

새로운 Over-the-Cell 배선시스템

(A New Over-the-Cell Routing System)

李昇昊*, 鄭正和*

(Seung Ho Lee and Jong Wha Chong)

要 約

본 논문에서는 채널의 배선 밀도 뿐만 아니라 셀 영역 내의 배선 밀도도 효과적으로 감소시키는 새로운 over-the-cell 배선 시스템을 제안한다.

Over-the-cell 배선 시스템은, 일반적으로 셀 영역에서의 배선 과정, 채널에서 배선될 터미널의 선택 과정, 그리고 채널 배선 과정으로 구성된다. 본 논문에서는 셀 영역에 배선할 신호선을 효율적으로 선택하기 위하여 intersection graph 상에 채널의 배선 밀도와 다른 신호선과의 교차 관계를 고려한 웨이트를 부여한다. 선택된 신호선이 feedthrough나 셀 내부 로직을 형성하는 메탈층과 교차할 경우, maze 알고리즘을 사용하여 셀 영역에 배선한다. 또한 minimum weight spanning tree를 이용하여 채널에 배선할 터미널들을 효율적으로 선택하여 채널 밀도를 감소시킨다. 채널 배선은 HAN-LACAD-G의 채널 배선기를 사용한다.

Benchmark 데이터를 사용한 실험과 게이트 어레이 레이아웃 시스템에 적용함으로써 본 over-the-cell 배선 시스템의 효용성을 보인다.

Abstract

A new over-the-cell routing system is proposed in this paper. The proposed system efficiently reduces not only the channel density but also the routing density in cell region.

Generally, the over-the-cell system consists of three phases. Namely, over-the-cell routing, terminal selection and channel routing. In this paper, to select the nets to be routed over the cells, weights are assigned on the intersection graph considering both the channel density and the intersection relations among other nets. When selected nets are blocked by feedthroughs or metal layers for internal logic, they are routed by maze algorithm. Also, in order to reduce channel density, the terminals to be routed in a channel are selected using the minimum weight spanning tree. Channel routing is carried out with a channel router of HAN-LACAD-G.

The effectiveness of the over-the-cell routing system is shown by the experiments with benchmark data and its application to the gate array layout system.

*正會員, 漢陽大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Hanyang Univ.)
接受日字: 1990年 10月 13日

I. 서 론

칩의 크기는 성능 뿐만 아니라 제조공정에서 수율과 가격에도 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 칩의

면적을 줄이기위해 배치^[1,2,3]와 배선^[4,5,6]을 비롯한 레이아웃의 여러분야에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 배선과정에서는 칩에서 많은 면적을 차지하고 있는 배선면적을 줄이기위한 연구 방향을 크게 두 갈래로 나누어 볼 수가 있다. 첫째 기존의 technology와 배선 모델하에서 더욱 성능이 우수한 알고리즘 자체를 개발하는 것이고,^[5,6] 둘째는 다층 배선^[7,8]이나 over-the-cell 배선^[9,10,11]과 같이 더 복잡한 배선 모델을 이용하는 것이다.

Over-the-cell 배선의 목적은, 전체 칩에서 배선영역이 차지하는 면적이 크므로 배선 영역의 배선 밀도를 감소시킬 수 있는 신호선을 셀 영역에서 배선함으로써 배선 면적을 감소시켜 칩의 전체 면적을 줄이는데 있다.

기존의 발표된 논문에는 Deutsch 등이^[9] I²L과 LST²L Logic array를 대상으로 셀 영역에서 single layer planar routing을 한 다음에 그 결과를 이용하여 채널에서 배선을 하는 방법을 발표하였고, Yoichi 등이^[10] 신호선에 대하여 set division constraint graph를 만들고 상부 셀 영역, 채널 그리고 하부 셀 영역을 세 개의 색으로 정의하여 그래프를 coloring 함으로써 각 신호선을 세 개의 배선 영역중 하나에 할당하는 알고리즘을 발표하였다. 그러나 이들 방법들은 배선 영역의 배선 밀도를 효과적으로 감소시키지 못했다.

최근에는 Liu^[11] 등이 신호선간의 교차 관계를 표현한 intersection graph로부터 maximum independent set를 빠른 시간내에 구하기 위해 circle 그래프를 사용하여 셀 영역에 할당할 신호선을 선택하는 방법을 발표하였다. 그러나 이방법은 배선 영역에서의 배선 밀도는 효과적으로 감소시켰으나 셀 영역에서의 배선 밀도는 효과적으로 감소시키지 못했다.

따라서 본 논문에서는 신호선에 대한 intersection graph 상에 채널의 배선 밀도, 신호선의 길이와 다른 신호선과의 관계를 고려하도록 웨이트를 부여함으로써 채널 배선 영역의 최대 배선 밀도를 감소시킬 뿐만 아니라 셀 영역에서의 배선 밀도도 효과적으로 감소시킬 수 있는 새로운 over-the-cell 배선 시스템을 제안한다. 그리고 셀 영역에 feedthrough와 같은 장애물이 존재하는 경우를 처리하기 위하여 maze 알고리즘을 이용하며, minimum weight spanning tree를 사용하여 over-the-cell 배선한 결과로부터 채널에 배선할 터미널들을 효율적으로 선택함으로써 채널 배선 밀도의 감소를 기한다.

II. Over-the-Cell 배선 시스템

1. 적용모델

VLSI의 레이아웃 설계 방식에는 여러 방법이 있는데, 본 논문에서는 row-based 설계 방식인 게이트 어레이를 적용 모델로 한다. 그러나 셀 라이브러리를 프로그램의 데이터 구조에 저장하는 루틴(routine)만 수정을 하면 표준셀에서도 적용 가능하다. 셀 라이브러리는 하나의 메탈층을 이용하여 논리를 구현하고, 채널 영역에서는 두 개의 메탈층을 이용하여 배선을 한다. 각 신호선의 터미널은 채널의 상하 경계면에만 존재한다고 가정한다. 그러므로 셀 영역상에 또 하나의 메탈층을 추가하여 single layer routing이 가능하도록 한다. 본 논문에서는 셀 내부의 배선에 이용된 메탈층과 채널에서 수평 성분이 지나는 메탈층을 메탈-1이라 한다. 셀 영역에 부가된 메탈층과 채널에서 수직 성분이 지나는 메탈층을 메탈-2라고 한다.

2. Over-the-cell 배선 시스템의 전체 개요

전체적인 over-the-cell 배선 시스템의 기본 목적은 채널의 최대 배선 밀도를 감소시킬 수 있는 신호선을 효율적으로 셀 영역에서 배선함으로써 채널의 배선 밀도를 최소로 하는 것이다.

신호선들의 연결 요구를 나타내는 신호선 리스트(net list)와 셀들이 배치된 정보를 읽고, 셀 내부의 구조를 알기 위하여 사용된 셀들의 cif 파일을 입력으로 받는다. 각 채널에서 가장 터미널을 할당한 다음 다점간 신호선을 2점간 신호선으로 분할하고 신호선들 간의 교차 관계를 나타내는 intersection graph를 구성하여 각 노드에 최대 배선 밀도 지역을 지나는 횟수와 다른 신호선과 교차하는 수를 웨이트로 부여한다. 이 그래프로 부터 채널의 배선 밀도를 감소시킬 수 있는 신호선, 즉 웨이트가 큰 노드를 선택한다. 다음에 feedthrough와 교차하는 신호선과 이미 앞 단계에서 선택된 신호선 때문에 메탈-2 만을 이용해서는 배선을 할 수 없는 신호선을 연결하기 위하여 maze 알고리즘을 이용한다. 이때 신호선의 정렬은 각각의 채널 경계면에서 신호선 구간을 설정하고 최대 배선 밀도 지역을 지나는 수가 많으며 채널의 배선 밀도를 확실하게 감소시킬 수 있는 신호선 구간을 먼저 배선한다. 셀 영역에서의 배선을 완료했으면 채널에서 배선할 터미널을 선택한다. 각 신호선에 대하여 연결 그래프를 구성하고 그래프의 에지에 채널의 배선 밀도를 웨이트로 부여한다. 이 그래프의 minimum weight spanning tree를 구하여 채널에서 연결해야 할 터미널을 선택한 다음 HAN-LAC-AD-G^[12]의 채널 배선기를 이용하여 채널 배선을 수

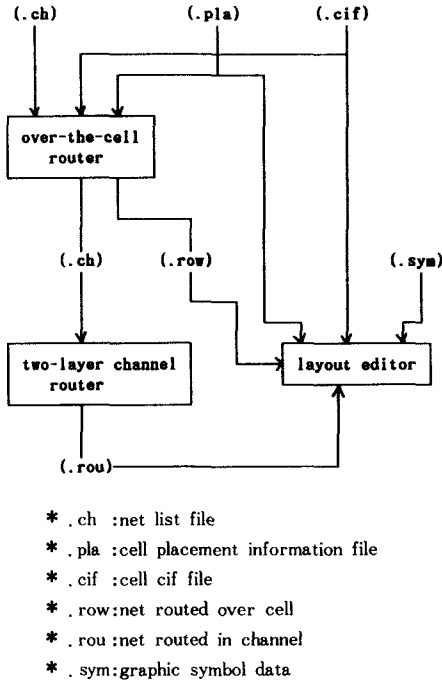


그림 1. Over-the-cell 배선 시스템의 구성도
Fig. 1. System configuration of over-the-cell routing.

행한후 그 결과를 레이아웃 에디터^[14] 상에 출력한다.
그림 1은 over-the-cell 배선 시스템의 구성도를 나타낸다.

III. 셀 영역에서의 배선

1. 셀 배치 영역의 분할

배치^[12]와 global 배선^[13]을 수행 했을때 셀 영역에 feedthrough가 지나갈 수가 있는데, 이 feedthrough는 메탈-2를 이용하도록 했기 때문에 메탈-2만을 이용하는 over-the-cell 배선과정에서 장애물을 형성한다. 그러므로 feedthrough를 경계로 셀 영역을 분할하여 각각의 분할된 셀 영역 내에서 메탈-2를 이용하여 신호선들을 배선한 다음 각 영역을 원래대로 결합하여 다음 단계로 진행한다.

2. 가상 터미널 할당

다음 조건을 만족하는 신호선에 대하여 가상 터미널을 할당한다. 여기서 $TNL(i)$ 는 채널 상부의 i 번째 열에 연결되는 신호선, $BNL(i)$ 는 채널 하부의 i 번째 열에 연결되는 신호선, $TCR_1(n)$ 는 채널의 상부 셀 영역에서 i 번째 열이 속한 분할된 영역에 포함된 신호선 n 의 터미널 수이고 $BCR_1(n)$ 는 채널의 하

부 셀 영역에서 i 번째 열이 속한 분할된 영역에 포함된 신호선 n 의 터미널 수라고 정의한다.

1) $TNL(i) \neq 0$ 이고 $BNL(i) = 0$ 이고 $BCR_1(n) > = 1$ 이면 채널 하부의 i 번째 터미널에 채널 상부의 i 번째 터미널의 신호선을 가상적으로 할당

2) $BNL(i) \neq 0$ 이고 $TNL(i) = 0$ 이고 $TCR_1(n) > = 1$ 이면 채널 상부의 i 번째 터미널에 채널 하부의 i 번째 터미널의 신호선을 할당

그림 2(a)에서 신호선 n 에 가상 터미널을 할당할 수 있다면 그림 2(b)에 보인 것처럼 셀 영역을 이용하여 연결될 수 있는 가능성이 존재하게 되므로 채널의 배선 밀도를 감소시키는 역할을 할 수 있다.

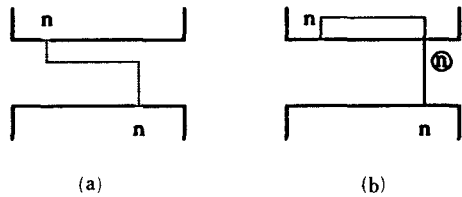


그림 2. 가상 터미널 할당

(a) 할당전 (b) 할당후

Fig. 2. Dummy terminal assignment.

(a) before assignment, (b) after assignment

3. Multi-terminal 신호선의 분할

셀 영역 배선의 첫번째 단계는 메탈-2에서의 single-layer planar routing의 문제로 생각할 수 있으며 연결요구를 갖는 신호선의 모든 터미널들이 채널의 경계에만 있다고 가정했기 때문에, 세 개 이상의 터미널을 갖는 신호선에 대하여 모든 유효한 배선 조합을 용이하게 처리할 수 있도록 두 개의 터미널을 갖는 신호선으로 분할하여 각각의 분할된 신호선을 독립적으로 처리한다. 여기서 유효한 배선 조합이라는 것은 그림 3(a)에 보인 것처럼 불필요한 배선이 존재하지 않는 배선결과를 말한다. 그리고 다른 신호선과의 관계로 인하여 그림 3(b)보다 그림 3(c)의 결과가 채널 밀도의 감소에 더 유리하게 작용될 수도 있기 때문에 두개의 터미널을 갖는 신호선으로 분할한다.

n 개의 터미널을 갖는 신호선에서 두개의 터미널만을 배선할 수 있는 가지수는 nC_2 이므로 하나의 신호선은 nC_2 개의 독립적인 신호선으로 분할된다. 그리고 하나의 터미널에서 분할되는 터미널의 수는 $(n-1)$ 이므로 분할된 터미널의 총 수는 $n(n-1)$ 개가 된다.

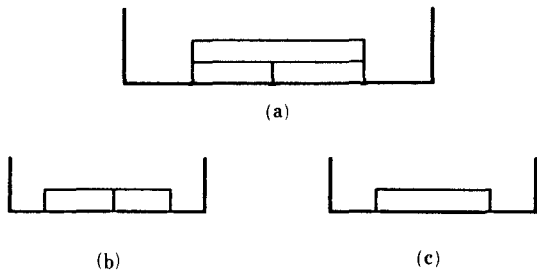


그림 3. Multi-terminal 신호선의 over-the-cell 배선

(a) 불 필요한 배선 (b) 유효한 배선
(c) 유효한 배선

Fig. 3. Over-the-cell routing of multi-terminal net.
(a) invalid routing, (b) valid routing,
(c) valid routing.

새개의 터미널을 갖는 신호선의 분할 예는 그림 4와 같고 분할과정의 알고리즘은 그림 5와 같다.

4. 분할된 셀 영역에서의 single layer routing

신호선이 갖고 있는 터미널의 상대적인 위치 관계를 이용하여 그림 6(b)와 같이 신호선에 대한 intersection graph를 구성한다. Intersection graph의 노드는 신호선 또는 분할된 신호선에 해당하고 노드 사이의 에지는 두 신호선이 서로 교차관계를 갖고 있다는 것을 나타낸다. 즉 그 두개의 신호선은 같은 층에서 배선될 수 없음을 보여준다. 따라서 이 그래프로부터 서로 인접하지 않은 노드들의 집합을 구함

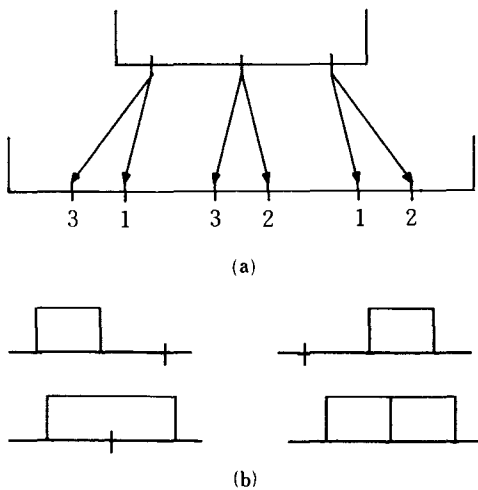


그림 4. Multi-terminal 신호선의 분할
(a) 분할예 (b) 가능한 배선 형태

Fig. 4. Partitioning of multi-terminal net.
(a) partitioning example,
(b) possible routing combinations.

```

multiterminal_partition( )
{
/* 각 터미널에 (n-1)개의 bucket을 준비한다.
n: 터미널 수
Bij: i 번째 터미널의 j 번째 bucket
bp1i, bp2i: i 번째 터미널의 bucket pointer
*/
num=0;
gap=n-1;
bp1i=n-1, bp2i=1; /* 모든 터미널 i에 대하여 초기화 */
while(gap>0) {
t2=n; /* 터미널 위치 */
t1=t2-gap; /* 터미널 위치 */
while(t1>0) {
num++; /* 분할되는 터미널의 새로운 번호 */
Bij[ bp1i ] = Bij[ bp2i ] = num;
bp1i--;
bp2i++;
t2--;
t1=t2-gap;
}
gap--;
}
}
    
```

그림 5. Multi-terminal 신호선의 분할 알고리즘

Fig. 5. Partitioning algorithm of multi-terminal net

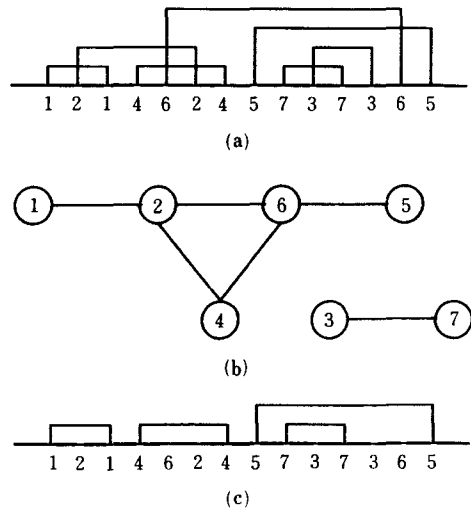


그림 6. 셀 영역에서의 single layer routing
(a) 셀 영역에서의 주어진 배선요구
(b) Intersection graph
(c) 가능한 배선예

Fig. 6. Single layer routing of cell area.
(a) routing requirement of cell area,
(b) intersection graph,
(c) possible routing example.

으로써 어떤 신호선을 셀 영역상에서 배선할 것인가를 결정할 수 있다.

채널의 배선 밀도와 셀 영역에서의 배선밀도를 동시에 감소시키는 신호선을 선택하기 위하여 intersection graph의 각 노드에 웨이트를 부여한다. 채널에서 최대 밀도값을 갖는 지역을 많이 지나가는 신호선을 셀 영역에서 배선한다면 최대 배선 밀도가 감소되는 지역이 다른 신호선보다 많으므로 그 신호선을 선택하여 메탈-2를 이용해서 셀 영역상에서 배선한다. 그리고 노드의 degree는 노드에 대응되는 신호선이 다른 신호선과 교차하는 정도를 나타내므로 degree가 작은 신호선을 선택한다면 그만큼 더 많은 신호선을 셀 영역상에서 배선할 수 있다는 것을 뜻한다. 그런데 최대 배선 밀도 지역을 많이 지나가는 신호선이라는 것은 대개의 경우 두 터미널 사이의 거리가 클 것이다. 따라서 셀 영역상에서의 배선을 위해 많은 공간을 필요로 하게 되는 경우가 발생한다. 그러나 최대 밀도 지역의 수는 작지만 다른 신호선과의 교차관계, 즉 intersection graph에서 degree가 작은 신호선을 선택함으로써 신호선들을 효율적으로 셀 영역에 할당하여 셀상에서의 배선 밀도를 감소시킬 수 있다.

그래서 이 두개의 요소를 고려하여 각 노드의 웨이트를 구하는 식을 다음과 같이 정의한다.

신호선 n의 웨이트

$$W(n) = \alpha * MAX-D + \beta * DEG$$

MAX-D: (신호선 n의 전체 구간에 존재하는 최대 밀도 지역의 수)

DEG: (intersection graph에서 신호선 n에 해당하는 노드의 degree)

$\alpha > 0, \beta < 0$ 인 상수

위의 웨이트 식에서 매개변수 α 와 β 를 실험적으로 계산하여 채널의 배선 밀도와 셀 상에서의 배선 밀도를 동시에 효과적으로 감소시킬 수 있다.

Intersection graph에서 최대 웨이트 값을 갖는 하나의 신호선을 선택한 다음 그 신호선과 인접한 신호선들을 그래프에서 제거한다. 그리고 채널의 배선 밀도를 수정한다. 셀 영역에서 배선된 신호선N의 왼쪽 터미널이 위치한 열을 i, 오른쪽 터미널이 위치한 열을 j라고 하자. 만약 i번째 열과 j번째 열 사이에 신호선N의 터미널이 존재하지 않으면 열 i와 j사이의 모든 지역에서의 밀도가 반드시 작아지므로 그 구간내의 모든 열의 배선 밀도를 1감소시킨다. 반면에 그 구간사이에 신호선N의 터미널이 존재한다면 그 터미널을 연결시키기 위하여 채널을 이용할 수

밖에 없기때문에 배선 밀도를 변화시키지 않는다. 그래프에서 모든 노드가 제거될 때까지 위의 과정을 반복한다.

5. Maze 배선

셀 영역에 할당된 feedthrough를 교차하는 신호선, 또는 셀 내부 로직을 형성하는 메탈이나 이미 셀 영역에서 배선된 신호선 때문에 메탈-2만을 이용해서는 연결할 수 없는 신호선이 배선밀도의 감소에 기여할 수 있는 경우 이 신호선을 배선하기 위하여 메탈-2뿐만 아니라 메탈-1 상의 공간에서 maze 알고리즘을 이용한다.

신호선을 배선하는 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 채널의 상부 셀 영역에서 먼저 배선을 한다. 채널의 상부에서 하나의 신호선에 대하여 터미널의 위치를 경계로 신호선의 구간을 설정한다. 모든 신호선의 구간에 대하여 최대 배선 밀도 지역을 지나는 수를 그 구간의 웨이트로 부여하고 그 값의 감소순으로 모든 구간을 정렬한다. 다음에 순서대로 신호선의 구간을 선택하여 채널의 하부에서 같은 신호선의 터미널이 그 구간내에 있는 경우 채널 하부에 있는 터미널을 경계로 sub-interval을 설정한다. Sub-interval의 수가 1일 경우에는 그 구간내에서 채널 하부에 같은 신호선의 터미널이 없는 경우이므로 바로 배선을 한다.

Sub-interval의 수가 1보다 많을 경우에는 각 sub-interval 내의 최대 배선 밀도값(Sub-D)을 구하여 그 값이 채널 전체의 최대 배선 밀도값과 같으면 COUNT를 1증가시킨다. COUNT의 값이 1인 경우에는 채널 배선을 할 때 Sub-D 값을 갖는 sub-interval을 회피하여 모든 터미널들을 연결할 수 있기 때문에 그 신호선 구간내의 최대 배선 밀도 값을 감소시킬 수 있다. 따라서 그 신호선의 구간에 대하여 셀 영역에서 배선을 시도하고 COUNT의 값이 1보다 클 때는 웨이트가 이 신호선 구간의 웨이트보다는 작지만 최대 배선 밀도 값만은 확실히 감소시킬 수 있는 다른 신호선의 구간에게 우선권을 주기위하여 이 신호선의 구간을 NextCandiList에 보관한다. 모든 신호선의 구간에 대하여 위의 과정을 마친 다음에 NextCandiList에 있는 신호선의 구간중에서 구간의 배선 밀도가 큰 신호선의 구간부터 배선을 한다.

채널 상부에 있는 모든 신호선 구간을 처리했으면 다음에 채널 하부에서도 같은 과정을 반복한다.

IV. 채널에서 배선할 신호선의 동전위 터미널 선택

모든 셀 영역에서 신호선의 배선을 수행한 다음에

연결이 되지않은 나머지 등전위 터미널을 채널영역을 이용해서 배선을 해야 한다. 그런데 셀 영역 배선단계에서 각 신호선의 등전위 터미널중에 어떤 것들은 이미 셀 영역에서 서로 연결이 되었기 때문에 채널 영역을 이용해서 다른 등전위 터미널과 연결할 때는 어떤 터미널을 선택하여 배선을 하는가에 따라 채널 배선의 결과가 다르게 나올 수 있다. 그러므로 채널 배선을 수행하기에 앞서 채널의 배선 밀도가 최소가 되도록 채널 배선을 위한 적당한 터미널을 선택해야 한다.

본 논문에서는 각각의 신호선에 대하여 터미널의 연결관계를 나타내는 연결 그래프를 구성하여 채널의 배선밀도가 감소되도록 터미널을 선택한다.

1. 신호선의 minimum weight spanning tree 구성

채널의 배선 밀도를 감소시키도록 터미널을 선택하기 위하여 각각의 신호선에 대하여 연결그래프를 구성한다. 연결그래프에서 각 노드는 신호선의 터미널이 위치하고 있는 채널에서의 열을 나타낸다. 에지는 두 열에 있는 터미널들이 서로 연결될 수 있음을 나타내며 서로 인접한 터미널 사이에만 에지를 부가한다. 그 이유는 그림 7(a)에서 A터미널과 B 터미널을 연결하고 A터미널과 C터미널을 연결하는 경우와 A터미널과 B터미널을 연결하고 B 터미널과 C터미널을 연결하는 경우, 그림 7(b)에 배선의 예를 보인것 처럼 두 경우가 같은 형태를 취하게 될 것이다. 따라서 A터미널과 C터미널 사이에 있는 에지는 불필요한 에지가 된다. 그래서 이와같은 관계를 그래프에서 제거하기 위하여 서로 인접한 터미널 사이에만 에지를 부가한다. 그리고 셀 영역에서 배선된 터미널 사이에도 에지를 부가한다. 이때 그 에지와 평행인 에지가 이미 존재하고 있다면 그래프에서 평행한 에지를 제거한다.

다음에 그래프의 각 에지에 웨이트를 부여한다. 에지의 웨이트는 양끝 터미널로 이루어지는 구간에서의 최대 배선 밀도로 정한다. 단 셀 영역에서 배선된 관계를 나타내는 에지의 웨이트는 '0'으로 부여한다. 그림 8(a)의 over-the-cell 배선 결과로부터 연결 그래프를 구성한 예를 그림 8(b)에서 보여주고 있다.

채널에서 연결되어야 하는 신호선이 배선 밀도가 작은 지역을 통과하여 연결된다면 채널 배선에서 소모되는 전체 트랙의 수를 감소시킬 수 있을 것이다. 그런데 연결그래프에서 각 에지의 웨이트가 에지의 양끝 노드에 해당하는 열 사이에서의 최대 채널 배선 밀도를 나타내므로 그림 8(b)의 연결 그래프로 부

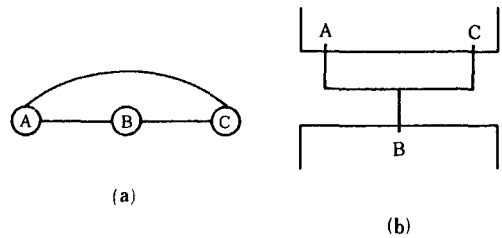


그림 7. 불필요한 에지 제거
(a) 불 필요한 에지를 가진 연결 그래프
(b) 배선 결과
Fig. 7. Removal of unnecessary edge.
(a) Connection graph with unnecessary edge
(b) Routing result.

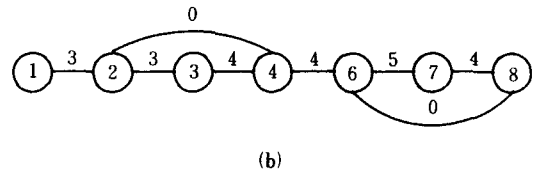
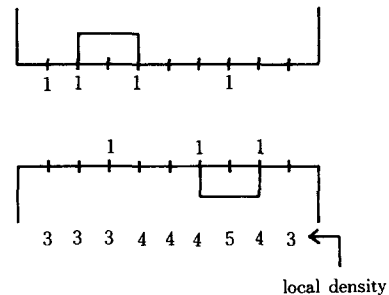


그림 8. 연결 그래프 구성예
(a) Over-the-cell 배선결과
(b) 연결 그래프
Fig. 8. Example of connection graph construction.
(a) result of over-the-cell routing,
(b) connection graph.

터 그림 9와 같이 minimum weight spanning tree 를 구하면 채널에서 밀도가 작은 지역을 이용하여 신호선을 연결할 수 있는 터미널들을 찾을 수 있다.

2. 터미널 번호의 변경

Minimum weight spanning tree에 의해서 채널에서 배선될 터미널들을 선택한 후 채널 배선에서 불필요한 배선이 생기지 않도록 새로운 신호선 번호를 부여한다. 이를위해 minimum weight spanning tree 로 부터

셀 영역에서 연결된 부분을 나타내는 에지를 제거하여 n개의 sub-tree를 만든다. 이 중에서 노드의 수가 1인 sub-tree를 제외한 나머지 sub-tree에 각각 고유의 정수를 부여한다. 이 정수값이 그 sub-tree에 포함된 노드에 해당하는 터미널의 새로운 신호선 번호가 된다. 그림 9의 tree에서 셀 영역에서 연결된 에지를 제거하면 그림10(a)에 보인 것과 같이 세 개의 sub-tree가 만들어진다. 이 세 개의 sub-tree에 그림10(b)와 같이 각각 1,2,3이라는 번호를 부여하는데 이들이 각 sub-tree에 포함된 터미널의 새로운 번호가 된다.

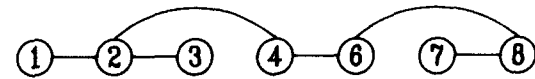


그림 9. Minimum weight spanning tree
Fig. 9. Minimum weight spanning tree.

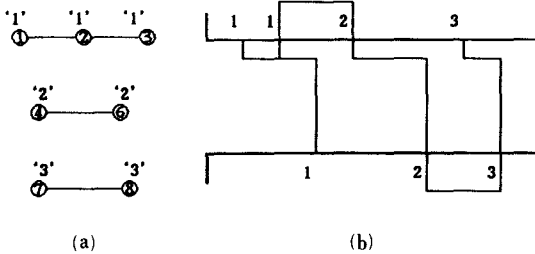


그림 10. 새로운 신호선 번호 부여
(a) Sub-tree
(b) 새로운 신호선 번호 부여후 배선 결과
Fig. 10. Assignment of new net number.
(a) sub-tree,
(b) routing result after assignment of new net number.

V. 채널 배선

본 연구에서는 HAN-LACAD-G에서 사용된 채널 배선기¹²⁾를 이용하였다. 이 채널 배선기는 종래의 수평 제한 그래프와 수직 제한 그래프를 동시에 함축시킨 순서화된 채널 그래프를 구성하고 신호선의 연결 상태에 따라 그래프의 에지에 웨이트를 부여한

후 웨이트 값에 의해 신호선을 선택하여 트랙에 할당한다.

VI. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 over-the-cell 배선 시스템의 유용성을 보이기 위해 IBM PC MS-DOS 상에서 C언어로 실현하였으며, 배선 결과를 GSS*CGI 그래픽스 라이브러리를 사용하여 IBM PC EGA board 상에서 그래픽으로 출력하였다. 셀 영역에서 배선할 신호선을 선택하기 위한 웨이트 함수의 상수 α 와 β 는 실험에 의해 $\alpha=10$, $\beta=2$ 일 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문의 over-the-cell 배선 알고리즘을 benchmark 데이터들에 대해 수행한 결과를 표 1에 나타내었다. 모든 예제들은 Yoshimura 와 Kuh⁴⁾의 논문에서 인용하였다. Deutsch의 difficult 채널은 diff.로 표시하였다. 본 논문의 over-the-cell 배선 알고리즘을 수행한 후 배선 밀도를 Liu¹¹⁾의 논문과 비교했을 때 표 1에서 나타난 바와 같이 모든 예제들에 대해서 채널 영역의 배선 밀도는 같거나 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 셀 상에서의 배선밀도도 대체적으로 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 표 2에서는 benchmark 데이터들에 대한 수행시간을 비교해 나타내었다. 본 논문에서는 PC-386(22MHz) 상에서 수행했음에도 불구하고 Liu¹¹⁾의 논문보다 훨씬 빠른 수행시간을 얻을 수 있었다. 그리고 표 3, 4, 5에서는 본 over-the-cell 배선 시스템을 실제 게이트 어레이 회로에 적용 했을때의 실험 결과를 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 채널 배선만을 수행한 HAN-LACAD-G¹²⁾보다 채널 당 평균적으로 2~3개의 트랙이 감소되었다. 그림 11은 Deutsch의 difficult 채널에 대해 본 논문의 over-the-cell 배선 시스템을 수행한 레이아웃 결과를 나타내었다. 그림 12는 본 논

표 1. Benchmark 데이터들에 대한 실험 결과
Table 1. Experimental results of benchmark data.

예제	over-the-cell 배선전	over-the-cell 배선후					
	채널영역 배선 밀도	채널 영역 배선 밀도		상부 셀 영역 배선 밀도		하부 셀 영역 배선 밀도	
		본논문	Liu ¹¹⁾	본논문	Liu ¹¹⁾	본논문	Liu ¹¹⁾
ex. 1	12	9	9	4	4	5	3
ex. 3a	15	12	12	3	3	4	6
ex. 3b	17	13	13	3	2	4	5
ex. 3c	18	14	14	6	3	5	4
ex. 4b	20	15	16	3	5	4	4
diff.	19	16	16	5	8	8	7

표 2. Benchmark 데이터들에 대한 수행 시간의 비교

Table 2. Comparisons of running time of benchmark data.

예 제	수 행 시 간 (초)	
	본 논문 (PC-386컴퓨터)	Liu ^[11] (Pyramid컴퓨터)
ex. 1	0.6	2.0
ex. 3a	0.7	2.9
ex. 3b	1.3	3.5
ex. 3c	2.3	4.5
ex. 4b	3.6	9.7
diff.	14.5	25.8

표 3. ADDER 회로에 대한 실험 결과

Table 3. Experimental result of ADDER circuit.

채 널 번 호		1	2	3	4	5	6	7
트랙 수	HAN-LACAD-G	4	7	8	8	9	9	5
	본 논문	2	5	5	6	5	6	3

표 4. CCT 회로에 대한 실험 결과

Table 4. Experimental result of CCT circuit.

채 널 번 호		1	2	3	4	5	6	7	8	9
트랙 수	HAN-LACAD-G	5	11	12	10	12	12	12	8	6
	본 논문	2	7	8	9	10	10	9	5	3

문의 over-the-cell 배선 시스템을 ADDER 회로에 대하여 수행한후 레이아웃 결과의 일부분을 확대한 것이다. 여기서 ADDER 회로는 6개의 셀 row와 셀

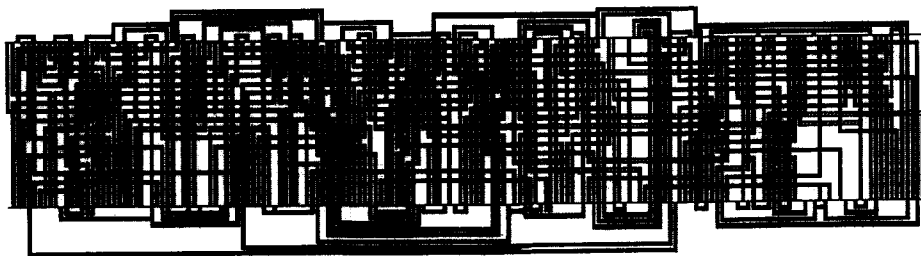


그림 11. Deutsch의 difficult 채널에 대한 over-the-cell 배선 시스템 결과

Fig. 11. Result of over-the-cell routing system for Deutsch's difficult channel.

표 5. CNT8 회로에 대한 실험 결과

Table 5. Experimental result of CNT8 circuit.

채 널 번 호		1	2	3	4	5	6	7	8	9
트랙 수	HAN-LACAD-G	3	7	10	11	10	10	6	3	2
	본 논문	1	4	9	11	9	8	4	2	0

row 당 17개의 기본셀로 구성된 게이트 어레이 칩상에 실현되었다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 셀 영역에서도 신호선을 배선함으로써 채널의 배선 밀도를 감소시켜 채널 배선에서 필요로 하는 트랙의 수를 줄여 전체 칩의 크기를 감

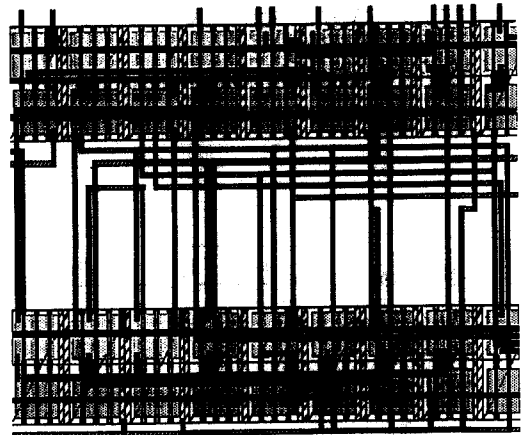


그림 12. ADDER 회로에 대한 over-the-cell 배선 시스템 결과의 일부 확대 부분

Fig. 12. Sections of result of over-the-cell routing system for ADDER.

소시키는 새로운 over-the-cell 배선 시스템을 제안하였다. 신호선 간의 교차 관계를 그래프로 표현한 다음 신호선이 최대 밀도 지역을 지나는 수와 다른 신호선과 교차하는 정도를 웨이트로 부여하여 최대 웨이트를 갖는 신호선을 선택함으로써 채널의 배선 밀도와 셀 영역에서의 배선 밀도를 동시에 감소시킬 수 있는 신호선을 효율적으로 선택하여 셀 영역에서 배선할 수 있었다. 그리고 maze 알고리즘을 사용하여 feedthrough와 같은 장애물과 교차하는 신호선을 배선할 수 있게 함으로써 실제적인 칩 설계에 있어 feedthrough가 셀 영역에 많이 할당되는 경우에도 효과적으로 셀 영역에서의 배선을 할 수 있었다. 또한 minimum weight spanning tree를 사용하여 over-the-cell 배선한 결과로부터 채널에서 배선할 터미널들을 효과적으로 선택함으로써 채널 배선 밀도의 감소를 기할 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 sea-of-gate에 적용될 수 있는 일반적인 over-the-cell 배선 시스템으로 확장되는 연구가 계속되어야 할 것이다.

参 考 文 献

[1] D.M. Schuler and E.G. Ulrich, "Clustering and Linear Placement," in *Proc. 9th, Design Automation Conf.*, pp. 50-56, June. 1972.
 [2] N.R. Quinn, and M.A. Breuer, "A Force Directed Component Placement Procedure for Printed Circuit Board," *IEEE Trans. Circuits and Systems*, vol. CAS-26, pp. 377-388, June. 1979.
 [3] Breuer M.A., "A Class of Min-Cut Placement Algorithm," in *Proc. 14th. Design Automation Conf.*, pp. 284-290, 1977.
 [4] T. Yoshimura and E.S. Kuh, "Efficient algorithm for channel routing," *IEEE Trans. on CAD.*, vol. CAD-1, no. 1, pp. 25-35, Jan. 1982.

[5] A. Sangiovanni-Vincentelli, M. Santomauro, J. Reed, "A New Symbolic Channel Router: YACR2," *IEEE Trans. on CAD.*, vol. CAD-4, no. 3, pp. 208-219, July. 1985.
 [6] H. Shin and A. Sangiovanni-Vincentelli, "A detailed router based on incremental routing modifications: Mighty," *IEEE Trans. on CAD.*, vol. CAD-6 Nov. 1987.
 [7] Yun Kang Chen and Mei Lun Liu, "Three-Layer Channel Routing," *IEEE Trans. on CAD.*, vol. CAD-3, no. 2, pp. 156-163, Apr. 1984.
 [8] D. Braun, J. Burns, S. Devadas, H.K. Ma, K. Mayaram, F. Romeo, and A. Sangiovanni-Vincentelli, "Chameleon: A New Multi-Layer Channel Router," in *Proc. 23rd Design Automation Conf.*, pp. 495-502, June. 1986.
 [9] Deutsch, D.N. and P. Glick, "An Over-the-Cell Router," in *Proc. 17th IEEE/ACM Design Automation Conf.*, pp. 32-39, 1980.
 [10] Yoichi Shiraishid, Jun'ya sakemi, "A Permeation Router," *IEEE Trans. on CAD.*, vol. CAD-6 no. 3, pp. 462-471, May. 1987.
 [11] Jingsheng Cong and C.L. Liu, "Over-the-Cell Channel Router," *IEEE Trans. on CAD.*, vol. 9, no. 4, pp. 408-418, Apr. 1990.
 [12] 강병익, 정정화 "게이트 어레이 레이아웃 시스템의 설계: HAN-LACAD-G," 대한전자공학회 논문집, 제27권, 제 4 호, pp. 145-152, 1990. 4월.
 [13] 이승호, "Macro셀과 I/O pad셀을 고려한 CMOS Gate Array Global Router에 관한 연구," 한양대학교 석사학위논문, 1988. 12월.
 [14] 서석진, "A Study on a Schematic Synthesis System," 한양대학교 석사 학위논문, 1989. 12월.

著 者 紹 介



李昇翼(正會員)
 1963年 5月 31日生. 1986年 한양대학교 전자공학과 졸업. 1989年 2月 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업 공학석사학위 취득. 1989年 3月~현재 한양대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학 중. 주관심분야는 VLSI CAD 특히 Layout 등임.



鄭正和(正會員)
 1950年 3月 10日生. 1975年 한양대학교 전자공학과 졸업. 1981年 3月 일본 와세다대학 박사학위 취득. 일본 NEC(주) 중앙연구소 연구원. KIET 위촉 연구원. University of California, Berkeley 교환교수. 주관심분야는 VLSI CAD 특히 Layout 및 HDL 등임.