

論文93-30A-12-16

DINOSAUR : 다목적인 다층 영역 배선기

(DINOSAUR : A General Multi-layer Area Router)

李昇昊*, 鄭正和*

(Seung Ho Lee and Jong Wha Chong)

要約

본 논문에서는 여러 형태의 배선영역을 다층 배선할수 있는 다목적인 영역 배선기인 DINOSAUR를 제안한다. DINOSAUR는 배선영역 내부에 존재하는 장애물들과 내부핀들, 미리 배선된 신호선들, 다양한 via 등을 처리 할수있다. DINOSAUR의 전체 알고리즘은 층 할당을 고려하지 않은 미로배선(layerless maze routing), 채색에 의한 층 할당(layering by coloring), 그리고 재배선(rip-up and reroute)등 3단계로 나뉘어 수행된다. 층 할당을 고려하지 않은 미로배선에서는 신호선간의 단락(short circuit)에는 관계없이 변형된 미로 알고리즘에 의하여 신호선들의 경로만을 결정한다. 앞서 결정된 신호선들의 경로에 대해서 채색 알고리즘에 의해 층 할당을 수행하여 신호선간의 단락을 해소한다. 신호선간의 단락이 해소 되지 않은 경우 반복적인 재배선 과정을 거쳐 신호선간의 단락을 해소한다. 비직사각형의 배선영역에 대한 benchmark 데이터를 사용한 실험결과 DINOSAUR는 기존의 다른 다목적인 영역 배선기들에 비해 뛰어난 배선결과를 보였다.

Abstract

A new general multi-layer area router, called DINOSAUR, is presented in this paper. DINOSAUR can route various types of routing areas, such as L-shaped channel, switchbox with/without obstacles, and rectilinear area with/without internal modules/terminals. The DINOSAUR algorithm consists of three major stages: layerless maze routing, layering by coloring, and rip-up and reroute. In layerless maze routing stage, the route of each net is determined by modified maze algorithm without taking the conflicts(short circuits) into account. In layering by coloring stage, the layer of each net is determined by a heuristic coloring algorithm. When the conflicts are not removed, rip-up and reroute process is invoked. In rip-up and reroute stage, the conflicts are removed iteratively. Many test cases have been run, and on all the benchmark data known in the literature DINOSAUR has performed either better than or comparable to the other routers.

I. 서론

*正會員, 漢陽大學校, 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Hanyang Univ.)
接受日字: 1993年 5月 4日

집적회로의 레이아웃 설계과정에서 배선(routing) 과정은 전통적으로 전역배선(global routing)과 상

세배선(detailed routing)으로 나뉘어 수행된다. 전역배선 과정에서는 전체의 배선영역(routing area)을 여러개의 작은 배선영역으로 분할하여 배선장의 최소화와 배선밀도의 균일화를 목적함수로 하여 분할된 배선영역에 신호선들을 할당한다. 이때 분할된 배선영역에 할당된 핀의 분포상태에 따라 배선영역은 전통적으로 채널(channel) 배선영역과 스위치박스(switchbox) 배선영역등 크게 2가지로 분류된다. 상세배선 과정에서는 채널 배선기(channel router)나 스위치박스 배선기(switchbox router)등을 사용하여 배선영역 내에서 신호선들의 등전위 핀들을 서로 단락(short)이 생기지 않도록 연결한다.

그러나 최근의 sea-of-gate 설계방식, custom cell 설계방식, PCB(Printed Circuit Board) 설계방식, MCM(Multichip Module) 설계방식 등에서는 배선영역의 형태가 반드시 직사각형이 아닌 L-형 또는 계단형등의 여러 형태로 나타날수 있다. 또한 배선영역내에 장애물들이나 내부핀들 또는 미리 배선된 신호선들이 존재하기도 하며 배선해야할 배선층수가 다층 일수도 있다. 따라서 전통적인 채널 배선기나 스위치박스 배선기로는 이에 적절히 대처할수가 없기 때문에 여러 형태의 배선영역을 다층으로 배선할수 있는 다목적인 다층 영역 배선기(general multi-layer area router)의 필요성이 크게 대두되고 있는 실정이다.

1986년에 발표된 MIGHTY^[1]는 incremental routing modification 기법을 사용한다목적인 영역 배선기 이었으나 직사각형의 배선영역에 대해서는 비교적 효율적인 배선결과를 나타낸 반면, 비직사각형의 배선영역에 대해서는 효율적인 배선결과를 나타내지 못했다. 1987년에 발표된 BOOMERANG^[2]은 nonslicing 구조의 배치 방식에서 발생하는 L-형의 채널 배선영역을 효율적으로 배선할수 있도록 한 배선기였다. 그러나 BOOMERANG은 L-형의 채널 배선영역 이외의 다른 형태의 배선영역에 대해서는 효율적으로 처리하지 못했다. 1989년에 발표된 CRACKER^[3]는 PACKER^[4]의 알고리즘을 확장한 다목적인 영역 배선기 이었으나 수행시간이 많이 소모되었다. 1990년에 발표된 CARIOCA^[5]는 전문가 시스템(expert system)을 사용한 다목적인 영역 배선기 이었으나 역시 많은 수행시간이 소요되는 단점이 있었다. 1992년에 발표된 GEAR^[6]는 planning 기법에 의하여 여러 형태의 배선영역을 비교적 효율적으로 배선할수 있는 다목적인 영역 배선기 이었다.

앞에서 살펴본 바와 같이 2층 배선을 위한 다목적인 영역 배선기는 그동안 꾸준히 발표되었으나 다층

배선을 위한 성능이 우수한 다목적인 영역 배선기는 아직 발표되지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 여러 형태의 다층 배선영역을 효율적으로 배선할수 있는 다목적인 다층 영역 배선기인 DINOSAUR를 제안한다. DINOSAUR가 배선 할수있는 배선층수는 무한대이다. DINOSAUR의 알고리즘들은 CONQUEROR^[7]의 알고리즘들을 확장한것으로써 층 할당을 고려하지 않은 미로배선(layerless maze routing), 채색에 의한 층 할당(layering by coloring), 그리고 재배선(rip-up and reroute)등 3단계로 나뉘어 수행된다.

II. DINOSAUR의 전체개요

본 논문에서 제안하는 DINOSAUR는 그림 1과 같은 여러 형태(L-형 또는 계단형등)의 배선영역을 다층 배선할수 있는 다목적인 다층 영역 배선기이다. DINOSAUR는 배선영역내에 장애물들이나 내부핀들 또는 미리 배선된 신호선들이 존재하여도 처리할수 있으며, 관통(through) via 와 묻힌(buried) via 등과 같은 다양한 via 등을 처리할수도 있다. 그림 2(a)의 관통 via는 PCB 에서 많이 사용되는 via로써 배선시 사용되는 모든 층을 via가 관통한다. 따라서 via가 위치한 곳에서는 어떤 배선층에서도 신호선이 지나갈수 없다. 그림 2(b)의 묻힌 via는 집적회로 설계시 주로 사용되는 via 로써 모든 배선층을 via가 관통하지 않으므로 via가 위치한 곳이라도 관통되지 않은 다른 배선층에서는 신호선이 지나갈수 있다.

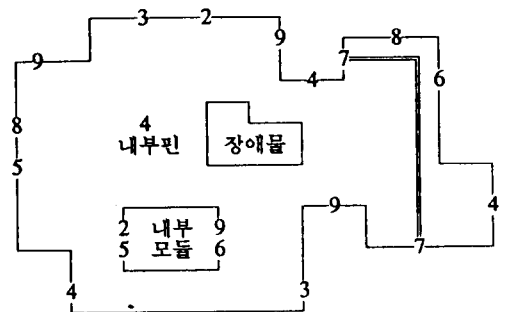
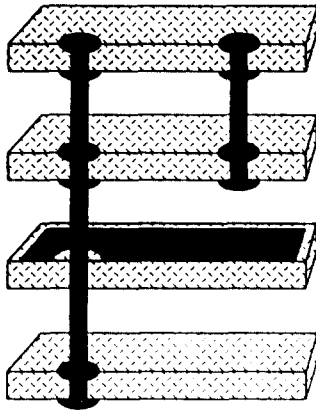


그림 1. 배선영역의 예
Fig. 1. Example of routing area.

그림 3은 DINOSAUR의 전체 알고리즘들의 흐름도를 나타내고 있다. 그림 3에 나타난 바와 같이 DINOSAUR의 전체 알고리즘들은 층 할당을 고려하지 않은 미로배선(layerless maze routing), 채색에 의



(a) (b)

그림 2. Via의 종류

(a) 관통 via (b) 묻힌 via

Fig. 2. The kind of via.

(a) through via.

(b) buried via.

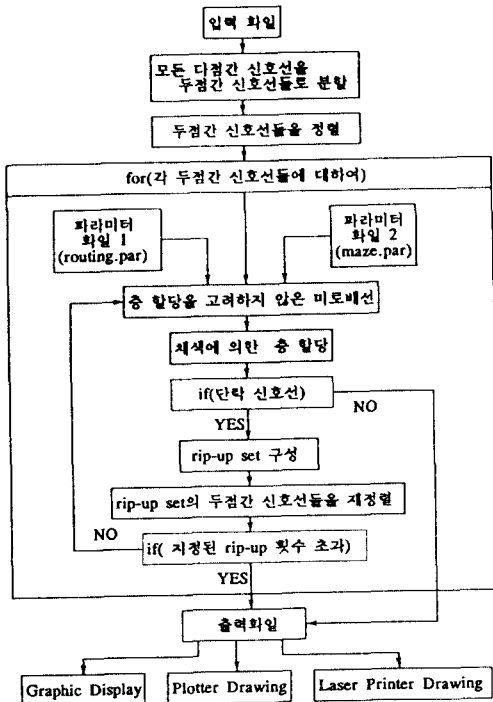


그림 3. DINOSAUR의 전체 알고리즘의 흐름도
Fig. 3. Overall flow chart of DINOSAUR.

한 층 할당(layering by coloring), 그리고 재배선(rip-up and reroute)등 크게 3단계로 나뉘어 수행된다.

그림 3의 흐름도에 나타난 바와 같이 DINOSAUR는 사용자가 제공하는 두개의 파라미터(parameter) 화일을 사용한다. 첫번째 파라미터 화일인 routing.par에는 그림 4에서와 같이 배선시 사용가능한 배선층수와 각 배선층에서 사용되는 신호선의 방향성, 관통 via의 사용 여부등을 사용자가 부여하도록 되어 있다. 만일 사용자가 전원(power)이나 접지(ground)에 사용되도록 부여한 배선층은 자동 배선시에는 금지층으로 표시되어 사용되지 않는다. 그림 4의 예에서는 사용 가능한 배선층수(routing_layer)가 5층 이지만 금지층(forbidden_layer)이 2개 있으므로 층 할당을 고려하지 않은 미로배선시 사용 가능한 배선층(maze_layer)수는 3층이 되며, 자동 배선시 관통 via는 사용되지 않는다. DINOSAUR가 배선할수 있는 배선층수는 무한대이다.

Layer_1	Vertical
Layer_2	Horizontal
Layer_3	Power
Layer_4	Ground
Layer_5	Vertical
Through_via	OFF

그림 4. 파라미터 화일 1 (routing.par)

Fig. 4. Parameter file 1 (routing.par).

두번째 파라미터 화일인 maze.par에는 그림 5에서와 같이 층 할당을 고려하지 않은 미로배선시 사용되는 여러가지 비용값(cost)이 담겨있다. 따라서 maze.par 화일의 비용값을 변경함에 따라 배선경로를 사용자가 원하는 형태로 바꿀수 있도록 되어있다. 각각의 비용값에 대한 설명은 차차 하기로 한다.

GridCost	10
BetterGridCost	1
WorseGridCost	11
OverlapCost	12
CongestCost	10000
BendCrossCost	2
NumberOfRipup	32
BlockingCost	2

그림 5. 파라미터 화일 2 (maze.par)

Fig. 5. Parameter file 2 (maze.par).

Ⅲ. 층 할당을 고려하지 않은 미로배선 (layerless maze routing)

1. 다점간 신호선을 두점간 신호선들로 분할

미로 배선법을 사용하기 위하여 먼저 모든 다점간 신호선(multi-pin net)들을 두점간 신호선(two-pin net)으로 분할한다. 다점간 신호선들의 핀들을 그래프의 노드(node)로 하여 완전 그래프(complete graph)를 구성한 후 manhattan distance를 에지의 웨이트로 하여 minimum cost spanning tree를 형성하여 두점간 신호선들로 분할한다. 그림 6은 4개의 다점간 신호선으로 이루어진 2번 신호선이 minimum cost spanning tree 가 형성된후 2-1, 2-2, 2-3 등의 3개의 두점간 신호선들로 분할됨을 나타내고 있다.

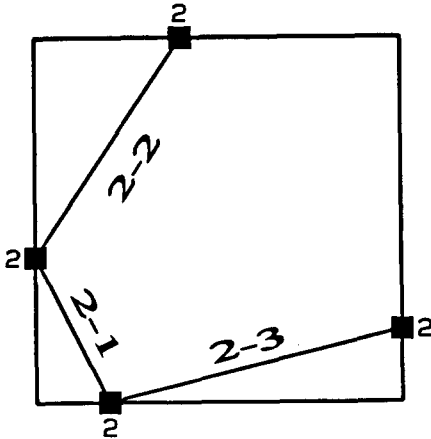


그림 6. 다점간 신호선을 두점간 신호선들로 분할
Fig. 6. Partitioning multi-pin net into two-pin nets.

2. 신호선 정렬

분할된 각각의 두점간 신호선들에 대해 다음의 순서로 정렬을 한다.

- ① 임계(critical) 신호선
- ② 직선(straight) 신호선
- ③ 인접한 두핀 사이의 신호선
- ④ 마주 보는 신호선
- ⑤ 같은 변상에 있는 신호선

임계 신호선은 사용자가 우선적으로 배선 길이를 짧게 하도록 요구한 신호선 이므로 가장 먼저 정렬하여 우선적으로 배선이 되도록 한다. 직선 신호선은

그림 7의 1 번 신호선과 같은 경우로서 직선 경로 이외의 다른 경로는 배선 효율에 상당한 영향을 미치게 되므로 임계 신호선 다음으로 정렬한다. 그림 7의 2 번 신호선과 같이 인접한 두핀 사이의 신호선들도 2 개 이상의 bend가 발생하는 경로가 찾아진다면 역시 배선 효율에 상당한 영향을 미치게 되므로 직선 신호선 다음으로 정렬한다. 마주보는 신호선(그림 7의 3 번)의 경우는 여러가지 배선 경로를 가질 수 있으나 같은 변상의 신호선(그림 7의 4번)들이 상대적으로 더 많은 배선 경로를 갖게 되므로 같은 변상의 신호선보다 먼저 정렬 되어진다.

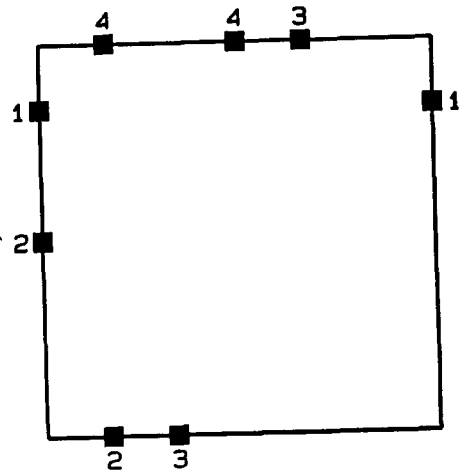


그림 7. 신호선 정렬의 예
Fig. 7. Example of net ordering.

3. 층 할당을 고려하지 않은 미로배선

층 할당을 고려하지 않은 미로배선에서는 배선층을 할당하지 않고 경로만을 결정하는 과정으로 Lee 알고리즘^[8]을 기본으로 하여 여러 비용값(cost)을 도입한 변형된 형태이다. 사용되는 여러가지 비용값은 파라미터 파일 2(maze.par)에 있다. 변형된 특징은 경로탐색(propagation)시 backtracking의 용이함을 위해 새로운 기법을 사용한다. 또한 zone 내에서 경로를 찾고 그 안에서 경로를 찾을 수 없는 경우에만 우회하도록 함으로써 특히 큰 배선영역의 경우 배선 경로 탐색시간을 단축시킨다. 경로탐색 과정은 먼저 출발점(start point)에서 갈수 있는 모든 방향에 대한 그리드의 비용값을 계산하여 가장 작은 비용값을 갖는 그리드의 좌표를 리스트 구조에 첨가시킨다. 이미 비용값을 갖고 있는 그리드에 대해서는 현재 계산된 비용값과 비교하여 작은 비용값으로 대체한다. 즉

(short)을 해소하기 위하여 채색에 의하여 배선층을 할당한다. 층 할당을 고려하지 않은 미로배선에 의하여 찾아진 각 경로의 wire 들은 그림 9 와 같이 그리드 선분 단위로 분할되어 WireList에 저장되어 있으므로 이를 사용하여 교차 그래프를 구성하게 된다. 교차 그래프에서 노드(node)는 그리드 단위의 선분을 나타내고 실선 형태의 에지(edge)는 노드간의 교차 관계가 존재하지만 다른 신호선 노드인 경우에 형성되며, 점선 형태의 에지는 노드간의 교차 관계가 존재하지만 같은 신호선 노드인 경우에 형성된다. 한편 배선영역의 변상에 위치한 선분들은 이미 배선층이 결정되어 있으므로 교차 그래프를 구성한후 해당되는 노드에 고정된 색깔을 할당하고 색깔이 할당된 노드들을 FixedNodeList에 저장한다. 사용 가능한 배선층수가 5층이고 3층과 4층은 금지층일 경우일때

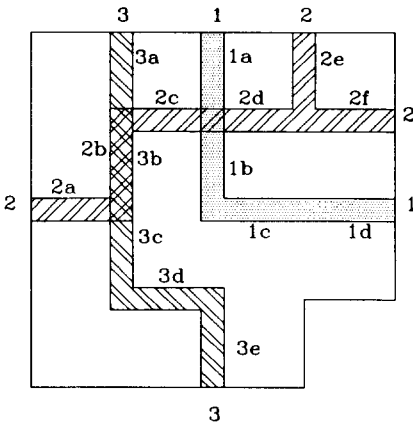


그림 9. 층 할당을 고려하지 않은 미로배선의 예
Fig. 9. Example of layerless maze routing.

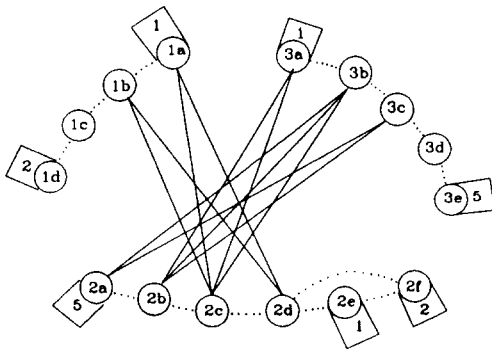


그림 10. 그림 9에 대한 교차 그래프
Fig. 10. Intersection graph for Fig. 9.

그림 10은 이에 대한 교차 그래프를 나타내고 있다. 그림 10의 예에서 FixedNodeList는 { 1a(1층), 1d(2층), 2a(5층), 2e(1층), 2f(2층), 3a(1층), 3e(5층) } 이다.

2. 서로 다른 신호선간의 채색

배선층을 결정하기 위하여 먼저 다른 신호선간에 교차 관계가 있는 노드들에 대하여 채색을 수행한다. 서로 다른 신호선의 노드와 노드간에 교차 관계가 있는 경우 그 두 노드는 서로 다른 색깔로 채색 되어야 한다. 이러한 사실에 기초해 FixedNodeList에 저장된 노드, 즉 이미 색깔이 결정된 노드에서 출발해 실선 형태의 에지를 따라 가면서 실선 에지간의 노드에는 서로 다른 색을 할당한다. 그림 4의 파라미터 화일 1을 사용한다고 가정할때, 그림 10의 예에서 노드 1a 에서 출발하여 노드 2c에 색깔을 할당할경우 노드 2c에 할당 가능한 색깔들 즉, colorable_set은 사용 가능한 배선층수가 5층이므로 {1, 2, 3, 4, 5}가 된다. 그런데 전원과 접지에 사용되는 금지층이 3층과 4층이고 노드 2c와 실선의 연결관계가 있는 노드중 색깔이 할당되어 있는 노드 1a와 노드 3a의 색깔이 1이므로 violation_color_set은 {1, 3, 4}가 된다. 만약 노드 2c의 위치에 장애물이 존재할 경우 장애물이 위치한 층도 violation_color_set에 포함시킨다. 또한 이미 이웃한 같은 신호선 노드에 할당되어 있는 색깔과 현 노드에 할당될수 있는 색깔들중 서로 다른 색깔이 있는 경우 그위치에 via가 생성되므로 via가 위치할 층으로 이미 다른 신호선이 할당된 경우 현 노드에 할당할수 있는 색깔들 중에서 via를 생성시키는 색깔들을 violation_color_set에 포함시킨다. 관통 via가 사용될 경우에는 현 노드에 할당될수 있는 색깔들 중에서 바로 이웃한 같은 신호선 노드의 색깔과 다른 색깔들은 모두 violation_color_set에 포함시킨다. 이제 colorable_set에서 violation_color_set의 차집합을 구하게 되면 노드 2c에 실제로 할당 가능한 색깔이 결정된다. 위의 예에서 실제로 할당 가능한 색깔 즉, real_colorable_set은 {2, 5}이 된다. 구해진 real_colorable_set이 하나의 색깔만 가진다면 관계없지만 만일 두개 이상의 색깔을 가진다면 그중 하나의 색깔을 선택하는 일이 중요한 문제로 대두된다. 어느 색깔을 선택하느냐에 따라 다음 노드에서 할당되는 색깔이 달라지기 때문에 결과적으로 최종 배선 결과에 영향을 미치게 된다. 따라서 현 노드에 할당할수 있는 색깔이 2개 이상일 경우 어떤 색깔을 할당해야만 가장 최적의 해를 얻을수 있는지를 알기 위해서는, 각 색깔에 대하여 다른 노드로 전파해 나가서

얻어진 최종 배선 결과를 비교해 보아야만 알 수 있을 것이다. 그런데 이 경우 사용 가능한 배선 층수와 노드의 수가 증가함에 따라서 합리적인 시간에 해를 얻기가 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 휴리스틱(heuristic) 알고리즘을 사용한다. 알고리즘의 주된 착안점은 미로배선법에 의하여 배선경로는 이미 결정되어 있으므로 현 노드의 색깔을 결정함에 있어 via의 최소화를 기하는 방향으로 색깔을 할당한다. 먼저 현 노드와 점선으로 연결 관계가 있는 노드들 즉, 같은 신호선의 노드들을 현 노드를 중심으로 양쪽으로 탐색하여 색깔이 할당된 노드를 찾아 각기 다른 두개의 neighbor_color_set에 포함시킨다. 앞의 예에서 노드 2c의 양쪽 neighbor_color_set은 각각 {1, 2}와 {5}이다. 이제 neighbor_color_set들 중에서 현재 노드와 바로 인접한 노드의 색깔을 선택하여 real_colorable_set과의 교집합을 구하면 현 노드에 할당할 수 있는 하나의 최적 색깔을 얻을 수 있다. 바로 인접한 노드의 색깔과 같은 색으로 할당해 나가면 via가 생성될 확률을 줄일 수 있기 때문이다. 현 노드와 바로 인접한 노드가 색깔이 할당되어 있지 않은 경우 하나의 색깔만을 포함한 neighbor_color_set과 두개 이상의 색깔을 포함한 neighbor_color_set이 존재하면 하나의 색깔만을 포함한 neighbor_color_set과 real_colorable_set과의 교집합을 구하면 역시 현 노드에 할당할 수 있는 하나의 최적 색깔을 얻을 수 있다. 한쪽의 neighbor_color_set에 속한 색깔의 수가 두개 이상인 경우에는 그 위치에서 어차피 via가 생성되기 때문에 다른 한쪽의 neighbor_color_set에 속한 색깔의 수가 한개인 경우 그 색깔과 같은 색깔로 현 노드의 색깔을 할당하게 되면 via가 생성될 확률을 줄일 수 있다. 앞의 예의 노드 2c에 할당할 최적의 색깔은 {2, 5}와 {5}의 교집합이 되므로 5의 색깔이 된다. 만일 양쪽의 neighbor_color_set에 속한 색깔의 갯수가 모두 한개 이상일 경우에는 현 노드에서 각 neighbor_color_set에 속한 노드의 위치까지 서로 다른 신호선과 교차하는 횟수를 계산하여 작은 값을 갖는 쪽의 색깔과 real_colorable_set과의 교집합으로 최적의 색깔을 결정한다. 다른 노드와의 교차 횟수가 적다는 것은 상대적으로 색깔이 변경될 수 있는 확률이 낮다는 것을 의미하므로 via의 생성 확률을 줄일 수 있다는 논리가 된다. 이때 어떤 노드에서 색깔을 할당하는 것이 불가능할 경우가 발생하면 그 노드에 short circuit 라고 표시한 후 채색을 중지하고 FixedNodeList의 다른 노드로부터 채색을 다시 수행한다. 더 이상 색깔을 할당할 노드가 없거나 FixedNodeList에 노드가 없을 때 다른 신호선간의

채색을 끝낸다. 그림 11은 그림 10에 대하여 서로 다른 신호선간의 채색을 수행한 결과를 보여주고 있다.

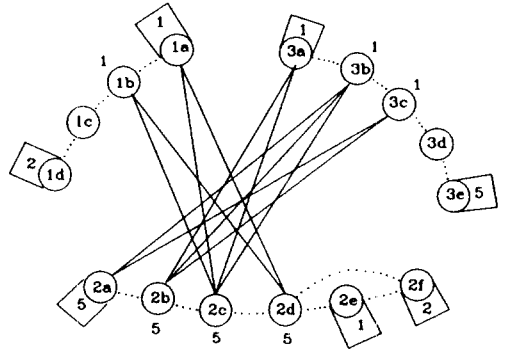


그림 11. 그림 10에 대한 서로 다른 신호선간의 채색 결과

Fig. 11. Coloring result among other nets for Fig. 10.

3. 같은 신호선간의 채색

앞에서 설명한 채색 과정에서는 다른 신호선과 서로 교차 관계가 없는 노드들 즉, 그림 11에서 노드 1c와 노드 3d는 색깔이 결정되어 있지 않다. 따라서 같은 신호선간에 교차 관계가 있는 노드들에 대하여 via 수의 최소화를 목적함수로 하여 채색을 수행한다. 같은 신호선간의 채색 과정은 채색이 되지 않은 어떤 노드가 있을 때 그 노드의 색깔은 양쪽에 인접한 노드들의 색깔이 결정되어 있으면 via 수를 최소로 하는 색깔을 결정할 수가 있다. 만일 양쪽에 인접한 노드들이 아직 색깔이 결정되지 않았으면 색깔이

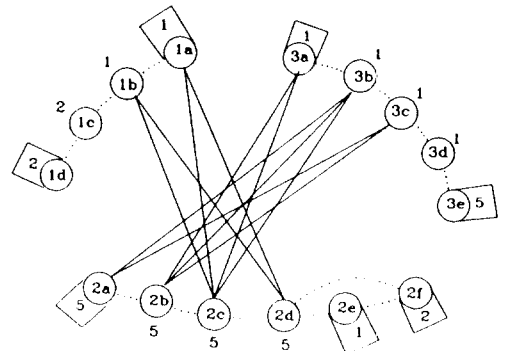


그림 12. 그림 11에 대한 같은 신호선간의 채색 결과

Fig. 12. Coloring result among same nets for Fig. 11.

결정되어 있는 노드까지 recursive 하게 탐색하여 탐색한 결과를 바탕으로 채색을 하는 방법을 사용한다. 그림 11의 1c 노드에는 1층과 2층중 어떤층이 할당되어도 via 수는 같게된다. 그런데 노드 1c가 수평성분의 방향성이므로 같은 방향성인 노드 1d의 색깔을 노드 1c에 할당한다. 그림 12는 그림 11에 대하여 같은 신호선간의 채색을 수행한 결과를 나타내고 있으며 그림 13은 채색한 최종 결과를 레이아웃으로 표현한 그림이다.

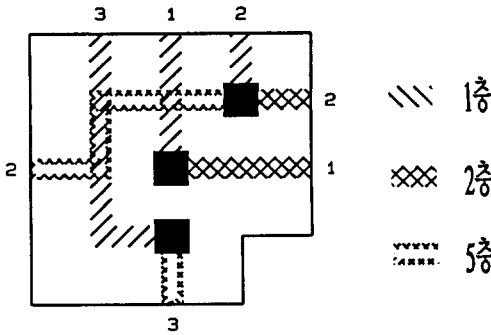


그림 13. 그림 12의 채색 결과에 대한 레이아웃 표현
Fig. 13. Layout representation for a coloring result for Fig. 12.

V. 재 배 선 (rip-up and reroute)

층 할당을 고려하지 않은 미로배선시 특정 그리드에 신호선이 밀집한경우 채색 과정에서 단락이 발생하는데 이러한 단락이 일어난 신호선에 대해서 재배선을 하기 위하여 먼저 rip-up set을 구성한다. 즉 채색 과정에서 단락이 발생하여 색깔이 할당되지 않은 신호선들을 WireList에서 제거한후 rip-up set에 저장하고, 단락된 신호선들과 교차 관계에 있는 신호선들도 WireList에서 제거한후 rip-up set에 저장한다. 구성된 rip-up set의 신호선들을 아래의 비용값이 큰순으로 정렬한다.

비용값 = $\alpha * \text{단락된 부분의 갯수} + \beta * \text{via의 갯수} + \gamma * \text{wire segment의 총길이}$
 단 α, β, γ 는 $\alpha > \beta > \gamma$ 인 상수

재정렬된 순서에 의하여 층 할당을 고려하지 않은 미로배선을 다시 수행한다. 이때 파라미터 화일 2 (maze.par)에 포함되어져 있는 BlockingCost 비용값을 적용한다. BlockingCost는 재배선시 이미 찾았

던 경로를 가능한 다시 찾지 않도록 하는 비용값이다. 예로써 그림 14 에서 2번 신호선의 경우 λ 부분이 재배선 전에 이미 찾았던 경로인데 재배선시에는 λ 부분에 경로탐색이 행해질때 BlockingCost가 적용되어 ω 의 경로가 찾아진다. 층 할당을 고려하지 않은 미로배선이 수행된후 채색 알고리즘에 의한 배선층 할당을 다시 수행한다. 이때 단락이 발생하면 파라미터 화일 2(maze.par)에 포함되어져 있는 NumberOfRipup 수만큼 앞의 과정을 반복 수행한다. 반복 수행중 단락이 발생하지 않으면 반복 수행을 중지하고 배선을 완료한다.

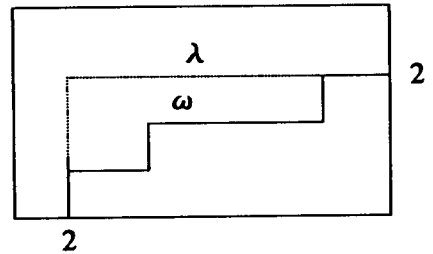


그림 14. BlockingCost에 의한 경로선택의 예
Fig. 14. Example of path finding by BlockingCost.

VI. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘들의 유용성을 보이기 위해 SUN4/330 UNIX 상에서 C 언어로 실현하였으며, 배선결과를 X11 release4 그래픽스 라이브러리를 사용하여 MOTIF 상에서 그래픽으로 출력하였다. 또한 배선결과를 HP7596B 플로터와 HP Laser Jet III 프린터로 출력할수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘들 C 언어로 실현한 분량은 약 12,000 라인 정도이고, 배선결과를 MOTIF 상에서 그래픽으로 출력하는 부분과 HP7596B 플로터와 HP Laser Jet III 프린터로 출력하는 부분은 약 5000 라인 정도이다. 표 1은 Cohoon, Heck 등이 [9]에서 제시한 배선영역 내부에 장애물이 존재하는 스위치박스에 대하여 DINOSAUR와 다른 배선기들과의 2층 배선결과를 비교한 것이고 그림 15는 표 1의 예제에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR로 2층 배선한 결과를 나타내고 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 다른 배선기들보다 우수한 배선결과를 나타내고 있다. 표 2는 Gerez, Herrmann 등이 [3]에서 제시한 불규칙한 변들로 구성된 스위치박스

에 대하여 DINOSAUR와 다른 배선기와의 2층 배선 결과를 비교한 것이고 그림 16은 표 2의 예제에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR로 2층 배선한 결과를 나타내고 있다. 표 2에서 보는 바와 같이 다른 배선기보다 뛰어난 배선결과를 나타내고 있다. 표 3은 Chen이 [2]에서 제시한 L-형 채널에 대하여 DINOSAUR와 다른 배선기들과의 2층 배선결과를 비교한 것이고 그림 17은 표 3의 예제에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR로 2층 배선한 결과를 나타내고 있다. 표 3에서 보는 바와 같이 다른 배선기들과 대등한 배선결과를 나타내고 있다. 표 4는 Chen이 [2]에서 제시한 불규칙한 변들로 구성된 L-형 채널에 대하여 DINOSAUR와 다른 배선기와의 2층 배선 결과를 비교한 것이고 그림 18은 표 4의 예제에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR로 2층 배선한 결과를 나타내고 있다. 표 4에서 보는 바와 같이 다른 배선기보다 뛰어난 배선 결과를 나타내고 있다. 표 5는 표 1에서 표 4까지의 예제들을 본 논문에서 제안한 DINOSAUR로 3층 배선한 결과를 나타내고 있다. 표 5에서 나타난 바와 같이 모든 예제에 대하여 2층 배선한 결과보다 3층 배선한 결과가 훨씬 우수함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 DINOSAUR의 다층 배선의 효율성이 우수함을 입증할 수가 있다. 그림 19는 표 1의 예제에 대하여, 그림 20은 표 2의 예제에 대하여, 그림 21은 표 3의 예제에 대하여, 그림 22는 표 4의 예제에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR로 3층 배선한 결과를 나타내고 있다.

표 1. 장애물이 있는 스위치박스에 대한 2층 배선결과와의 비교

Table 1. 2-layer routing comparison of switchbox with embedded obstacles.

Router	wire length	vias	run time(seconds)	language
BEAVER(9)	168	16	-	C
CRACKER(3)	180	19	70s on Apollo DN4000	LISP
GEAR(6)	168	20	1s on SUN4	C
DINOSAUR	168	16	0.5s on SUN4	C

표 2. 불규칙한 변들로 이루어진 스위치박스에 대한 2층 배선결과와의 비교

Table 2. 2-layer routing comparison of switchbox with irregular boundaries.

Router	wire length	vias	run time(seconds)	language
CRACKER(3)	360	32	61s on Apollo DN4000	LISP
DINOSAUR	365	27	16s on SUN4	C

표 3. L-형 채널에 대한 2층 배선결과와의 비교
Table 3. 2-layer routing comparison of L-shaped channel.

Router	wire length	vias	run time(seconds)	language
BOOMERANG(2)	159	33	-	C
CRACKER(3)	161	21	110s on Apollo DN4000	LISP
GEAR(6)	164	21	2s on SUN4	C
DINOSAUR	156	22	8s on SUN4	C

표 4. 불규칙한 변들로 이루어진 L-형 채널에 대한 2층 배선결과와의 비교

Table 4. 2-layer routing comparison of L-shaped channel with irregular boundaries.

Router	wire length	vias	run time(seconds)	language
BOOMERANG(2)	449	67	-	C
DINOSAUR	434	44	24s on SUN4	C

표 5. 표 1에서 표 4의 예제들에 대한 DINOSAUR의 3층 배선결과

Table 5. 3-layer routing results of DINOSAUR for examples from Table 1 to Table 4.

	wire length	vias	run time(seconds)
표 1의 예제	168	12	0.5s on SUN4
표 2의 예제	358	25	16s on SUN4
표 3의 예제	156	20	8s on SUN4
표 4의 예제	432	38	24s on SUN4

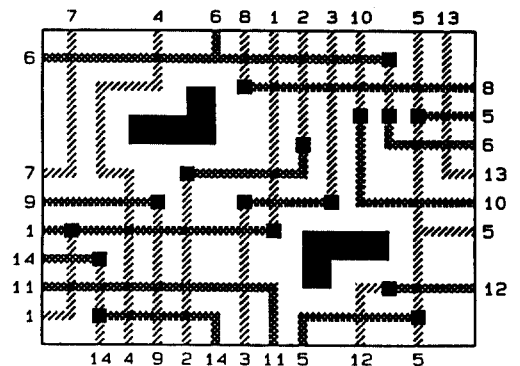


그림 15. 장애물이 있는 스위치박스에 대한 DINOSAUR의 2층 배선결과

Fig. 15. 2-layer routing result of DINOSAUR for a switchbox with embedded obstacles.

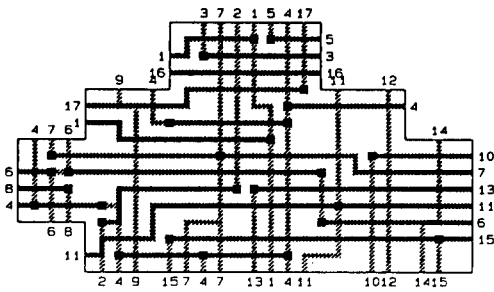


그림 16. 불규칙한 변들로 이루어진 스위치박스에 대한 DINO SAUR의 2층 배선결과
 Fig. 16. 2-layer routing result of DINO SAUR for a switchbox with irregular boundaries.

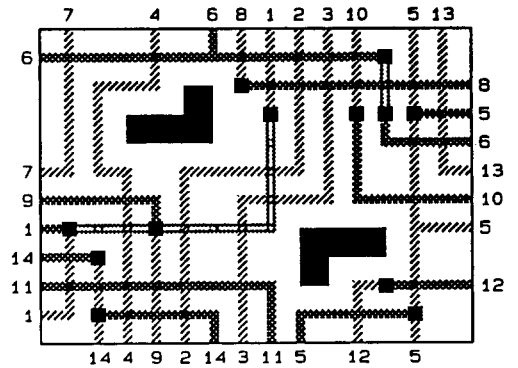


그림 19. 장애물이 있는 스위치박스에 대한 DINO SAUR의 3층 배선결과
 Fig. 19. 3-layer routing result of DINO SAUR for a switchbox with embedded obstacles.

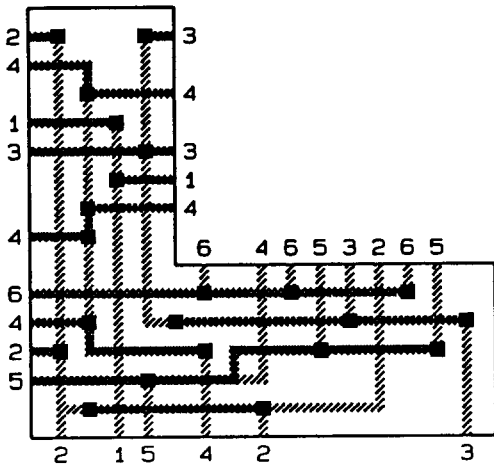


그림 17. L-형 채널에 대한 DINO SAUR의 2층 배선결과
 Fig. 17. 2-layer routing result of DINO SAUR for a L-shaped channel.

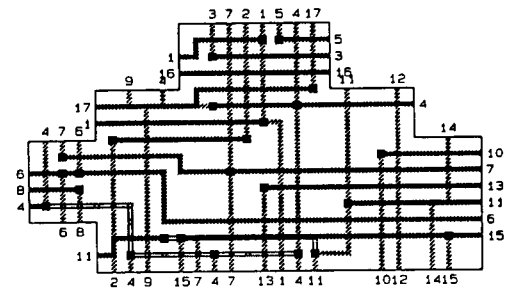


그림 20. 불규칙한 변들로 이루어진 스위치박스에 대한 DINO SAUR의 3층 배선결과
 Fig. 20. 3-layer routing result of DINO SAUR for a switchbox with irregular boundaries.

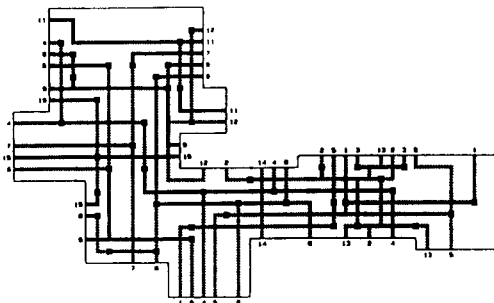


그림 18. 불규칙한 변들로 이루어진 L-형 채널에 대한 DINO SAUR의 2층 배선결과
 Fig. 18. 2-layer routing result of DINO SAUR for a L-shaped channel with irregular boundaries.

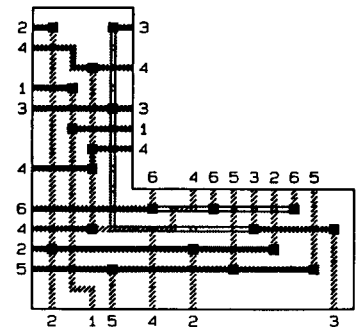


그림 21. L-형 채널에 대한 DINO SAUR의 3층 배선결과
 Fig. 21. 3-layer routing result of DINO SAUR for a L-shaped channel.

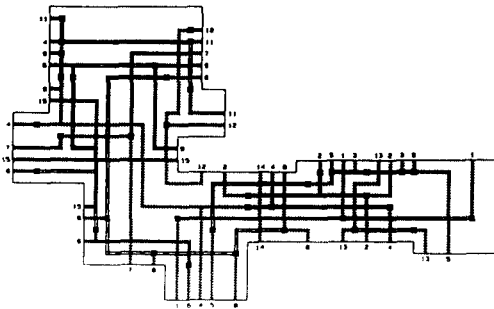


그림 22. 불규칙한 변들로 이루어진 L-형 채널에 대한 DINOSAUR의 3층 배선결과

Fig. 22. 3-layer routing result of DINOSAUR for a L-shaped channel with irregular boundaries.

VII. 결론

본 논문에서는 여러 형태의 배선영역을 다층 배선 할수 있으며 배선영역 내부에 존재하는 장애물들과 내부핀들, 그리고 미리 배선된 신호선들, 다양한 via 등을 처리 할수 있는 다목적인 다층 영역 배선기인 DINOSAUR를 제안하였다.

장애물이 있는 스위치박스, 불규칙한 변들로 이루어진 스위치박스, L-형 채널, 불규칙한 변들로 이루어진 L-형 채널등의 benchmark 예제들에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR를 다른 배선기들과 2층 배선결과를 비교한 결과, 본 논문에서 제안한 DINOSAUR가 다른 배선기들보다 뛰어난 배선결과를 나타냄을 입증할수 있었다. 또한 다층 배선결과에 대해서도 효율성이 우수함을 입증 할수 있었다. 따라서 sea-of-gate 레이아웃 설계방식, custom cell 설계방식, PCB(Printed Circuit Board) 설계방식, MCM(Multichip Module) 설계방식등을 사용할 경우 야기되는 여러 형태의 배선영역에 대하여 본 논문에서 제안한 DINOSAUR를 사용할 경우, 여러 형태의 다층 배선영역을 효과적으로 자동 배선 할수 있을 것으로 기대된다.

현재 본 논문에서 제안한 알고리즘을 PCB CAD 시스템에 결합시키는 연구가 진행되고 있다.

參考文獻

- [1] H. Shin and A. Sangiovanni-Vincentelli, "MIGHTY : A Rip-Up and Reroute Detailed Router," in *Proc. Int. Conf. CAD*, pp.2-5, 1986.
- [2] Howard H. Chen, "Routing L-Shaped Channels in Nonslicing-Structure Placement," in *Proc. 24th Design Automation Conf.* pp.152-158, 1987.
- [3] S. H. Gerez and O. E. Herrmann, "CRACKER: A General Area Router Based on Stepwise Reshaping," in *Proc. Int. Conf. on CAD*, pp.44-47, 1989.
- [4] S. H. Gerez and O. E. Herrmann, "Switchbox Routing by Stepwise Reshaping," *IEEE Trans. on Computer-Aided Design*, VOL.8, NO.12, pp.1250-1361, Dec. 1989.
- [5] P. F. Dubios, A. P. Puissochet, A. M. Tagant, "A General and Flexible Switchbox Router : CARIOCA," *IEEE Trans. on Computer-Aided Design*, Vol. 9 No.12, pp.1307-1317, DEC. 1990.
- [6] Chia-Chun Tsai, Sao-Jie Chen, Yuh-Lin Chen, Yu-Hen Hu, "Planning Strategies for Area Routing," in *Proc. European Conf. Design Automation*, pp.338-342, 1992.
- [7] 이승호, 정정화 "CONQUEROR : Divide-and-Conquer 기법을 사용한 스위치박스 배선기", 대한전자공학회 논문지 제30권 A편 pp.104-113, 3월 1993.
- [8] C.Y. Lee, "An Algorithm for Path Connections and its Application," *IRE Trans. on Electronic Computers*, Vol. EC-10, pp.346-365, Sept. 1961.
- [9] J. P. Cohoon and P. L. Heck, "BEAVER : A Computational-Geometry Based Tool for Switchbox Routing," *IEEE Trans. on Computer-Aided Design* Vol.7 pp.684-697, JUNE, 1988.

著 者 紹 介

李 昇 昊(正會員) 第 27卷 第 11號 參照

현재 한양대학교 대학원 전자공학과
박사과정

鄭 正 和(正會員) 第 27卷 第 11號 參照

현재 한양대학교 전자공학과 교수