

신호선 분할에 의한 2층 채널 배선 알고리즘

(An Efficient Algorithm for Two-Layer Channel Routing)

李基熙*, 嚴聖鎬*, 林載允**, 林寅七**

(Kee-Hee Lee, Sung-Ho Aum, Jae-Yun Lim and In-Chil Lim)

要 約

본 논문은 LSI/VLSI 레이아웃 설계에 있어서 신호선 분할에 의하여 2층 채널 배선을 효율적으로 할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

채널 배선 수행시에 발생하는 수직 제한 문제를 해결하기 위하여 doglegging 방법을 사용했으며, 신호선을 분할하고 dogleg를 사용할 때 poly층에 수평 세그먼트를, metal층에 수직 세그먼트를 compact하게 할 당하므로써 국부 채널 밀도내에서 배선을 가능하게 하였고, vias의 증가를 방지할 수 있게하였다.

본 알고리즘을 VAX 11/780에서 실행하였고, Deutch's difficult example에 적용 그 유효성을 입증하였다.

Abstract

This paper proposes a two-layer channel routing algorithm using the division of signal nets in LSI/VLSI layout design. To solve the vertical constraint problem, the doglegging method is used. Although signal net division and the dogleg are used, the routing is accomplished within local channel density and the increase in vias is repressed by assigning the vertical segments to the metal layer and the horizontal segments to the poly layer. The algorithm was implemented on a VAX 11/780 computer. The effectiveness of the proposed algorithm is proved by applying this algorithm to Deutch's difficult example.

I. 序 論

LSI/VLSI 칩 레이아웃 설계에 있어서 채널 배선법은 칩 이용율면에서 매우 효율적이고, 여러가지 기본 회로에 적용이 가능한 방법이다.

채널 배선의 목적은 채널 영역내에서 최소의 수평트랙을 사용하여 100% 배선을 행해야 되는 것으로 이에

대한 여러가지 방법이 제안되어 왔다.

채널 배선에 대해 처음으로 제안된 left-edge 알고리즘¹⁾은 사용된 수평 트랙의 수를 최소로 하는 방법이며, dogleg 개념을 도입한 LTX²⁾와 그래프 이론을 도입한 matching 알고리즘³⁾이 발표되었다. 또한 column by column 방법에 의한 greedy 알고리즘⁴⁾은 왼쪽에서 오른쪽으로 채널을 조사하고 해당 column에 배선을 완성하는 방법으로, 이 방법은 신호선 분할과 dogleg를 사용함으로써 발생하는 vias를 추가로 사용하지 않으며, 이에 YACR⁵⁾은 dogleg시 merging 방법을 이용한 알고리즘을 제안했다. 그러나 이들 방법은 수직 제한이 발생할 경우 이를 해결하기 위하여 column을 추가로 필요하게 되었다.

*準會員, **正會員, 漢陽大學校 電子工學科

(Dept. of Electron. Eng. Han Yang Univ.)

接受日字: 1986年 2月 26日

(※ 本 研究는 韓國學術振興財團의 支援으로 이루어진 것임.)

본 논문에서는 다단핀 신호선을 두핀 신호선으로 분할하고 수직 제한 그래프를 이용, 제한 조건을 고려하여 각 신호선의 가중치를 구하고 국부 채널 밀도가 최대인 column의 seed 신호선을 선택하여 순차적으로 신호선을 track by track 방법으로 배정하여 배선을 완성하는 알고리즘을 제시한다.

그리고 가중치에 의해 신호선을 트랙에 할당할 때 수직, 수평 제한이 발생할 경우 poly층에 수평 세그먼트 성분을, metal층에 수직 세그먼트 성분을 할당하는 compact한 배선을 수행함으로써 신호선 연결을 요구하는 배선 영역내에서 채널 영역의 증가없이 배선을 완성 하도록 한다.

본 알고리즘을 프로그래머 Deutch's difficult example에 적용, 그 유효성을 입증한다.

II. 채널 배선을 위한 신호선 배정

그림 1과 같이 상부 에지와 하부 에지만으로된 채널을 가진 배선 영역내에 신호선을 할당해야 하는 n개의 분할된 신호선이 있다고 가정하며, X축은 수평 세그먼트를 할당하는 rows(채널폭), Y축은 수직 세그먼트를 할당하는 columns(채널길이)를 나타낸다.

채널 배선에서 신호선을 할당하기 위해 기본적으로 고려해야 할 사항은 수평 제한과 수직 제한¹⁾이다.

수평 제한은 동일층상에서 서로 다른 두개의 신호선 수평 세그먼트 성분이 서로 겹침이 없어야 되는 것을 말하며, 그림 1의 예제에서 신호선 1과9는 서로 겹침이 발생 하므로 서로 다른 수평 트랙에 할당 되어야 함을 나타낸다.

수직 제한은 동일층상에서 서로 다른 두개의 신호선 수직 세그먼트 성분이 서로 충돌이 없어야 되는 것을 말하며, 그림 1의 예제에서 신호선 1과9는column 1에서 수직 제한이 발생 하므로 신호선 1은 신호선 9보다 상부 트랙에 할당 되어야 함을 나타낸다.

1. 채널 배선을 위한 모델링

그림 1은 상, 하부에 이미 배치가 끝난 기능블럭과 배선영역의 경계상에 단자를 가진 사각 채널 영역이라 가정하고, 여기에서 각 단자는 지정된 번호를 가지고 있으며, 화살표는 신호선의 연결방향(핀 방향)을 나타낸다고 하자.

채널 영역에서 신호선을 상호 연결하는 통로는 사각 그리드상으로 행한다고 가정한다. 이 영역은 m×n이며, m(n)은 그리드상의 rows(columns)를 나타낸다.

채널 영역은 2층(metal층, poly층) 구조로 이루어져 있으며, metal층상에 수평 트랙을 poly 층상에 수직 트랙을 기본적으로 이용하도록 하며, metal(poly)층에 수

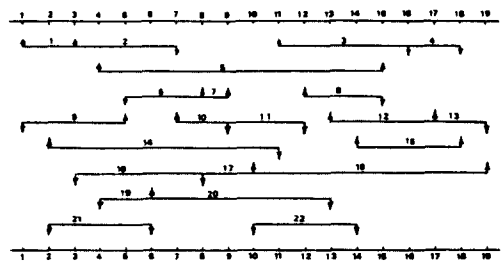


그림 1. 배선 요구에 대한 신호선 리스트
Fig. 1. Signal net list for routing.

표 1. 그림 1에 대한 입력 신호선 리스트
Table 1. Input signal net list for Fig. 1.

종류	Ni																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SPj	1	3	11	16	4	5	8	12	1	7	9	13	17	2	14	3	8	10	4	6	2	10
EPk	3	7	16	18	15	8	9	15	5	9	12	17	19	11	18	8	10	19	6	13	6	14
SPj's pin state	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1
EPk's pin state	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1
비 고	Ni ;Signal net SPj;Column j of Start Pin for Ni EPk;Column k of End Pin for Ni																					

직(수평) 세그먼트를 할당할 수 있다고 가정한다. 이것은 신호선 분할과 dogleg를 사용할 때 발생하는 vias 증가를 방지시킬 수 있다. 이때 metal층에 할당된 신호선 성분과 poly층에 할당된 신호선 성분은 via를 통해 연결이 되며 등전위점이 되도록 한다.

상부 에지의 단자 집합을 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 이라 하고 하부 에지의 단자 집합을 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 이라 하며 t(b)를 2(1)로 정의한다.

신호선 집합중 Na가 다점간 신호선으로 (t_1, t_2, b_3) 라면 신호선 Na를 $(t_1, t_2), (t_2, b_3)$ 로 분할하여 두핀 신호선 $Na' = (t_1, t_2), Na'' = (t_2, b_3)$ 와 같이 각각 독립된 신호선으로 간주하여 입력 신호선 리스트를 표 1과 같이 구성한다. 이때 신호선 리스트는 다음과 같이 모델링한다.

$$TN = \bigcup_{i=1}^n \{N_i \mid N_i = (P_{i_j}(x), P_{i_k}(x))\}$$

- TN; 총 신호선 집합
- N_i ; i번째 신호선
- P_{i_j} ; N_i 가 시작하는 columnj의 핀위치
- P_{i_k} ; N_i 가 끝나는 columnk의 핀위치
- X ; P_{i_j}, P_{i_k} 의 핀 상태

$$X = \begin{cases} 2, & \text{상부 단자로 향할 때} \\ 1, & \text{하부 단자로 향할 때} \\ 0, & \text{핀이 없는 경우} \end{cases}$$

그리고 신호선 리스트에 대해 하나의 신호선 양핀 모두가 상부 단자로 향하는 신호선을 A급, 각각 서로 다른 방향의 단자로 향하는 신호선을 B급, 양핀 모두가 하부로 향하는 신호선을 C급이라 정의한다.

2. 수직 제한 그래프 $G_v = (V, E)$ 의 작성

그림 2는 그림 1에 대한 수직 제한 그래프를 나타낸 것이다. 여기에서 두핀 신호선으로 분할된 n개의 신호선 N_i 들이 vertices가 되고, 각 vertex에 해당하는 신호선 $N_a(t_i, b_j)$ 와 $N_b(=t_k, b_l)$ 가 있다면 상부 단자 t_i 를 포함하는 vertex에서 하부 단자 b_l 를 포함하는 vertex로 방향성 에지를 부여하여 수직 제한 그래프를 작성한다.

즉 수직 제한 그래프의 방향성 에지는 동일한 column에서 수직 충돌이 발생할 때 동일한 수평 트랙에 신호선을 할당할 수 없음을 나타내며, 상부로 향하는 단자를 가진 신호선 N_a 는 하부로 향하는 단자를 가진 신호선 N_b 보다 위의 트랙에 할당 되어야 하는 신호선 배정 순서를 나타낸다.

예를들어 그림 1에서 신호선 1과 9를 모델화 해보면 다음과 같다.

$$N_1 = (P_{11}(2), P_{13}(2))$$

$$N_9 = (P_{91}(1), P_{93}(2))$$

여기에서 N_1 은 $P_{11}(2)$ 를 N_9 는 $P_{91}(1)$ 를 포함하므로 vertex (t_1, t_3) 에서 vertex (b_1, t_3) 로 방향성 에지를 부여한다.

그림 2는 그림 1에 대한 완성된 $G_v(V, E)$ 이다.

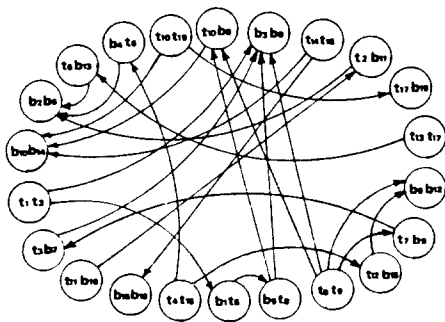


그림 2. 그림 1에 대한 수직 제한 그래프
Fig. 2. Vertical constraint graph for Fig. 1.

3. 신호선의 가중치

신호선 할당시 수직(수평) 제한을 고려하여 각 신호선에 대한 배정 위치를 효과적으로 정하기 위한 신호

선 가중치(W_i)의 함수식은 다음과 같다.

$$W_i = CN_i + (-f_1 \times Vid + f_2 \times Vod) \times PN_i$$

이 식에서 Vid 는 $G_v(V, E)$ 에서 i 번째 vertex로 진입하는 최대 에지 깊이이며, Vod 는 $G_v(V, E)$ 에서 i 번째 vertex로부터 나가는 최대 에지 깊이를 나타낸다.

상수 CN_i 는 A급, B급, C급의 신호선에 대한 각각 고유의 값을 부여한다. 이것은 채널 영역내 신호선 할당시 A급 신호선은 B급 신호선 위에, C급 신호선은 B급 신호선 아래에 놓여야 하는 순서를 나타내며, 제한 조건에 따라 전체 값이 변하도록 값을 정했다. 그리고 f_1 과 f_2 는 수직 제한을 갖는 신호선이 갖지 않는 신호선보다 아래쪽에 위치하도록 한 것이며, 제한 조건을 고려하여 값을 정했다. 예제에서는 CN_i 를 각각 7000, 5000, 3000으로 했으며, f_1 과 f_2 를 각각 5, 15로 부여했다.

그리고 신호선의 패턴에 대한 변수식을 PN_i 라 정하고, PN_i 는 각각 다음과 같다.

- $(N - M_0)$; $N < \text{column } n$ 이며 A급 신호선 그리고 B급 신호선중 $Vid > 0, Vod = 0$ 혹은 $Vod > 0, Vid = 0$ 일 경우
- $(M_0 - N)$; $N < \text{column } n$ 이며 B급 신호선이 $Vid > 0, Vod > 0$ 일 경우
- (M_0) ; $N > \text{column } n$ 일 때, 그리고 $N < \text{column } n$ 이며 C급 신호선일 경우

여기서 M_0 는 각 신호선의 $N_i (i=1, 2, \dots, n)$ 에 대한 수평 제한이 발생하는 신호선 갯수이고, N 은 두핀으로 분할된 신호선 총 갯수이며 column n 은 전체 column 수를 나타낸다.

3. 신호선 seed의 선택과 결정

채널 밀도가 최대인 column을 선택하여 seed column (SC)으로 정하고, SC를 통과하는 신호선 집합을 seed신호선(SN)으로 한다.

먼저 $j (j=1, 2, \dots, n)$ 번째 column(C_j)에서 신호선의 핀 점과 수평 세그먼트가 통과하는 신호선의 총수를 구한다. 이때 최대 밀도를 갖는 C_j 를 SC로 선택하고, SC를 통과하는 seed신호선 집합 $SN_i (i=1, 2, \dots, \lambda)$ 를 가중치 W_i 에 따라 큰것부터 작은 순서로 수평 트랙(TR)1~ λ 에 할당한다. 여기서 λ 는 2층 구조에서의 채널 배선 설계시 사용되어야 할 최적 채널폭이다.

그림 1의 예제에서 각 column 밀도는 (2, 4, 5, 7, 8, 7, 7, 6, 6, 6, 6, 7, 7, 7, 7, 6, 4, 4, 4, 2)이고, 여기서 선택된 SC는 $\lambda = 8$ 인 column 5이다. 만약 채널 밀도가 최대인 column이 두개 이상이면 j 가 가장 적은 column을 SC로 선택한다.

예제에서 SC는 5 이고, seed신호선 집합 $SN_i = \{5, 9, 6, 14, 19, 2, 21, 16\}$ 이며, $TR_i (i=1, 2, \dots, \lambda)$ 에 각 각 선택된 seed신호선이다.

5. 신호선 선택과 신호선 할당 방법

SC_i에서 결정된 seed신호선 SN_i 를 기준으로 각 신호선의 가중치에 의하여 할당할 모든 신호선의 각 트랙 등급을 $TDSN_i (i=1, 2, \dots, \lambda)$ 라 정하고 $TDSN_i$ 의 가중치와 각 신호선의 가중치를 비교하여 가중치에 의해 할당되어야 할 기준 TR의 $TDSN_i$ 를 각 신호선에 부여한다.

SC_i에서 선택된 TR_{λ} 내에서 배선을 완성하기 위하여 SC_j를 기준으로 오른쪽, 왼쪽을 각각 탐색해가면서 우선 *via*를 사용하지 않고 poly층만으로 배선할 수 있는 $|SP_j - EP_k|$ (j와 k는 column번호)가 0혹은 1인 신호선과 수직 제한을 받지 않는 신호선 집합을 E로 정의하고, 이것을 초기 배선에서 제외한다.

신호선 집합 $N_i = TN - E$ 를 SC_{j+1}(SC_{j-1})에서 아직 할당되지 않은 새로운 신호선 N_i 를 탐색하여 그 신호선의 $TDSN_i$ 에 해당하는 TR_i 를 찾아 TR_i 이 비어 있으면 SC_{j+1}(SC_{j-1})에서 끝핀(EP)을 가진 SC_i에서 이미 할당된 신호선 N_k 의 핀 방향과 N_i 의 시작핀(SP) 방향을 비교한다. 이때 수직 제한이 없으면 N_i 을 $TDSN_i$ 에 해당하는 TR_i 에 할당하고, 수직 제한이 발생하면 신호선 핀 방향에 따라 $TR_{i-1}(L-\lambda)$ 로 탐색하여 비어 있는 TR_i 에 할당한다. 이때 EP를 가진 신호선과 SP를 가진 신호선은 각각 2개 이하이다.

만약 $TR_{i-1}(L-\lambda)$ 가 없으면 N_i 를 TR_i 에 할당하고 N_k 신호선을 SC_{j,r} ($r=0, 1, \dots, n-1$)를 기준으로 한 column씩 감소(증가)해가면서 수직 제한이 없는 column을 찾아 N_k 신호선의 EP(SP)의 핀 방향에 따라 빈 단자 혹은 TR를 찾아 dogleg를 사용하여 연결을 완료한다(그림3).

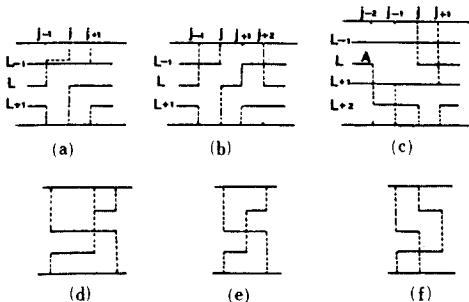


그림 3. 제한이 발생할 때 신호선 할당방법
Fig. 3. Signal net assignment method when constraint is occurred.

만약 신호선 N_k 의 TR_i 과 N_i 의 $TDSN_i$ 가 같으면, 즉 수직 제한이 발생하면 신호선 N_i 을 TR_i 을 기준으로 +1, -1씩 반복 탐색하여 빈 TR_i 에 할당하여 SP방향에 따라 연결을 완성한다.

초기 배선을 완료한 후 다른 두개의 신호선이 SC_{j,r} (SC_{j-r})에서 EP(SP)가 수직 제한, 즉 주기성이 발생할 경우 하나의 신호선 SP(EP)점인 SC_{j,r}(SC_{j-r})를 기준으로 한 column씩 감소(증가)해가면서 수직 제한이 없는 column을 조사하여 dogleg를 사용하여 배선을 완성하고, 만약 dogleg를 할 수 없으면 SC_{j,r} (SC_{j-r})를 기준으로 한 column씩 증가(감소)해가면서 jog를 실시하도록 한다(그림3. e, f).

위의 방법이 모두 불가능할 경우에는 $TR_{\lambda+1}$ 로 한다.

Dogleg를 사용할 때 poly층에 수직 세그먼트를, metal층에 수직 세그먼트를 배정하여 vias 증가를 방지하고 그림 3 (a, b)와 같이 compact 하게 배선을 행하고, E로 신호선을 $TDSN_i$ 에 할당하여 poly층으로만 배선을 행하여 완성한다. 그러나 그림 3(c)와 같이 신호선 A는 dogleg시 TR_{i+1} 을 통과하는 신호선이 있으므로 *via*를 사용하여 배선하여야만 한다.

표 2는 그림 1에 대한 컴퓨터 수행 결과이며, 그림 4는 배선요구에 대한 실현 결과이다.

표 2. 표 1에 대한 배선수행결과
Table. 2. Result of routing for Table.1.

ROW \ COL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	69	1	99	69	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	99	0	0	0	0
2	66	9	9	9	99	0	69	10	96	69	18	18	18	18	18	18	18	18	99
3	0	0	0	0	66	6	6	99	0	0	69	3	3	3	96	0	0	0	0
4	0	69	14	14	14	14	14	14	14	96	69	8	8	96	0	0	0	0	0
5	0	0	0	66	19	69	20	20	20	20	20	0	69	12	12	12	69	13	96
6	0	0	69	2	2	2	96	66	17	99	20	20	96	69	15	15	15	99	0
7	0	66	21	21	21	96	0	0	66	11	11	96	0	0	0	66	4	96	0
8	0	0	66	16	16	16	96	0	66	22	22	22	96	0	0	0	0	0	0

비고

$|E_i - SP_j - EP_k| = 1 = 7$
Signal numbers=22
Used column numbers=19
Used track numbers= 8

99; End Pin's direction toward top terminal
96; End . . . bottom .
69; Start . . . top .
66; Start . . . bottom .
Each number ; Signal net number for fig.1

III. 알고리즘

앞절에서 설명한 신호선 선택과 신호선 할당을 위한

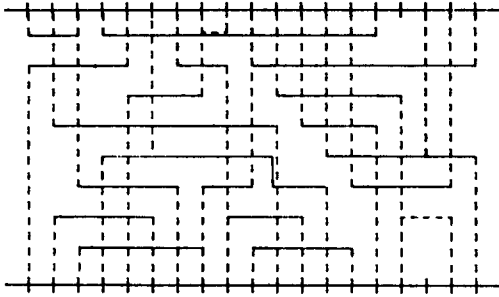


그림 4. 그림 1의 배선 요구에 대한 실현
 Fig. 4. A realization for the routing requirement in Fig. 1.

배선 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1 : 다단핀 신호선을 두핀 신호선으로 분할하고, G_v 를 작성한다.

단계 2 : 모든 신호선에 대한 W_i 를 구한다.

단계 3 : 국부 채널 밀도가 최대인 SC_i 를 찾고, seed 신호선 SN_i 를 선택하여 각 N_i 신호선 W_i 에 대한 모든 신호선의 TDSN_i를 정한다.

단계 4 : SC_i 에 SN_i 신호선 집합을 W_i 값이 큰 것부터 작은 순서로 $TR_i (i=1, 2, \dots, \lambda)$ 에 할당한다.

단계 5 : E_i를 제거한다.

단계 6 : $\{N_i, i=TN - E_i\}$ 에 대해 SC_j 를 기준으로 한 column씩 오른쪽, 왼쪽으로 이동하면서 새로운 SP (EP)를 갖는 신호선을 탐색하여 새로운 신호선이 있으면 단계 7로, 없으면 EP(SP)를 C_i 에 연결하고, 이 과정을 반복한다. 만약 column 0 ($n+1$)이면 단계 12로 간다.

단계 7 : 선택된 새로운 신호선의 TDSN_i에 해당하는 TR_L 을 조사한다. 빈 TR_L 이면 할당하여 연결을 완료하고 단계 6으로 간다. 만약 수직 제한이 발생하면 단계 8로, 수직 제한이 발생하면 단계 9로 간다.

단계 8 : $TR_{L-1}(\lambda)$ 로 수직 제한이 발생하면 단계 9로, 아니면 TR_L 에서 +1, -1씩 반복 탐색하여 빈 TR_L 에 할당한 후 단계 6으로 간다.

단계 9 : 핀 방향을 확인, 비교하여 $TR_{L+1-\lambda(i-L-1)}$ 을 탐색하여 빈 TR에 할당하고 단계 6으로, 없으면 단계 10으로 간다.

단계 10 : $SC_{j+r}(SC_{j-r})$ 을 기준으로 -1(+1)씩 이동하면서 빈 column이 있는가를 조사한다. 있으면 TR_L 에 할당된 신호선을 EP(SP)의 방향으로 dogleg를 사용하고, 없으면 compact하게 배선할 수 있는 트랙을 조사하여 dogleg를 사용 배선하고 단계 6으로 간다. 불가능하면 단계 11로 간다.

단계 11 : $SC_{j+r}(SC_{j-r})$ 을 기준으로 +1(-1)씩 이

동하면서 빈 TR과 column를 탐색하여 jog를 실시하고, 없으면 $TR \lambda + 1$ 로하여 배선하고 단계 6으로 간다.

단계 12 : 초기 배선된 자료에서 수직 제한이 발생하면 dogleg를 사용하여 배선하고, E_i을 할당한다.

단계 13 : 종 료

IV. 알고리즘 적용 결과 및 검토

본 알고리즘을 FORTRAN으로 프로그램하여 Deutch's difficult example에 적용 해본 결과 수직, 수평 트랙을 추가하지 않고, 주어진 연결 요구를 완성할 수 있었으며, 채널 면적의 관점에서는 최적에 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

일반적으로 채널 배선의 해를 평가하는 측정 기준¹⁰⁾은 사용된 채널폭, 채널길이, vias수, 총세그먼트 수이다. 그러나 이들 평가 기준은 모든 해를 동시에 만족하기는 어렵다. 예를들어 주기 제한을 해결하기 위하여 vias와 수직, 수평 세그먼트를 추가로 사용해야만 된다(그림3, d, e, f).

표 3은 신호선수가 52, column수가 157, 채널밀도가 19인 Deutch's difficult example에 대하여 본 알고리즘을 수행해 본 그림 5의 결과를 종전의 연구 결과와 비교하여 나타내었다. 이 표에서 보는 바와 같이 트랙의 증가없이 배선을 완성하였고, 사용된 vias는 참고 문헌 [10]보다 감소 되었음을 알 수 있다.

그림 1의 예제에서 신호선 분할을 하지 않았을 때 주어진 신호선 리스트는 수직 제한 그래프에서 $(t_1, t_3, b_7) \rightarrow (b_1, t_3) \rightarrow (b_3, t_3, t_9) \rightarrow (t_7, b_3, b_{12}) \rightarrow (t_1, t_3, b_7)$ 과 같이 주기를 이루고 있으므로 신호선 분할을 고려하지 않은 참고문헌 [1]과 [2]의 방법으로는 배선을 완성할 수 없으며, 신호선을 세그먼트 단위로 트랙에 할당하여 해당 column에 연결을 완성하는 참고문헌 [4]와 [7]의 방법은 배선을 완성할 수 있으나, 주기성을 해결하기 위하여 column을 추가로 필요하게 되었다.

그러나 본 알고리즘은 주기가 존재할 때 poly층에 수평 세그먼트 성분을 metal층에 수직 세그먼트 성분을 compact하게 할당하여 트랙의 증가없이 배선을 완성하였고, 또한 이때 발생하는 vias와 수직, 수평 세그먼트의 증가를 방지 하도록 했다.

표 4는 본 알고리즘을 참고문헌 [2]의 예제들이 적용해 본 결과를 비교하여 나타낸 것으로 본 알고리즘의 목적 함수는 주어진 채널 영역 ($\lambda \times n$) 내에서 100% 배선을 행하는데 중점을 두었으며, 신호선을 분할 함으로써 채널 영역은 최적이었으나, 경우에 따라서는 참고문헌 [2]의 방법에 비하여 vias의 증가를 가져오게 되었다.

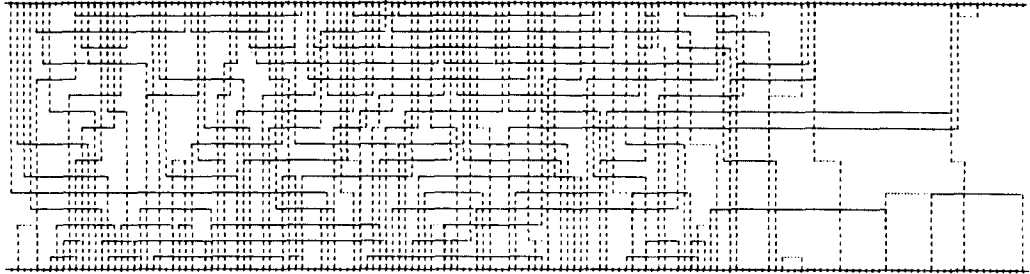


그림 5. Deutch's difficult example에 대해 본 알고리즘을 적용한 배선결과

Fig. 5. Result of channel routing applying the proposed algorithm to Deutch's difficult example.

표 3. Deutch's difficult example에 대해 본 알고리즘과 참고문헌[10]의 알고리즘과의 비교결과
Table 3. Comparative result of the proposed algorithm with ref.[10] for Deutch's difficult example.

Deutch's difficult problem	구 분	[10]에 의한 해	본알고리즘에 의한 해
신호선수 : 52 채널길이 : 157 채널밀도 : 19	최적 채널 폭	16	
	사용된 채널 폭	16	16
	사용된 채널길이	157	157
	사용된 via 수	254	198
	사용된 총세그먼트수	2607	2601
	추가된 column	0	0

신호선 분할과 수직 제한 발생으로 dogleg 사용시 poly층에 수평 세그먼트, metal층에 수직 세그먼트를 compact하게 배정하는 방법을 사용하여 트랙과 vias 증가를 방지하였으며, 신호선 등급에 따른 가중치 부여로 사용된 신호선의 길이를 줄이도록 했다.

또한 알고리즘을 프로그래밍하여 Deutch's difficult example에 적용해본 결과 2층 구조의 배선설계시 최적에 근접한 채널 밀도내에서 배선을 완성하여 효율적인 채널 배선임을 입증했다.

본 알고리즘은 gate array, standard cell, macro cell 배선 설계에 적용할 수 있으리라 기대되며, 배선 설계 시스템을 구성하기 위해 글로발 배선 부분을 더하면 전체적 칩 배선을 다룰 수 있다고 생각한다.

표 4. 본 알고리즘과 참고문헌[2]의 알고리즘과의 비교결과

Table 4. Comparative result of the proposed algorithm with ref[2].

예 제	종 류	신호선수	채널길이	[2]에 의한 해	본알고리즘에 의한 해
				(track수)	(track수)
예제 1	[2]의 Fig. 27	44	67	17	16
예제 2	[2]의 Fig. 28	49	84	18	18
예제 3	[2]의 Fig. 30	57	119	20	20
예제 4	Fig. 1	14	19	?	8

V. 結 論

본 논문에서는 신호선 분할에 의한 채널 배선 알고리즘을 제시했다.

다단된 신호선을 두핀 신호선으로 분할하여 수직 제한 그래프에 의한 신호선 가중치를 구하고, 국부 채널 밀도가 최대인 seed column을 선택하여 seed column을 통과하는 seed 신호선을 결정, 가중치에 의한 track by track 방법으로 신호선을 할당 하였다.

參 考 文 獻

- [1] A. Hashimoto and S. Stevens, *Wire Routing by Optimizing Channel Assignment Within Large Apertures*, proc. 8th D.A. Workshop, pp. 155-169, 1971.
- [2] T. Yoshimura and E.H. Kuh, "Efficient Algorithm for Channel Routing," *IEEE Trans. CAD of IC and System*, vol. CAD-1, no.1, pp. 25-35, 1982.
- [3] G. Persky, D.N. Deutch and D.G. Schweikert, *LTX-A System for the Directed Auto-mation Design of LSI Circuit*, proc. 13th D.A. Conf., pp. 399-407, 1976.
- [4] R.L. Rivest and C.M. Fiduccia, *A Greedy Channel Router*, proc. 19th D.A. Conf., pp. 418-424, 1982.
- [5] S.Y. Boar, C.Y. Tasy and K.S. Chao, *A Weighted Path Algorithm for Channel Routing*, proc. *IEEE ISCAS*, pp 1225-

- 1228, 1983.
- [6] D.N. Deutch, *A Dogleg Channel Router*, *proc. 13th D.A. Conf.*, pp. 425-433, 1976.
- [7] A.S. Vincentelli and M. Santomauro, "YACR: Yet another channel router," *proc. IEEE ISCAS*, pp. 327-331, 1983.
- [8] 李基熙, 嚴聖鎬, 林載允, 林寅七, "VLSI Layout에서의 효율적인 채널 배선 알고리즘", 대한 전자공학회 CAD·반도체·재료 및 부품연구회 활동 학술발표회 논문집, vol. 4, no. 1, pp. 42~47, 1985.
- [9] 嚴聖鎬, 李基熙, 林寅七, "신호선 순서할당에 의한 채널 배선 알고리즘", 대한전자공학회 추계 학술대회 논문집, vol. 7, no2, pp. 323~326, 1984.
- [10] H.W. Leong and C.L. Liu, "A New Channel Routing Problem" *IEEE 20th D.A. Conf.*, pp. 584-590, 1983.
- [11] M. Marek-Sadawska and E.S. Kuh, "A new approach to channel routing," *Proc. IEEE ISCAS*, pp. 764-767, 1982.
-