

## 스위치박스 배선 유전자 알고리즘

### The Genetic Algorithm for Switchbox Routing

송 호 정\*, 정 찬 근\*\*, 송 기 용\*

Ho-Jeong Song, Chan-Gun Jeong, Gi-Yong Song

#### 요 약

최근 VLSI 회로 설계는 자동 레이아웃(automatic layout) 툴을 사용하여 효과적으로 이루어지고 있다. 자동 레이아웃은 VLSI 칩 상에 모듈들의 위치를 결정하는 배치와 각 모듈간을 상호 연결하는 배선 두 가지의 중요한 기능으로 구성되어 있다. VLSI 칩의 성능과 면적은 이 두 가지의 기능을 수행하는 알고리즘의 성능에 따라 크게 좌우된다. 스위치박스 배선은 VLSI 설계 과정중의 하나로, 채널 배선과는 다르게 4면에 존재하는 같은 네트에 속하는 터미널들을 배선하는 문제이며, 모든 터미널들을 완전히 연결을 해야 하는 문제이다.

본 논문에서는 스위치박스 배선 문제에 대하여 유전자 알고리즘(genetic algorithm; GA)을 이용한 해 공간 탐색(solution space search) 방식을 제안하였으며, 제안한 방식을 여러 문제들에 대해 기존의 스위치박스 배선 알고리즘과 비교, 분석한 결과 거의 대부분의 문제들에서 배선 길이와 비아수 측면에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

#### Abstract

Current growth of VLSI design depends critically on the research and development of automatic layout tool. Automatic layout is composed of placement assigning a specific shape to a block and arranging the block on the layout surface and routing finding the interconnection of all the nets. Algorithms performing placement and routing impact on performance and area of VLSI design. Switchbox routing is a problem interconnecting each terminals on all four sides of the region, unlike channel routing.

In this paper we propose a genetic algorithm searching solution space for switchbox routing problem. We compare the performance of proposed genetic algorithm(GA) for switchbox routing with that of other switchbox routing algorithm by analyzing the results of each implementation. Consequently experimental results show that our proposed algorithm reduce routing length and number of the via over the other switchbox routing algorithms.

**Key words** : genetic algorithm, switchbox routing

#### I. 서 론

VLSI 설계 기술의 빠른 발달로 회로 설계는 점점 더 복잡해지고, CAD 툴에 대한 의존도 또한 더 높아지고 있다. 자동 레이아웃은 VLSI 칩 상에 모듈들의 위치를 결정하는 배치(placement)와 각 모듈간을 상호 연결하는 배선(routing) 두 가지의 중요한 기능으로 구성되어 있으며, 이 두 가지의 기능을 수행하는 알고리즘의 성능에 따라 VLSI 칩의 성능과 면적이 크게 바뀔 수 있다. 배치와 배

선은 밀접한 관계가 있지만, 그들의 계산상 복잡도 때문에 개별적으로 문제를 해결한다. 그러므로, 배치 알고리즘은 다양한 배치에서의 배선 복잡도를 추정하기 위하여 대략적인 계산 방법을 사용하여 가장 낮은 배선 복잡도를 가지는 배치를 선택하며, 배선 알고리즘은 주어진 배치 결과를 가지고 각 네트들의 정확한 배선을 수행한다.

배치 단계에서 회로 블록과 핀들의 위치가 결정되면, 각 블록들 사이에 배선 영역이 생성된다. 배치 단계에서 생성된 배선 영역에 네트들의 위치를 결정하는 것을 배선이라 한다.

배선 문제는 연결선의 구체적인 위치를 결정하지 않고 각 네트들을 배선 영역에 할당시키는 글로벌 배선(global routing)과 각각의 배선 영역에 할당된 네트들의 구체적

\*충북대학교 컴퓨터공학과, \*\*(주)네오찬  
접수 일자 : 2003. 5. 30      수정 완료 : 2003. 10. 06  
논문 번호 : 2003-2-16

인 위치를 결정하는 디테일드 배선(detailed routing)의 두 단계로 나눌 수 있으며, 디테일드 배선은 채널 배선(channel routing)과 스위치박스 배선(switchbox routing)으로 구분된다[1][2].

채널 배선 문제는 평행한 두 면에 존재하는 같은 네트에 속하는 터미널들을 연결하는 문제이며, 스위치박스 배선 문제는 4면 모두에 존재하는 같은 네트에 속하는 터미널들을 연결하는 문제이다. 채널 배선과 스위치박스 배선 모두 모든 터미널들을 완전하게 연결하여야 한다.

즉, 스위치박스의 목표는 스위치박스 내의 모든 터미널들을 연결하는 것이며, 최적의 스위치박스 배선은 배선의 길이와 비아(via)의 수가 최소가 되도록 연결시키는 것으로서, 배선 결과에 따라 VLSI 칩의 성능에 영향을 미치므로, 스위치박스 배선은 VLSI 회로 레이아웃을 위한 EDA 툴에서 매우 중요하다.

본 논문에서는 VLSI의 설계 과정 중 스위치박스 배선 문제에 대하여 유전자 알고리즘[3][4][5]을 이용한 해 공간 탐색 방식을 제안하였으며, 이 방식을 다른 스위치박스 배선 알고리즘과 비교, 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 스위치박스 배선 문제에 대한 기존 연구에 대하여 장단점을 비교하고, III장에서는 스위치박스 배선 문제에 대하여 알아보았으며, IV장에서는 본 논문에서 제안한 스위치박스 배선 유전자 알고리즘의 데이터 표현 방법과 알고리즘에 대하여 설명한다. V장에서는 제안한 스위치박스 배선 알고리즘과 다른 스위치박스 배선 알고리즘을 비교하였고, 마지막으로 VI장에서는 결론을 기술한다.

## II. 기존 연구

스위치박스 배선문제는 조합최적화 문제이므로, 모든 스위치박스 배선 알고리즘은 휴리스틱 방법이 적용되었고 많은 휴리스틱 스위치박스 라우터가 제안되었다.

MAREX[6] 알고리즘은 구체적인 순서를 적용시킨 다섯 가지의 배선 룰을 사용하여 Burstein의 difficult switchbox를 성공적으로 배선하였으며, WEAVER[7] 알고리즘은 지식-기반 전문 배선 시스템을 개발하기 위하여 배선 지식을 사용하였다. 이 알고리즘은 매우 성공적인 룰 기반 스위치박스 라우터처럼 보였으나, 수 백 가지의 룰로 인하여 매우 복잡하였다. 즉, 스위치박스 배선 문제를 해결하기 위하여 매우 많은 시간이 필요하였고, 칩 상의 실제 스위치박스를 배선하기에는 효과적이지가 않다. MIGHTY[8]는 배선 수정을 기반으로 한 디테일드 영역을 배선하는 알고리즘으로서, 네트들은 매우 간단한 휴리스틱 방법에 의해 우선순위 큐에 들어가고 순서에 따라 배선되며, 최단 경로가 전혀 최적이지 아니거나 네트를 연결하기 위한 경로가 없을 때 이미 배선된 배선들을 옮기거나 삭제한다. BEAVER[9]는 현재까지 가장 빠른 스위치박스 배선 알고리즘으로서, Corner 라우터,

Line sweep 라우터, Thread 라우터의 세 가지 방법을 사용한다. CARIOCA[10]는 스위치박스를 배선하기 위하여 네트 분리 기술을 사용하는 알고리즘으로서, 우선 네트들 알고리즘의 기본 단위인 부-네트들로 나눈 후에 모든 부-네트들이 배선이 완료될 때까지 다음의 두 단계를 수행한다.

- 1) 휴리스틱 알고리즘에 의해 우선순위가 주어진 모든 부-네트들이 아직 배선이 완료되지 않았으면, 그 중의 하나를 선택하고 배선한다.
- 2) 부-네트의 배선으로 우선순위가 변화되고, 다른 부-네트가 선택되고 배선된다.

## III. 스위치박스 배선 문제

스위치박스는 Top 터미널 집합 T, bottom 터미널 집합 B, left 터미널 집합 L, 그리고 right 터미널 집합 R로 표현되는 사각 영역의 4면에 위치한 터미널들로 이루어진 사각 배선 영역이며, 스위치 박스 배선은 스위치박스에 위치한 터미널 집합 중 같은 네트에 속하는 터미널들을 모두 완전하게 연결하는 문제이다.

즉, 스위치박스의 목표는 스위치박스 내의 모든 터미널들을 연결하는 것이며, 최적의 스위치박스 배선은 배선의 길이와 비아의 수가 최소가 되도록 연결시키는 것으로서, 배선 결과에 따라 VLSI 칩의 성능이 영향을 받는다.

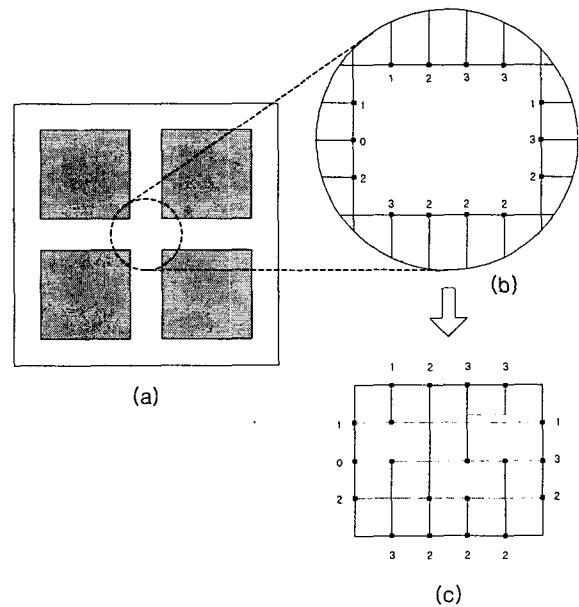


그림 1. (a) VLSI 회로 (b) 스위치박스 배선 문제 (c) 배선 완료된 스위치박스

Fig. 1 (a) VLSI Circuit (b) Switchbox routing problem.

(c) A possible routing solution.

그림 1은 VLSI 회로에서의 채널 배선 문제와 배선이 완료된 결과를 보이고 있다. 그림 1(a)는 VLSI 회로에서 배치가 완료된 상태를 보인 것이며, 그림 1(b)는 스위치박스 배선 문제를 나타내고, 그림 1(c)는 배선 완료된 스위치박스를 나타내고 있다.

#### IV. 스위치박스 배선 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 진화 과정에서 유도된 탐색방법으로, 이 알고리즘은 염색체와 유사한 자료구조를 사용하여 해공간을 부호화하며, 부호화한 자료 구조에 재조합 연산을 적용하여 염색체들을 진화시킨다.

유전자 알고리즘은 처음에 임의로 선택된 염색체 집단 (population of chromosome)에서 시작하며, 이러한 염색체 집단 중에서 일정한 방식으로 부모 염색체를 선택하고 이들 부모 염색체를 교배시켜 자식 염색체를 생성한다. 새로 생성된 자식 염색체는 평가함수에 의해 평가되며 좋은 평가 결과를 가지는 염색체가 다음 세대에 살아남을 확률이 높게 된다. 이와 같은 방식으로 유전자 알고리즘은 염색체 집단의 진화를 통하여 최적해에 근접할 수 있으므로, 최적해를 구하기 어려운 여러 조합최적화 문제에 적용될 수 있다[4][5].

##### 1. 염색체의 표현

스위치박스 배선 문제는 스위치박스에 위치한 터미널 집합 중 같은 네트에 속하는 터미널들을 모두 완전하게 연결하는 것으로 스위치박스 배선 문제를 유전자 알고리즘으로 표현하기 위해서는 각 터미널들을 연결하는 네트들이 스위치박스 영역에서 어떤 레이어를 사용하여 어떻게 위치하는지를 나타낼 수 있어야 한다.

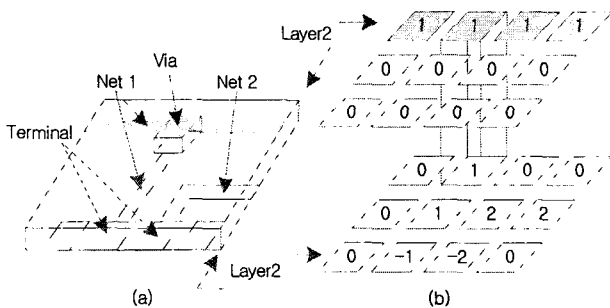


그림 2. 스위치박스 배선의 (a) 표현형 (b) 유전자형  
Fig. 2 (a) Phenotype (b) Genotype for switchbox routing.

그림 2는 스위치박스 배선의 표현형과 유전자형을 보았다. 그림 2(b)에서 각 셀 내의 숫자중 양수는 레이어의 번호(1 또는 2)를 나타내고, 음수는 네트의 번호를 나타

내는 것이다.

그림 2(b)의 유전자형을 다음과 같은 염색체로 표현할 수 있다.

Layer 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Layer 2	0	1	0	0	0	1	2	2	0	-1	-2

그림 3. 염색체의 표현

Fig. 3. Representation of chromosome

##### 2. 평가함수(Evaluation Function)

유전자 알고리즘이 진행되는 동안 현재 모집단 (population)의 개체들은 특정 평가함수에 의해 평가된다. 스위치박스 배선 문제에서의 평가함수는 배선이 완료되었을 때 총 배선의 길이와 비아의 수로서 나타낼 수 있다(식 1).

$$F = \frac{1}{\alpha \cdot L_n + \beta \cdot N_v} \quad (1)$$

여기서,  $L_n$ 은 총 배선의 길이를 나타내고,  $N_v$ 는 비아의 수를 나타낸다. 또한  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 페널티(penalty) 비율로써  $\alpha=[0,1], \beta=1-\alpha$ 의 값을 갖는다.

##### 3. 교배 연산자(Crossover Operator)

유전자 알고리즘에서 각 세대의 모집단은 교배를 통해 각 부모의 유전 정보를 상속받게 된다. 이러한 교배로 생성되는 자손들 중 좋은 형질을 상속받은 자손은 다음 세대에 살아남을 높은 확률을 가지게 되고, 그렇지 않은 자손은 낮은 확률을 가지게 된다.

본 논문에서는 2-점 교배 연산자를 사용하여 교배 연산을 수행하였다. 2-점 교배 연산자는 2개의 교배점 사이의 유전인자를 서로 교환하는 방법으로 이루어진다. 알고리즘 1과 그림 4는 스위치박스 배선 2-점 교배 연산의 구체적인 연산 방식을 기술한 것이다.

##### 알고리즘 1. 스위치박스 배선 2-점 교배 연산

- 1단계 : 교배를 하기 위한 2개의 교배점(cross point)을 랜덤 하게 선택한다.
- 2단계 : 부모 염색체 P1에서 두 개의 교배점에 의해 만들어진 가운데 부-염색체(sub-chromosome)를 자식 염색체 C2의 같은 위치에 복사한다. 자식 염색체 C1도 같은 방식으로 복사한다.
- 3단계 : 부모 염색체 P1에서 가운데 부-염색체를 제외한 나머지 유전자들을 C1의 같은 위치에 복사

한다. C2도 같은 방법으로 생성한다.

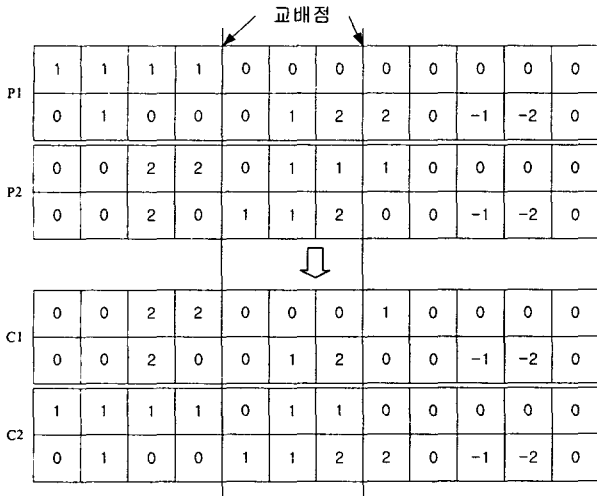


그림 4. 2-점 교배 연산  
Fig. 4. 2-point crossover operation.

4. 돌연변이(Mutation)

유전자 알고리즘에서 각 세대의 모집단은 진화를 진행하면서 열거자 하는 해에 가까운 염색체들로 구성된 모 집단으로 수렴하게 되지만, 그 결과가 최적해가 아닌 지역해로 수렴할 수도 있으며, 이러한 지역해로의 수렴을 막기 위하여 돌연변이 연산을 수행하게 된다.

그림 5와 알고리즘 2는 스위치박스 배선 돌연변이 연산의 구체적인 연산 방식을 기술한 것이다

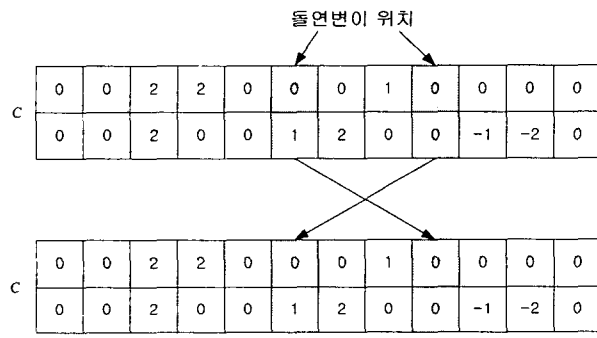


그림 5. 돌연변이 연산  
Fig. 5. Mutation operation

알고리즘 2. 스위치박스 배선 돌연변이 연산

- 1단계 : 돌연변이 위치(mutation point) m1과 m2를 랜덤하게 선택한다.
- 2단계 : 선택된 돌연변이 위치에 속하는 유전인자를 서로 교환한다.

5. 스위치박스 배선 유전자 알고리즘(SBRGA)

알고리즘 3은 앞에서 기술한 염색체와 평가함수, 교배 연산자, 그리고 돌연변이 연산자를 사용한 스위치박스 배선 유전자 알고리즘을 나타낸다.

알고리즘 3. 스위치박스 배선 유전자 알고리즘

- 단계 0 : 파라미터들의 설정  
개체의 수를 나타내는 pop\_size, 돌연변이율을 나타내는 P<sub>m</sub>, 최대 생성 횟수를 나타내는 max\_gen, 그리고 페널티 비율 α와 β를 설정한다.
- 단계 1 : 초기 모집단의 생성  
각기 다른 pop\_size 만큼의 객체 S<sub>i</sub>(i=1, ..., pop\_size)를 랜덤하게 생성한다.
- 단계 2 : 모든 모집단의 평가함수를 계산하고 최대, 최소 객체를 기억한다.
- 단계 3 : 교배
  - 3.1 : 모집단으로부터 두 개의 부모 염색체 P1, P2를 랜덤하게 선택한다.
  - 3.2 : 2-점 교배 연산자를 사용하여 새로운 자식 염색체 C1, C2를 생성
- 단계 4 : 돌연변이  
랜덤하게 ε∈(0,1]을 생성하고 돌연변이율 P<sub>m</sub>과 비교한다. 만일 ε<P<sub>m</sub>이면 돌연변이 연산을 수행한다.
- 단계 5 : 만일 생성된 자식 염색체 C1 또는 C2가 모집단 내의 어느 객체와 같다면, C1 또는 C2가 같은 객체가 없는 새로운 객체가 될 때까지 돌연변이 연산을 수행한다.
- 단계 6 : 새로운 세대의 구성  
모집단 내의 최소 평가함수를 갖는 두 개의 염색체를 삭제하고 생성된 자식 염색체 C1과 C2를 모집단 내에 추가한다.
- 단계 7 : 새로운 염색체의 생성 횟수가 max\_gen이 될 때까지 단계 1부터 6까지를 반복한다. 최적해는 모집단 내에서 가장 큰 평가함수를 갖는 염색체이다.

V. 시뮬레이션

스위치박스 배선 유전자 알고리즘을 시뮬레이션 하기 위하여 잘 알려진 벤치마크 문제인 difficult more difficult, pedagogical, augmented dense, modified dense, terminal intensive, difficult channel, joo6-13에 대하여 동일 알고리즘을 각 100번씩 수행시켜 그 결과를 분석하

였고, WEAVER, BEAVER, SILK, CODAR, PACKER, MIGHTY등과 같은 기존의 스위치박스 배선 알고리즘의 결과와 비교하였다.

스위치박스 배선 유전자 알고리즘의 시뮬레이션에서는 유전자 알고리즘의 돌연변이율  $P_m=0.01(1\%)$ , 모집단내의 개체의 수  $pop\_size=20$ , 최대 수행 횟수  $max\_gen=100$ , 그리고 페널티 비율  $\alpha=0.8$ ,  $\beta=0.2$ 의 값을 사용하였다.

표1-표8은 잘 알려진 스위치박스 벤치마크 문제들에 대하여 본 논문에서 제안한 스위치박스 배선 유전자 알고리즘(SBRGA)과 기존의 스위치박스 배선 알고리즘의 결과를 비교한 것이다. 스위치박스 배선의 경우 배선 길이와 비아의 수를 적게 하는 것이 목표이므로 각 표에서 볼 수 있듯이 모든 벤치마크 문제들에서 SBRGA의 결과가 배선 길이와 비아수 측면에서 기존의 스위치박스 배선 알고리즘들 보다 더 좋은 결과를 얻게 되는 것을 볼 수 있다.

표 5. difficult switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
WEAVER	15	23	532	40
BEAVER	15	23	547	44
CODAR	15	23	544	?
PACKER	15	23	546	45
SBRGA	15	23	531	40

표 6. more difficult switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
MIGHTY	15	22	541	39
BEAVER	15	22	536	43
SILK	15	22	528	36
CODAR	15	22	545	?
PACKER	15	22	541	43
SBRGA	15	22	527	42

표 7. pedagogical switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
BEAVER	16	15	396	38
PACKER	16	15	406	45
SBRGA	16	15	395	35

표 8. augmented dense switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
MIGHTY	18	16	530	32
BEAVER	18	16	529	31
CODAR	18	16	529	?
PACKER	18	16	529	32
SBRGA	18	16	529	31

표 9. modified dense switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
WEAVER	17	16	510	29
MIGHTY	17	16	510	29
BEAVER	17	16	510	29
SILK	17	16	510	29
CODAR	17	16	510	?
PACKER	17	16	510	29
SBRGA	17	16	510	29

표 10. terminal intensive switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
WEAVER	16	23	615	49
MIGHTY	16	23	629	50
BEAVER	16	23	632	53
SILK	16	23	616	49
CODAR	16	23	630	?
PACKER	16	23	626	50
SBRGA	16	23	615	49

표 11. difficult channel switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
MIGHTY	4	12	84	8
PACKER	4	12	82	10
SBRGA	4	12	82	8

표 12. joob6-13 switchbox의 결과 비교

라우터	행	열	배선길이	비아수
WEAVER	7	18	170	29
PACKER	7	18	185	26
SBRGA	7	18	170	25

표 13. 기존 알고리즘과 SBRGA의 특징 비교

라우터	특징
WEAVER	지식-기반 전문 배선 시스템 매우 복잡, 매우 많은 시간 필요
MIGHTY	배선 수정 기반 알고리즘 매우 간단한 휴리스틱 알고리즘
BEAVER	현재까지 가장 빠른 휴리스틱 스위치박스 배선 알고리즘
SBRGA	유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 해를 탐색

표9는 기존의 여러 알고리즘과 본 논문에서 제안한 SBRGA와의 특징을 비교한 것이다. 기존의 여러 스위치박스 배선 알고리즘들이 비록 매우 우수한 발견적 탐색

방법의 알고리즘이지만 일정 시점에서의 가장 좋은 해를 찾아가는 발견적 알고리즘이기 때문에 지역해에 빠지기가 쉬운 반면에 스위치박스 배선 유전자 알고리즘은 교배와 돌연변이 연산을 사용한 이웃해로의 이동범위 광역화에 의한 효과적인 해공간 탐색으로 기존의 알고리즘에 비해 더 좋은 해를 찾게 된다.

VI. 결론

본 논문에서는 VLSI 설계 과정 중 스위치박스 배선 문제에 대하여 유전자 알고리즘을 이용한 해 공간 탐색 방식을 제안하였으며, 이 방식을 잘 알려진 벤치마크 스위치박스에 대하여 기존의 여러 스위치박스 배선 알고리즘과 비교, 분석하였다.

제안한 스위치박스 배선 유전자 알고리즘을 기존의 여러 스위치박스 배선 알고리즘과 비교, 분석한 결과 제안한 스위치박스 배선 유전자 알고리즘이 모든 벤치마크 문제들에서 배선 길이와 비어수 측면에서 더 효과적으로 최적해에 근접하여 보다 좋은 결과를 얻게 되는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] S. M. Sait, H. Youssef, *VLSI Physical Design Automation Theory and Practice*, World Scientific Publishing, 2001.

[2] Naveed A. Sherwani, *Algorithms for VLSI Physical Design Automation. 3rd Edition*, Kluwer Academic Publishers, 2001.

[3] S. M. Sait, H. Youssef, *Iterative Computer Algorithms with Applications in Engineering*, Computer Society, 1999.

[4] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publisher Company, Inc., 1989.

[5] L. Davis. *Handbook of Genetic Algorithms*, van Nostrand Reinhold, New York, 1991.

[6] Marek-Sadowska M., "Two-dimensional router for double-layer layout", *Proceedings of the 22nd design automation conference*, pp. 117-123, 1985.

[7] Joobbani R., Siewiorek-D.P., "WEAVER: a knowledge based routing expert", *IEEE Des.*, 3(1), pp.12-33, 1986.

[8] Shin H., Sangiovanni-Vincentelli A., "MIGHTY: A detailed router based on incremental routing modifications", *IEEE Transaction Computer-Aided Design*, 6, pp. 942-955, 1987.

[9] Cohoon J., Heck P., "BEAVER: a

computational-geometry-based tool for switchbox routing", *IEEE Trans. computer-Aided Design*, 7, pp. 684-697, 1988.

[10] Dubois P. F., Puissochet A., Tagant A.M., "CARIOCA: A general and flexible switchbox router", *IEEE Transaction Computer-Aided Design*, 9, pp. 1307-1317, 1990.



송 호 정 (Ho-Jeong Song)

準會員

1994년 배재대학교 물리학과 이학학사  
1996년 청주대학교 전자공학과 공학석사  
2003년 충북대학교 컴퓨터공학과 공학박사

관심분야 : VLSI 설계, High-level Synthesis



정 찬 근 (Chan-Gun Jeong)

準會員

1979년 한국항공대학 전자공학과 공학사  
1981년 서울대학교 전자공학과 공학석사  
2002년 충북대학교 컴퓨터공학과 박사수료  
1983년~1999년 한국전자통신연구원  
선임연구원

현재 (주)네오찬 사장

관심분야 : VLSI 설계, 병렬컴퓨터구조



송 기 용 (Gi-Youn Song)

正會員

1974~80년 서울대, 동대학원(전자공학)  
1995년 Univ. of Southwestern Louisiana  
공학박사  
1983년~현재 충북대학교 공과대학

전기전자컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 컴퓨터구조, VLSI 설계등