

스탠다드 셀의 자동배치 배선시스템에 관한 연구

(A Study on the Automatic Placement and Routing System for Standard Cell)

嚴 洛 雄*, 姜 佑 淳*, 朴 松 培*

(Nak Woong Eum, Gil Soon Kang and Song Bai Park)

要 約

본 논문에서는 near-optimal한 standard cell layout system의 구현에 관해 논한다. 이 system은 분할과 배치 그리고 배선의 3 단계로 구성되어 있으며, 각 단계에서 효과적인 알고리즘을 채택하여 layout을 구한다. 그리고 기존의 string placement algorithm을 효과적으로 수행시키는 방법을 제안하여 60% 정도 시간을 단축시켰으며, bonding pad는 그와 관계되는 배선길이를 최소로 하는 곳에 둔다. 그 결과 총 배선 길이는 20% 정도 단축되었으며, 사용된 feed-through cell의 개수와 track density에 있어서 개선이 있었다.

이 program은 PASCAL로 구현되었으며, VAX 11/750 UNIX에서 수행된다.

Abstract

This paper describes a near-optimal standard cell layout strategy which consists of three consecutive steps; partition, placement, and routing.

In the partition step, a given network is torn apart into many subnetworks such that each subnetwork contains as many cells as possible with minimum interconnections between subnetwork. In the placement step, the conventional string placement algorithm was modified. Also, bonding pads were placed such that their connections to the related cells are shortest.

As a result for the tested example, the placement time was saved by 60% and the total routing lengths were saved by more than 20% and substantial improvements in the number of feed-through cell and the track density were obtained.

The layout program is coded in PASCAL and implemented on a VAX 11-750/UNIX computer.

I. 서 론

집적회로 설계의 중요한 문제중의 하나는, 필요한 면적과 배선 길이를 최소한으로 할 수 있도록 components를 배치하고 그들 사이에서 배선을 행하는 것이

다. 이러한 배치와 배선 문제는 집적회로의 집적도가 증가할수록 인간에 의해 행해지는 것은 많은 비용과 시간을 필요로 하므로 자동화가 필요하다.

Standard cell은 cell이 높고, terminal의 방향과 위치 그리고 power line이 표준화가 되어 있으므로 layout의 자동화가 용이하다. 그리고 cell들은 row의 형태로 배치 되며 배선은 row와 row 사이의 채널에서 행하여진다.

*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept., of Elec. Eng., KAIST)
接受日字: 1987年 2月 16日

본 논문에서 설명하는 layout system은 분할, 배치, 그리고 배선의 단계로 구성 되어있다. 분할의 단계에서는 constructive algorithm을 사용하여 주어진 network을 많은 subnetwork으로 나눈다. 배치는 크게 초기 배치와 반복적인 배치 개선의 2 단계로 나누어져 있는데, cell을 2 차원 평면상에 배치한 후 총 배선길이와 채널 밀도를 줄이고 배선이 용이하게 되도록 배치 개선을 수행한다. 배선의 단계는 nets의 merge 개념을 이용하며, 하나의 net에 최소한의 수평 트랙을 할당함으로써 최소한의 via를 사용하여 terminal들을 연결한다.

II. 분할 (Partitioning)

배치 시스템의 첫번째 단계는 분할이다. 분할은 주어진 network을 많은 subnetwork으로 나누는 과정으로서 최적의 분할은 일반적으로 subnetwork 사이의 coupling이 최소화가 됨을 의미한다.¹²

Graph로 모형화된 회로의 전체 node set을 V 라고 표현하였을 때 어떤 node set V_p 에서 node set V_q 로의 연결비용(connection cost) $f(V_p, V_q)$ 는 V_p 에 있는 node에서 V_q 에 있는 node로 가는 edge weight의 합으로 정의한다.

만약 V_p 와 V_q 가 같을 때의 연결비용 $f(V_p, V_p)$ 를 내부 연결비용(internal connection cost)라고 하며 $fi(V_p)$ 로 나타낸다. 그리고 V_q 가 $V - V_p$ 일때 $f(V_p, V - V_p)$ 를 외부 연결비용(external connection cost)라고 하며 $fe(V_p)$ 로 나타낸다.

이상으로부터 어떤 node set V_p 에 대한 연결비용(connction index) $C(V_p)$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$C(V_p) = fi(V_p) / fe(V_p)$$

연결비용 $C(V_p)$ 가 클 수록 node set V_p 로 구성되는 graph내부에서의 연결도가 높음을 의미한다.

그러나 단순히 현재의 subgraph $G(V_p)$ 의 연결비용 $C(V_p)$ 보다 어떤 node vi 를 포함시켜 생각한 subgraph $G(V_p + vi)$ 의 연결비용 $C(V_p + vi)$ 가 클 때 vi 를 subgraph $G(V_p)$ 에 포함시키면 seed의 선택에 따른 영향이 생길 수 있으므로 아래의 heuristic rule을 사용하여 분할한다.

$$C'(V_p + vi) > C(V_p) + \delta$$

where

$$C'(V_p + vi) = \frac{fi(V_p) + f(V_p, vi)}{fe(V_p + vi)}$$

$$\delta = \begin{cases} 1/2f(V_p), & \text{for } 0 < C(V_p) < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

위의 rule을 사용해서도 단지 2 개의 node만을 가지는 subgraph가 생길 수 있으므로 이러한 subgraph는

무시한다. 알고리즘은 아래와 같다.

(1) Seed를 선택한다. 즉 seed가 node set V_p 를 구성하는 element이며 subgraph의 초기상태이다.

(2) V_p 의 근처에 있는 node set $V_q = \{v1, v2, v3, \dots, vi, \dots, vn\}$ 에 대해 $C'(V_p + vi)$ 가 가장 크면서 rule을 만족하는 node를 찾아서 V_p 에 포함한다.

(3) 과정 2를 연결지수가 감소하거나, 또는 V_p 의 node 갯수가 상한에 도달할 때까지 반복한다.

(4) Node 갯수가 2 개까지 밖에 증가하지 못한 subgraph는 무시한다.

(5) 과정 1-4를 모든 node가 어떤 subgraph에 포함될 때까지 반복한다.

이렇게 하여 주어진 회로는 분할되어지며 이 알고리즘의 complexity는 $O(V, E)$ 이다. 여기서 V는 총 node의 수이고 E는 총 edge 수이다.

III. 초기배치

초기 배치의 과정에서는 분할된 network의 각 subnetwork을 2 차원 평면상에 배치한다. 각 subnetwork의 초기위치를 결정하기 위해 사용하는 알고리즘은 linear ordering & folding이다.¹³ Subnetwork의 초기 위치가 결정된 후 subnetwork내의 각 cell의 위치를 결정한다. 아래의 배치과정에서 subnetwork을 super-cell이라 칭한다.

Linear ordering의 목적은 이미 선택 되어진 super-cell들과 아직 선택되어지지 않은 super-cell들과의 연결을 최소로 하면서 super-cell들을 일차원적으로 배열하는 것이다. 즉, 총 net cut을 최소로 하는 것이다. 여기서 net cut은 서로 인접한 두 super-cell을 분리시키는 평면에 의해 잘리는 net의 갯수를 의미한다. 이러한 목적에 따라 seed는 가장 연결도가 낮은 것이 선택된다.

Linear ordering한 결과 모든 super-cell들은 그림 1(a)와 같이 하나의 row에 배치된다. Folding 에서는 한 row로 배치된 super-cell들을 여러 row로 접어서 그림 1(b)와 같이 2 차원 평면상에 배치한다.

Folding되는 row의 갯수는 user가 지칭할 수 있으며, 그렇지 않을 때는 chip이 정사각형의 형태가 되도록 row의 갯수를 계산한다. Chip의 면적은 배치된 cell들의 면적과 배선 영역의 합으로 생각한다. Standard cell layout에서 배선 영역은 chip 면적의 50~70%¹⁴ 정도가 보통이므로 여기서도 배선 영역이 50~70%의 값을 가진 것으로 가정하고 row의 수를 결정한다.

Super-cell들의 위치가 결정되어진 후 super-cell내의 각 cell들에 대한 위치를 결정한다. 즉, cell과 cell 사이의 연결관계에 따라 super-cell 내에 있는 cell들

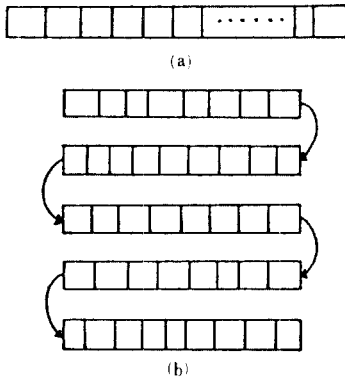


그림 1. Linear ordering과 folding

- (a) 선형배열
- (b) 폴딩

Fig. 1. Linear ordering & folding.
 (a) Linear ordering.
 (b) Row folding.

을 배열하는 과정으로서 반복적으로 수행한다.

첫번째 시행에서는 cell들의 위치는 비정기이므로 cell이 속한 super-cell의 중앙 값을 그 cell의 좌표로 생각한다. 그래서 어떤 super-cell 내의 각 cell에 대한 배선 길이를 구하여 그 길이의 합을 가장 줄일수 있도록 cell을 배열하게 된다. 이 배선 길이는 어떤 super-cell 내에 있는 어떤 cell A에서 다른 super-cell에 있는 cell B로 가는 신호선이 있을 때, A와 B를 포함하는 가장 작은 면적의 직사각형에서 가로 방향의 길이로서 정의하며, cell A가 가지는 모든 신호선에 대해서 그 길이를 더 한 것이다. 이 값을 더 하여갈 때 A의 왼쪽에 있는 cell에 대한 배선 길이는 더하지 않고 빼준다. 배선 길이를 구할때 가로 방향 즉, X축 상분만 생각하는 이유는 cell row를 교환하지 않고 cell을 배열하기 때문이다.

위와 같은 방법으로 하나의 super-cell 내에 있는 모든 cell에 대해서 배선 길이를 구한 후 그의 크기에 따라서 cell들을 배열하게 되는데, 그 순서는 가장 큰 배선 길이를 가지는 cell을 super-cell의 가장 오른쪽에 두는 것으로 부터 시작한다.

IV. 반복적인 배치개선

초기 배치가 끝난 후 배치 개선을 수행한다. 배치 개선의 목적은 총 배선 길이를 최소화하는 것으로 하며 general force directed relaxation 알고리즘을 사용한다.¹⁰ 총 배선길이는 모든 net의 배선 길이의 합이며, 각 net의 배선길이는 그 net에 연결된 모든 cell을 포함하는 최소 직사각형의 half perimeter로 구한다.

배치개선이 끝나면 각 net에 대해 채널을 할당하는 global routing을 행한다.

1. General Force Directed Relaxation

어떤 cell에 대한 배선 길이가 가장 짧아지는 위치를 median이라고 말한다. 그래서 각 cell에 대해 median을 구하고, 그로부터 몇 개의 후보 위치를 결정한다 다음, 각 후보 위치로 cell을 이동해 보아서 그 cell에 대해 배선 길이가 가장 짧아지는 위치에 cell을 둔다. 따라서 원래 그 위치에 있던 cell은 밀려나오게 되는데 이 cell에 대해서도 위와 같은 방법으로 옮겨갈 위치를 결정하게 된다. 만약 후보 위치에서 더 이상의 개선이 일어나지 않거나 반복 횟수가 제한값에 도달하면 이 과정을 멈춘다. 이것이 끝난후 다른 cell을 선택하여 위의 과정을 수행하는데 이것을 회로의 모든 cell에 대해 적용시킨다.

일반적으로 후보 cell의 갯수와 반복 횟수가 클수록 좋은 결과를 얻을 수 있는데 계산시간은 이를 값에 따라서 크게 영향을 받으므로, 계산시간을 고려해서 후보 cell의 갯수와 반복 횟수는 적당한 값이 선택되어진다. Median과 후보 위치를 결정하는 방법은 다음과 같다.

어떤 cell M이 n개의 net를 가진다고 생각한다. 각 net에 대해서 그 net에 연결된 모든 cell을 포함할 수 있는 가장 작은 면적의 직사각형을 그린다. 각 직사각형에서 x와 y의 최소 좌표를 (xi^a, yi^b), x와 y의 최대 좌표를 (xi^a, yi^b)로 표시할 때 M에 관계되는 배선 길이 F(x, y)는 아래의 같이 쓸 수 있다.

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n (f_i(x) + f_i(y)) \tag{1}$$

where

$$f_i(x) = \begin{cases} xi^a - x, & x < xi^a \\ 0, & xi^a \leq x \leq xi^b \\ x - xi^b, & x > xi^b \end{cases}$$

$$f_i(y) = \begin{cases} yi^b - y, & y < yi^b \\ 0, & yi^a \leq y \leq yi^b \\ y - yi^a, & y > yi^a \end{cases}$$

따라서 F(x, y)가 최소로 되는 (x, y) 좌표가 median이다. 그리고 식(1)은 아래와 같이 x성분과 y성분이 따로 계산될 수 있다.

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n (f_i(x) + f_i(y))$$

$$= \sum_{i=1}^n f_i(x) + \sum_{i=1}^n f_i(y)$$

그래서 x축 방향의 배선 길이의 y축 방향의 배선 길이는 독립적으로 구해낼 수 있음을 알 수 있다. 그리고 f_i(x)는

$f_i(x) = 1/2 (|x - xi^a| + |x - xi^b| - (xi^b - xi^a))$
 로 표현될 수 있다. $f_i(x)$ 가 최소가 되는 x 를 구할 때
 때 $(xi^b - xi^a)$ 는 상수이므로 고려하지 않아도 된다. 따
 라서 $f_i(x)$ 를 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$f_i'(x) = |x - xi^a| - |xi^b|$
 위 식은 x 로부터 xi^a 까지의 거리와 xi^b 까지의 거리
 의 합을 의미한다.

그래서 $F(x, y)$ 의 최소 값을 찾는 문제를 x 축 방
 향에서만 생각한다면, x 로부터 각 xi^a 와 xi^b ($i=1, 2, \dots, n$)
 까지의 거리의 합을 최소로 하는 x 좌표를 찾는 문제
 이다. 이러한 (x, y) 좌표는 쉽게 찾아질 수 있고, 이
 위치에서 M 에 관계되는 배선 길이가 가장 짧아질 수
 있다. 그러나 단순히 배선 길이를 구하고 있기 때
 문에 median 근처에서 몇개의 후보 위치를 더 선정하
 게 된다. 이 후보 위치는 M 에 관계되는 배선 길이가
 짧아질 수 있는 순서대로 구한다.

2. Global Routing

Global routing에서는 각 net에 대해 채널을 할당하
 다. 그리고 여러 cell row에 걸쳐있는 net가 연결되기
 위해 feed-through cell을 필요로 하면 그것을 할당하
 다. 또한 bonding net를 고려한다.

어떤 net가 한 cell row에만 존재할 때 unirow net,
 여러 cell에 걸쳐 존재할 때 multirow net라고 부른다.
 어떤 unirow net에 채널을 할당하기 위해서 사용하
 는 방법은 다음과 같다.

(1) 지금까지 채널이 할당된 net들에 대해서 그 cell
 row의 상하의 채널에서 채널밀도를 구한다. 그래서 이
 채널 밀도가 증가하지 않는 채널에 unirow net를 할
 당한다.

(2) 만약 상하채널에 미치는 영향이 같을 때는 채널
 의 밀도를 비교하여 그 값이 작은 쪽으로 할당한다.

(3) 만약 채널의 밀도가 같을 때는 각 채널에 할당
 된 net의 수를 비교하여 그 값의 작은 곳에 할당한다.

Multirow에 대해서는 다음과 같이 할당한다.

(1) 한 multirow net에 속하는 터미널 중에서 가장
 위쪽 cell row에 존재하는 것에 대해서는 그 cell row
 의 아래로 인접한 채널을 할당한다. 그리고 가장 아래
 있는 cell row에 존재하는 터미널에 대해서는 그 cell
 row의 위로 인접한 채널을 할당한다.

(2) 그 net가 연결된 cell row 중에서 가장 위 row
 와 가장 아래 row를 제외한 곳에 존재하는 터미널들은
 그 row에 인접한 상하 채널중에서 덜 붐비는 채널
 로 모두 같이 할당된다.

(3) 만약 어떤 multirow net가 feed-through cell을
 필요로 하는 cell-row를 가지면 그것을 할당한다.

Feed-through cell의 위치 결정은 그것을 필요로 하는
 cell row의 위 cell row와 아래 cell row에 있는 cell중
 그 net에 연결되어지야 하는 cell들의 x 좌표의 중심 값으
 로 한다.

Bonding net에 대해서는 아래의 같은 방법으로 채널
 을 할당한다. Pad에 연결되어지는 터미널이 가장 위
 cell row나 가장 아래 cell row에 있는 net에 대해서
 그 곳에서 직접 pad로 연결하도록 한다. 그 외의 cell
 row에 있는 bonding net에 대해서 external로 나가는
 거리가 가장 작은 터미널이 있는 채널에서 pad로 연
 결한다.

3. Modified String 배치

String 배치는 각 채널에서 배선을 용이하게 하고,
 채널밀도를 줄이고, 또한 총배선 길이를 감소시키기
 위해 사용되는 알고리즘이다.¹⁵ String 배치에서 행해
 지는 동작(operation)은 인접한 cell끼리 서로의 위치
 를 교환해 보는 "cell exchange"와 각 cell들을 그 cell
 의 중심을 지나는 Y축에 대하여 반전 시켜보는 "cell
 reflection"과 그리고 논리적으로 대응한 터미널 거리
 그 터미널에 연결된 net를 교환해 보는 "terminal
 exchange"의 세가지 작용으로 구성된다. 그래서 이러
 한 동작을 순차적으로 각 cell row의 cell들에 대해서
 실시시키면서 각 동작에 따른 효과를 평가하여 배치계
 획을 수행한다.

한 채널의 주어진 X좌표에서의 국부 밀도(local den-
 sity)는 그 X좌표에서 채널을 통과하도록 하는 수직선
 을 가로 지르는 net의 갯수이다. 이 국부 밀도의 최대
 값을 채널 밀도라 하며, 국부밀도와 채널밀도가 같은
 X좌표의 수를 span이라고 한다. 그리고 채널의 zone
 표현은 채널의 각 X좌표에서 채널을 통과하도록 하는
 수직선을 가로지르는 net들의 집합중에서 다른 집합의
 부분 집합에 속하지 않는 집합들을 말한다.

배치 개선을 수행할 채널을 살펴보면 span은 보통
 작은 값을 가지고 있으며, 국부밀도는 채널에서의 좌
 표에 따라 크게 변하고 채널의 길이에 비해 좁은 영역
 에서만 채널 밀도와 비슷한 값을 가진다. String 배치
 를 통해서 이러한 영역에서 채널 밀도를 줄일 수 있
 으므로, 채널에서 범접 영역을 정의하여, 이 영역에 접
 하는 cell row에서 배치 개선을 수행함으로써 수행시
 간을 크게 단축할 수 있다. 채널의 범접 영역은 zone
 에 속하는 nets의 수와 채널 밀도의 차가 2보다 작은
 zone으로 정의한다.

배치개선을 목적으로 행하는 동작은 cell exchange,
 cell reflection, 그리고 terminal exchange의 순서로
 행하며, 배선 길이도 목적함수에 포함시킨다. Cell row

i에서 string 배치가 행해질때 목적함수 F(i)는

$$F(i) = K1\{CD(i-1) + CD(i)\} + K2\{S(i-1) + S(i)\} + K3L_s$$

where

$$K1 > K2 > K3$$

와 같이 표현된다. 채널 i-1과 채널i는 cell row i에 상하로 인접한 두 채널이다. CD(i-1)과 CD(i)은 채널 i-1과 i에서의 채널 밀도를 의미한다. 그리고 S(i-1)과 S(i)은 채널 i-1과 i에서 일어난 span의 수이며, L_s는 배선 길이를 의미한다.

위의 과정이 모든 cell row에 대해 더 이상의 개선이 없을 때 까지 수행되고 난 후, 배선을 용이하게 할 목적으로 cycle을 해결한다. 위의 목적함수F(i)에서 cycle을 포함시키지 않은 이유는 cycle이 일어난 위치는 쉽게 찾을 수 있을 뿐 아니라, cycle을 풀 수 있는 위치도 쉽게 찾을 수 있기 때문이다.

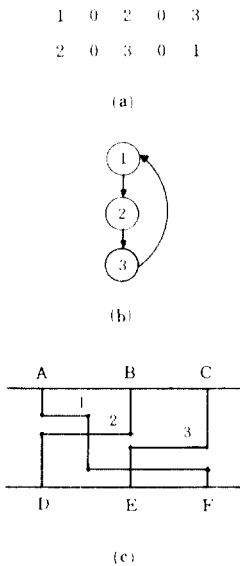


그림 2. Cycle이 일어난 예
(a)네트 리스트
(b)수직제한 그래프
(c)배선의 예

Fig. 2. happen cycle.
(a) Net list.
(b) V. C. G.
(c) Example of routing.

그림2(a)와 같이 주어진 net-list에 대해 그림2(b)와 같은 수직제한 그래프가 그려진다. 그리고 그림2(c)와 같이 dog-leg를 사용하여 배선될 수 있다. 그러나 dog-leg 의

사용은 배선문제를 어렵게할 뿐 아니라 via를 많이 사용함으로써 전기적으로도 좋지 않다. 그래서 가능한 배치단계에서 이러한 문제를 해결해 주어야 하는데, 그림 2(c)에서 보면 cycle이 풀려질 수 있는 터미널의 위치는 A, B, C, D, E 그리고 F의 6곳이다. 그래서 그 중의 한 터미널에서라도 net가 이동될 수 있다면 cycle은 풀려질 수 있다. 그래서 cycle이 풀려질 수 있는 터미널이 속한 cell들에 대해 terminal exchange, cell reflection, 그리고 cell exchange를 순차적으로 적용시켜 cycle을 해결한다. 이때 제약 조건은 채널 밀도가 증가를 하지 않아야 한다는 것이다.

V. 채널배선

2차원 평면상에서 cell들의 위치가 완전히 결정되어진 후 cell row 사이의 채널 영역에서 채널 배선을 행한다.⁴⁾

본 system에서 사용하는 채널배선 알고리즘은 기본적으로 한 net에 하나의 수평 트랙을 할당한다. 따라서 최소한의 via를 사용하여 연결을 행한다.

하나의 cell row를 살펴보면 standard cell의 증가 터미널 분성때문에 사용되지 않는 터미널이 많이 존재한다. 이러한 이유 때문에 수직 제한 그래프에서 가장 긴 경로의 깊이(depth)는 대부분의 경우 zone 표현에서의 최대 밀도보다 작은 값이므로, 하나의 net에 하나의 수평 트랙을 할당하는 알고리즘이 standard cell layout system의 배선 알고리즘으로 적당하리라 생각한다. 만약 가장 긴 경로의 깊이가 zone 표현에서의 최대 밀도보다 큰 값을 가진다면 dog-leg가 필요하게 되고, 따라서 많은 via를 사용하게 된다.

그리고 배치 개선의 단계에서 cycle이 해결되지 않고 채널에 존재하는 경우에는 dog-leg를 할당하여 cycle을 해결한다. Cycle을 해결하기 위해서는 cycle이 일어난 net중 하나의 net에 속하는 터미널 중의 일부를 새로운 net에 할당해야 하는데, 이를 위해서 floating terminal이 아래와 위에 동시에 존재하는 column이나 floating terminal 2개가 서로 인접해 있는 column을 찾게 된다. 그래서 그곳에서 dog-leg를 가지게 한다.

Dog-leg를 사용해서 cycle을 해결한 경우를 그림 3과 그림 4에서 보이고 있다.

그림 3(a)와 같이 floating terminal이 아래 위로 존재할 경우에는 그림 3(b)처럼 cycle이 일어난 net중의 하나에 대해 새로운 net를 할당하여 각 net가 하나의 수평 트랙을 가지도록 한다. 그래서 최종적인 출력의 형태는 그림 3(c)와 같은 형태를 가지게 된다.

그림 4(a)와 같이 floating terminal이 인접하여 존재

할 경우에는 새로운 net를 그림 4 (b)와 같이 할당하여 각 net가 하나의 수평 트랙을 가지도록 한다. 그래서 최종적인 출력의 형태는 그림 4 (c)와 같은 형태를 가지게 된다.

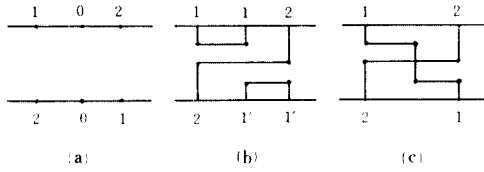


그림 3. Floating terminal이 아래 위로 존재할 때
Fig. 3. up-down floating terminal.

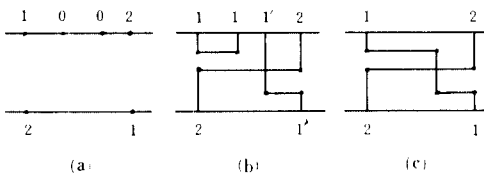


그림 4. Floating terminal이 인접할 때
Fig. 4. Adjacent floating terminal.

배선의 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) 주어진 net-list에 대해 zone 표현과 수직세약 그래프를 구한다.
- (2) 수직 세약 그래프를 살펴 보아서 cycle이 일어났는가를 판단한다. Cycle이 있을 경우에는 dog-leg를 가진 column에 새로운 net를 할당한다.
- (3) 어떤 zone i에서 끝나는 net와 그리고 그 이전 zone에서 아직 merge가 되지 못한 net들 중, zone (i-1)에서 시작하는 net와 merge시켰을 때 수직세약 그래프의 가장 긴 경로의 길이를 최소한으로 증가시키는 쌍을 찾아서 merge한다.
- (4) 모든 zone에 대해 과정 3을 수행하여 net를 merging한다.

위에서 merging이란 nets를 같은 수평 트랙에 할당한다는 말이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 standard cell을 자동적으로 배치 배선하는 시스템을 실현하였으며 이 시스템은 크게 분할, 배치, 그리고 배선의 단계로 구성되어 있다.

이 시스템의 결과는 분할의 과정없이 cell들을 초기 배치한 후, 3row로 제한된 영역에서 pairwise interchange와 string 배치를 수행하는 layout system과 비

교되었는데, 전반적으로 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 예제회로에 대한 특성과 실험결과를 표 1과 표 2에 보았다. 결과표에서 SCL이 본 논문에서 구현한 시스템이다.

표 1. 예제 A
(a) 특성
(b) 실험결과

Table 1. Example A.
(a) Characteristics.
(b) Results.

| # of cells | # of nets | av. cell wid. | av. pins/cell | av. cells/net |
|------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| 67 | 81 | 3.73 | 3.41 | 3.04 |

(a)

| Process | CPU time | Ls | # of FT | # of cycle | total ch.den |
|---------|----------|------|---------|------------|--------------|
| STN | 1445.384 | 2445 | 7 | 0 | 34 |
| SCL | 407.000 | 1438 | 5 | 0 | 3333 |

(b)

표 2. 예제 B
(a) 특성
(b) 실험결과

Table 2. Example B.
(a) Characteristics.
(b) Results.

| # of cells | # of nets | # of neav. cell wid. | av. pins/cell | av. cells/net |
|------------|-----------|----------------------|---------------|---------------|
| 270 | 291 | 4.06 | 3.55 | 2.95 |

(a)

| Process | CPU time | Ls | # of FT | # of cycle | total ch.den |
|---------|-----------|-------|---------|------------|--------------|
| STN | 12350.134 | 11895 | 50 | 0 | 82 |
| SCL | 4921.134 | 9670 | 19 | 0 | 72 |

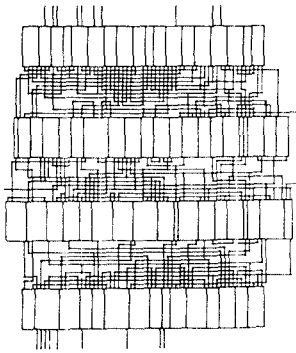
(b)

분할의 과정에서는 cell을 2차원 평면상에 배치하기 전에 서로 가까이 있어야 하는 cell들을 grouping해 줌으로써, 배치 개선의 작업 반복 횟수로도 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 배치 개선의 효과적인 알고리즘을 도입한 결과, 총 배선 길이는 기존의 시스템에 비해 평균적으로 20% 정도 줄어들었다. 또한 string 배치에 필요한 시간을 줄일 수 있는 방법을 세

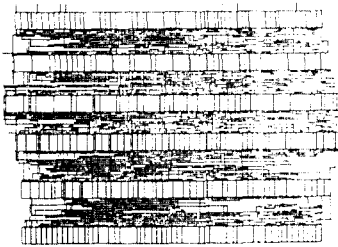
안하여 계산시간을 60% 이상 줄였다. 그리고 bonding net의 배선을 고려하여 cell을 배치하고 배선하였다.

그리고 아래에 실험한 두 회로의 layout을 보였다.

앞으로 standard cell library를 효과적으로 연결하여 실제적인 layout 문제를 다룰 수 있게 됨을 기대한다.



예제 A의 layout



예제 B의 layout

참 고 문 헌

- [1] Satoshi Goto. "An Efficient Algorithm for the Two-Dimensional Placement Problem in Electrical Circuit Layout," *IEEE Trans. on Circuits and System*, vol. CAS-28, no. 1, Jan. 1981.
- [2] Chin Sup Park and Song Bae Park. "A Network Partitioning Using the Concept of Connection Index-Algorithm and Implementation," *KIEE*, Nov. 1984.
- [3] Sungho Kang. "Linear Ordering and Application to Placement," *Proc. 20th Design Automation Conf.*, pp. 457-463, 1983.
- [4] Dunlop, A. E. and Kornighan, B.W.U.A. "Procedure for Placement of Standard Cell VLSI Circuits," *IEEE Trans. CAD*, vol. CAD 4, no. 1, pp. 92-92, Jan. 1985.
- [5] G. Persky, "PRO-An Automatic string placement Program for Polycell Layout," *Proc. 13th Design Automation Conf.*, pp. 417-424, 1976.
- [6] Yoshimura, T., Kuh, E. S., "Efficient Algorithm for Channel Routing," *IEEE Trans.* vol. on CAD-1.1 of pp. 25-35, 1982.
- [7] Gil Soon Kong and Chong Min Ksung, "A Study on the Automatic Placement System for Standard Cell," M.S thesis, KAIST, Seoul, Korea, Feb. 1986.
- [8] Nak Woong Eum and Soug Bai Park, "A study on the automatic layout system for standard cell," M.S thesis, KAIST, Seoul, Korea, Feb. 1987