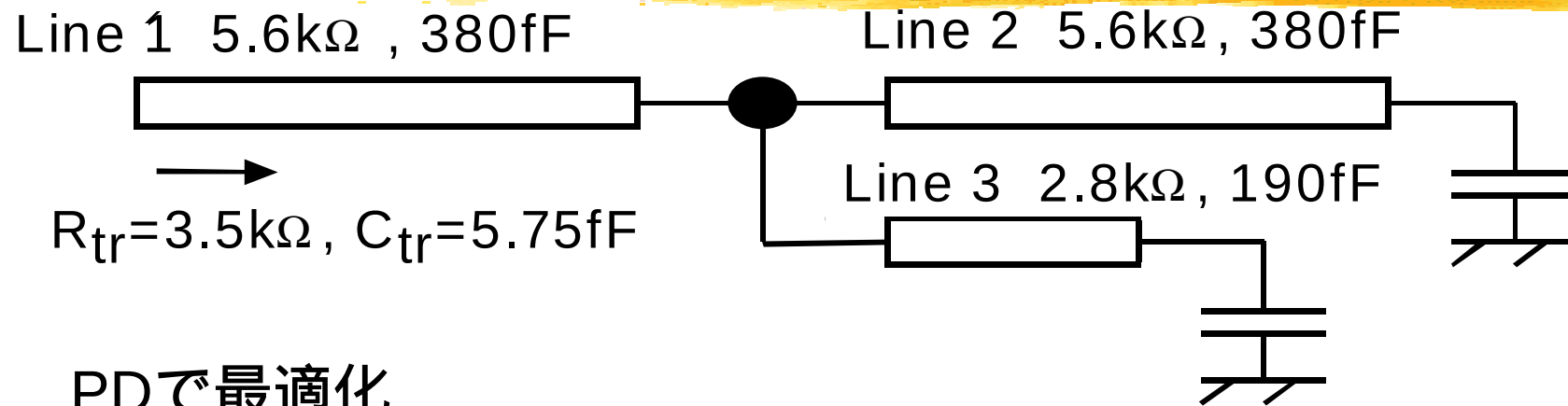


方法 2

- Cascaded driverの大きさの比、 repeaterの大きさを同じだと仮定して変数を削減



4、リピータ挿入最適化例 (ツリー構造回路)



Line 1		Line 2		Line 3	
Position	Size	Position	Size	Position	Size
0	2.42	0.185	4.29	0	2.01
0.072	4.66	0.438	4.29		
0.302	4.66	0.691	4.49		
0.532	4.66				
0.762	4.66				
0.992	4.63				

5、まとめ



- 1、リピータ挿入最適化問題を simulated diffusion 法によって解析した
- 2、二通りの変数の設定法を用いて、回路の D 及び PD で最適化を行い比較、検討を行った。