논문 2006-43SD-6-4

Quadratic Programming을 이용한 효과적인 광역배치 기법

(Effective Global Placement Technique Using Quadratic Programming)

김 동 현*, 허 성 우**

(Dong Hyun Kim and Sung Woo Hur)

요 약

본 논문에서는 Quadratic Programming(QP)을 이용한 효과적인 광역배치 기법을 제안한다. QP를 이용한 배치 기법의 단점인 셀 밀집 문제를 해결하기 위해 추가적인 힘[7](additional force)과 Grid Pre-warping[11] 기법을 사용하였다. 추가적인 힘은 밀집도에 기반한 값으로 적절한 힘을 구하기 위해 새로운 밀집도 함수를 고안하였다. Grid Pre-warping은 셀 좌표 사이의 상대적인 순서에 따라 셀들을 전체 영역에 재배치하는 기법이다. 새로운 밀집도 함수를 통해 구해진 추가적인 힘과 Pre-warping 기법을 반복적으로 적용하여 셀들이 효과적으로 분산된 광역배치를 얻었다. 이렇게 얻어진 배치를 "middle-down" 방식의 배치기인 Mongrel[13]의 초기배치로 적용하여 최종 상세배치 결과를 얻었다. 제안하는 기법을 적용한 실험결과, FM 기법[6]을 이용한 광역배치[19]에 비해 향상된 결과를 보였으며, 우수한 배치기로 알려진 FengShui[3], Dragon[18]과도 비교할만한 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, we propose an effective global placement technique using quadratic programming(QP). In order to resolve cell congestion problem which is a drawback of QP based placement techniques, additional force[7] and grid pre-warping technique[11] are used. We devised a new density function for evaluating proper additional force which depends on density. Grid pre-warping technique relocates cells over entire area according to the relative ordering between coordinates of cells. Using the additional force obtained by the new density function and applying the pre-warping technique iteratively we obtained a well-distributed global placement. Mongrel[13] which is a middle-down methodology based placer takes such a good global placement as an initial placement and produces a final detailed placement. Experimental results show that proposed technique outperforms the FM algorithm[6] based global placement[19] and are comparable with the well-known leading placers, FengShui[3], Dragon[18].

Keywords: 표준 셀 배치, quadratic programming, placement, 광역배치

I. 서 론

표준 셀 배치는 VLSI(Very Large Scale Integration) CAD(Computer Aided Design) 물리 설계 과정의 한 단계로서 회로 정보를 입력으로 받아서 각 셀들을 배치 영역 내의 최적위치에 배치시키는 과정이다. 배치의 목적 비용으로는 배선길이(wirelength)의 최소화, 배선 밀집도(routing congestion)의 최소화, 면적의 최소화, 신호지연(timing)의 최소화 등이 있으며 이러한 목적 비용을 고려한 최종 배치 결과는 실제 칩의 성능에 영향을 미친다.[1] 배선길이의 최소화는 신호지연을 유발하는 최장 경로를 가진 넷을 줄임으로써 칩의 성능을 높일 수 있고 연결도가 높은 셀들을 근접하게 배치함으로써 칩 면적을 줄일 수 있다. 따라서 배치 알고리즘은 일반적으로 배선길이의 최소화를 목적 비용으로 한다.

배치 문제의 접근 방법은 크게 세 가지로 분류되는데, 첫 번째로 최소 컷 분할 방식(min-cut partitioning)이 있다. 이 방식은 배치 문제를 그래프 분할 기법으로 해결하는 방식으로 전체 회로를 부분 회로들로 분할해

* 학생회원, ** 정회원, 동아대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Eng., Dong-A University)
※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2003-004-27-040)지원으로 수행되었음.
접수일자: 2006년2월2일, 수정완료일: 2006년6월1일

가면서 광역배치(global placement)를 얻고 이러한 광역배치를 바탕으로 셀들의 구체적인 위치가 결정되는 상세배치(detailed placement) 단계로 진행하는 방식이다. 분할 방식에서는 분할된 부분회로들 사이를 연결하는 넷 컷(net cut)의 크기를 최소로 하는 것을 목표로 한다. 분할 방식을 이용하는 배치기들은 다단 분할방식(multilevel partitioning)과 같이 대부분 변형된 FM알고리즘[6]이나 KL알고리즘[5]을 이용한다.[16] 최소 컷 분할 방식은 오랜 연구를 통해 우수한 분할 결과를 얻을 수 있지만 한번 분할된 결과를 되돌리지 못하기 때문에 거시적 관점에서의 최적 결과를 놓칠 수 있다. 최소 컷 분할 방식을 이용하는 대표적인 배치기로는 FengShui[3], Capo[4] 등이 있다. 두 번째 접근방법으로 해석적 기법(Analytical Method) 혹은 FD(Force-Directed) 기법이 있다. 해석적 기법은 셀들의 위치를 수치적으로 계산해서 최적의 배치를 찾는 방법이다. 해석적 기법은 셀 밀집 혹은 중복 문제를 고려하지 않기 때문에 셀의 위치를 구하기 위한 식을 어떻게 정하느냐에 따라 셀 밀집의 정도가 달라지고 결국 해의 질이 달라진다. Kraftwerk[7]는 해석적 기법 중 quadratic programming을 이용한 대표적인 배치기이다.

Kraftwerk는 셀 밀집을 제거하기 위해 셀 밀집도에 기반한 포아송(poisson) 방정식을 사용하여 추가적인 힘(additional force)을 구하고 이것을 원래의 수식에 적용한다. FastPlace[8]는 cell shifting과 가상 넷을 이용하여 셀 밀집을 해결하였다. Xiu 등[11]은 셀들을 균일하게 분포시키기 위해 2차원 평면을 여러 조각으로 나누어 변형한 다음 펼치는 Grid-Warping 기법을 제안하였다. 세 번째 접근방법으로 simulated annealing 방법이 있다. 이 방법은 임의의 초기 배치로부터 확률에 근거한 변형을 반복적으로 수행함으로써 더 나은 해를 찾아가는 방법인데, TimberWolf[2]가 가장 잘 알려진 배치기이다. 이 방법은 배치의 변형방법을 어떻게 정하느냐에 따라 다양한 국부탐색이 가능하지만 좋은 해를 얻기 위해서는 오랜 수행시간을 필요로 하는 단점이 있다. Dragon[9]은 광역배치를 위해서 최소 컷 분할 방법을 사용하고 상세배치는 simulated annealing 방법을 사용한다. 하이브리드 배치기인 Mongrel[13]은 주어진 광역배치를 입력으로 동작하는 "middle-down" 방식의 배치기로 광역배치 개선을 위한 RBLS (Relaxation Based Local search)와 상세배치 개선을 위한 최적 인터리빙(optimal interleaving) 과정을 거친다. Mongrel에서는 초기 광역배치를 얻기 위해 선형 순서화 함수[10]와 FM기법[6]이 사용되었는데 좋은 광역배치를 얻기 위한 최선의 방법이 아님을 실험적 경험을 통해 알게 되었다.

본 논문에서는 우수한 광역배치를 얻기 위한 방법으로 quadratic programming(QP)을 이용한 기법을 제안한다. QP를 이용한 배치는 셀 밀집 혹은 중복을 고려하지 않기 때문에 이러한 밀집 문제를 해결하고 분산된 배치를 얻기 위한 방법이 필요하다. 제안하는 기법은 셀 분산을 위해 추가적인 힘과 grid pre-warping 기법을 사용하였다. Kraftwerk[7]에서 제안한 추가적인 힘은 셀 밀집도에 기반한 값으로 본 논문에서는 적절한 추가적인 힘을 구하기 위해 빈 단위의 새로운 밀집도 함수를 고안하였다. 추가적인 힘은 인접한 셀들 간에 비슷한 힘을 적용하기 때문에 여러 셀들이 한꺼번에 밀집된 상태로 이동하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 grid pre-warping[11] 기법을 적용하였다. grid pre-warping은 셀 좌표 사이의 상대적인 순서에 따라 전체 영역에 셀들을 재배치하는 기법으로 밀집된 셀들을 강제로 분산시키는 역할을 한다. 실험을 통해 추가적인 힘과 pre-warping을 반복적으로 적용하면 셀들이 적절하게 분산된 배치를 얻을 수 있음을 발견하였다.

이러한 방법으로 얻어진 광역배치는 하이브리드 배치기인 Mongrel[13]의 초기 배치로 이용되고, Mongrel을 이용하여 최종 상세배치 결과를 출력한다. 전체 배치 과정을 그림 1에 기술하였다.

Stage 1은 본 논문의 주제에 해당하는 초기 광역배치 단계로서 quadratic optimization과 추가적인 힘, 그리고 grid pre-warping이 순서대로 수행된다. 이러한 과정은 전체적으로 분산된 배치를 얻을 때까지 반복적으로 수행된다. Mongrel에서는 리플 이동 기법(ripple movement technique)을 이용하여 셀들을 매우 효과적

Stage 1. Initial Global Placement
1. Repeat 2. Quadratic Optimization. 3. Add Additional Forces. 4. Grid Pre-warping. 5. Until the placement is roughly even. 6. Legalization By Ripple-Movement
Stage 2. RBLS(Relaxation Based Local Search)
Stage 3. Optimal Interleaving

그림 1. 배치 과정
Fig. 1. Placement process.

으로 옮기는데, stage 2에서는 그 기법을 이용하여 셀 중복을 완전히 제거한다. Stage 2와 3은 Mongrel에 의해 처리되는 단계이다. Stage 2의 RBLS는 광역배치의 부분적인 개선을 위한 국부탐색을 수행한다. 국부탐색은 더 좋은 해를 찾을 수 없을 때까지 진행되며 이 단계가 끝나면 최종적인 상세배치를 위해 stage 3의 최적 인터리빙(Optimal Interleaving)이 실행된다. 최적 인터리빙은 dynamic programming을 통해 각 행(row)별로 셀 겹침이 없는 최종적인 상세배치를 구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 그림 1에 기술된 배치 기법의 구체적인 내용에 관해 기술한다. Ⅲ장은 기존의 배치 기법과 비교한 실험결과를 기술하고, Ⅳ장에서 결론을 기술한다.

Ⅱ. 본 론

1. Quadratic Optimization

quadratic programming은 quadratic wirelength 혹은 2차 유클리드 거리(squared euclidean distance)의 합이 최소가 되는 배치를 구하는 방법이다. quadratic wirelength는 다음과 같이 구할 수 있다.

회로에 n개의 모바일 셀이 있고 셀 i의 중심좌표가 (x_i, y_i)라고 한다. 회로의 배치는 두 개의 n차 벡터 $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, $Y=(y_1, y_2, \ldots, y_n)$로 나타낸다. 이 때 모바일 셀 i와 j를 연결하는 넷의 가중치를 W_{ij}라고 하면 ij 사이의 quadratic wirelength는 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{1}{2} W_{ij}[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2] \quad (1)$$

만약 셀 i가 고정 셀 f와 연결되어 있고 f의 좌표가 (x_f, y_f)라고 할 때 if 사이의 quadratic wirelength는 아래 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{2} W_{if}[(x_i - x_f)^2 + (y_i - y_f)^2] \quad (2)$$

식 (1),(2)에 따라 모든 넷에 대해서 quadratic wirelength를 합한 비용함수(cost function) Φ는 행렬표현에 따라 다음과 같이 식 (3)으로 쓸 수 있다.

$$\Phi(x,y) = \frac{1}{2} x^T C x + d_x^T x + \frac{1}{2} y^T C y + d_y^T y + const. \quad (3)$$

식 (3)에서 C는 n×n positive definite 행렬이고 d_x, d_y는 n차 벡터이다. $const.$ 는 상수 값을 의미한다. 식 (3)은 $\Phi(x,y) = \Phi(x) + \Phi(y)$ 와 같이 분리될 수 있으므로 x방향만을 고려한 $\Phi(x)$는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} x^T C x + d_x^T + const. \quad (4)$$

행렬 C의 i행j열의 원소를 $c_{i,j}$라고 하면, 식 (1)에서 두 모바일 셀 i와 j의 x방향으로의 비용(cost)은 $\frac{1}{2} W_{ij}(x_i^2 + x_j^2 - 2x_i x_j)$ 이 된다. 이 식에서 첫 번째와 두 번째 항에 의해 W_{ij} 값이 각각 $c_{i,i}$와 $c_{j,j}$에 더해진다. 세 번째 항에 의해 $-W_{ij}$ 값이 $c_{i,j}$와 $c_{j,i}$에 더해진다. 식 (2)에서 모바일 셀 i와 고정 셀 f의 x방향 비용은 $\frac{1}{2} W_{if}(x_i^2 + x_f^2 - 2x_i x_f)$ 된다. 이 식에서 첫 번째 항에 의해 W_{if} 값이 $c_{i,i}$에 더해지고 세 번째 항에 의해 $-W_{if}x_f$ 값이 벡터 d_x의 i번째 열에 더해진다. 두 번째 항은 식 (4)의 $const.$ 즉 상수값에 더해진다. 이렇게 구해진 비용함수 (4)를 최소화하기 위한 해는 다음 선형방정식 (5)의 해와 같다.

$$Cx + d_x = 0 \quad (5)$$

같은 방법으로 y방향으로의 비용함수와 선형방정식을 구할 수 있다. 이때 행렬 C는 공통이고 벡터 d_y만 구하면 된다.

넷 가중치 W는 3-pin 이상의 다중연결 넷을 2-pin 넷으로 어떻게 모델링 하느냐에 따라 달라지는데, 본 논문에서는 넷 모델링 방법으로 완전 연결 그래프인 클릭(clique) 모델을 사용하였다. 클릭 모델에서 k-pin 넷은 k(k-1)/2 개의 2-pin 넷으로 변환되므로 각 2-pin 넷은 2/k(k-1)의 가중치를 가진다.

선형방정식 (5)를 풀면 quadratic wirelength에 대해 최적의 셀 위치를 구할 수 있다. 하지만 이렇게 구해진 배치는 많은 셀 중복을 가지며, 실제 배선길이 측정에 사용되는 선형 배선길이(linear wirelength)와의 차이로 인해 최적의 배치를 구하지 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 2절에서는 셀 중복을 제거하기 위한 셀 분산 방법에 관해서 설명하고 3절에서는 선형 배선길이를 개선시키기 위한 국부탐색에 관해 설명한다.

2. 셀 분산 기법

제안하는 기법은 크게 두 가지 방법으로 셀 분산을

진행한다. 먼저 셀 밀집도에 기반한 포아송(poisson) 방정식으로 추가적인 힘을 구하고 이것을 원래의 선형방정식에 더해서 분산된 최적배치를 구한다. 그 다음 셀 위치의 상대적 순서에 따라 셀들을 전체 영역에 재배치하는 grid pre-warping 방법이 적용된다. 이런 두 과정을 반복하면 전체적으로 분산된 배치를 얻을 수 있다.

가. 추가적인 힘(Additional Force)

Kraftwerk[7]는 셀 분산을 위해 셀 밀집도에 기반한 추가적인 힘을 사용하였다. 추가적인 힘에 관해 간략하게 설명하면 다음과 같다.

추가적인 힘은 다음의 네 가지 조건을 만족해야 한다.

조건 1. 한 셀에 작용하는 추가적인 힘은 그 셀의 좌표에 의해서만 결정된다.

조건 2. 밀집도가 높은 영역은 힘의 source가 되고 밀집도가 낮은 영역은 힘의 sink가 된다.

조건 3. 힘은 원을 형성하지 않는다.

조건 4. 무한에서 힘은 0이 되어야 한다.

위의 네 가지 조건을 고려한 최종적인 추가적인 힘은 아래 식 (6)과 같다.

$$\vec{f}(x,y)=\frac{k}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}D(x',y')\frac{\vec{r}-\vec{r'}}{|\vec{r}-\vec{r'}|^2}dx'dy' \qquad (6)$$

$\vec{r}=(x,y)^T$, $\vec{r'}=(x',y')^T$, k: 비례상수

식 (6)에서 $D(x',y')$는 한 점 (x',y')에서 요구되는 셀의 면적을 단위면적당 셀에게 공급되는 면적으로 뺀 값이다. 식 (6)은 추가적인 힘에 관한 일반적인 원리를 기술한 식으로 실제 배치 문제에 적용하기 위해서는 약간의 수정이 필요하다.

배치영역을 n×m 격자로 나누었을 때 식 (6)은 다음과 같은 이산 합(discrete summation)으로 표현된 식 (7)처럼 쓸 수 있다.

$$\vec{f}(x,y)=\frac{k}{2\pi}\cdot\frac{H}{n}\cdot\frac{W}{m}\cdot\sum_{y'=0}^{n-1}\sum_{x'=0}^{m-1}D(x',y')\frac{\vec{r}-\vec{r'}}{|\vec{r}-\vec{r'}|^2} \qquad (7)$$

H: 배치영역의 세로길이, W: 배치영역의 가로길이

식 (7)에서 $D(x',y')$는 n×m 격자로 나누어진 영역에서의 셀 밀집도를 반영해야 하므로 식 (6)에서의 밀집도 함수를 그대로 쓸 수 없다. 따라서 본 논문에서는 식 (8)과 같은 새로운 셀 밀집도 함수를 제안한다.

$$D(x,y)=CellSize(x,y)-AvgBinSize \qquad (8)$$

$$CellSize(x,y)=\sum_{c\in Bin(x,y)}size(c),$$

$$AvgBinSize=\frac{\sum_{\forall c}size(c)}{n\times m}$$

식 (8)은 n×m 격자로 나누어진 배치영역의 한 빈(bin) (x,y)에서의 셀 밀집도를 나타내는 함수로 셀 사이즈의 표준편차에 대응되는 값이다. 식 (7)과 (8)을 이용해서 구해진 추가적인 힘 e를 원래의 선형방정식 (5)에 더한다.

$$Cx+d_x+e=0 \qquad (9)$$

식 (9)를 풀면 추가적인 힘이 적용된 최적 배치를 구할 수 있다. 하지만 이렇게 구해진 배치는 인접한 셀들끼리 서로 비슷한 힘을 받게 되고 결국 연결도가 높은 셀들이 한꺼번에 같은 영역으로 이동하는 문제가 있다. 다음 절에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 도입한 grid pre-warping 기법을 설명한다.

나. Grid Pre-warping

grid pre-warping은 Xiu 등[11]이 제안한 grid warping 기법의 선처리 단계이다. grid pre-warping의 기본 아이디어는 셀 좌표 사이의 상대적인 순서를 유지하면서 셀들을 전체 영역에 재배치하는 것이다. 이것은 셀들을 정렬(sorting)하는 개념과 유사하다.

그림 2에 pre-warping 기법을 나타내었다. 그림 2.(a)와 같은 배치가 있을 때, 먼저 수직방향으로 각 행(row)별로 비슷한 개수의 셀들을 포함하도록 행의 경계선 위치를 결정한다. 마찬가지 방법으로 수평방향으로 각 열(column)의 경계선 위치를 결정한다. 이렇게 결정된 그리드는 그림 2.(b)와 같이 비등간격을 가지며, 밀집된 영역일수록 간격이 좁고 밀집이 적을수록 간격이 넓다. 비등간격 그리드를 등간격 그리드로 매핑시키면 그림 2.(c)와 같이 분산된 배치를 얻을 수 있다. pre-warping 기법은 연결도가 높은 셀들이 과도하게 밀집되는 것을 방지하고 셀들 간의 상대적인 순서를 최대한 유지하면서 셀들을 전체 배치영역에 분산시키는 역할을 한다. 셀들 간의 상대적인 순서를 유지함으로써 분산에 따른 배선길이의 증가를 최소한으로 줄일 수 있다. 그림 3은 자체 개발한 가시화 도구를 이용해서 분산된 배치를 얻어가는 과정을 나타낸 모습이다. 실험을

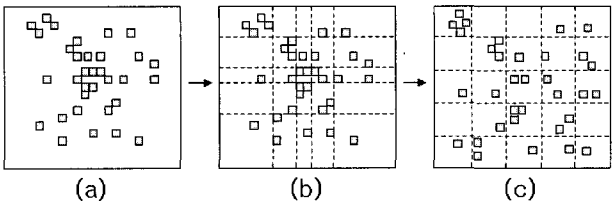

그림 2. Grid Pre-warping 기법 (a) 주어진 배치 (b) 비등간격의 그리드로 나누어진 배치영역 (c) 등간격 그리드로 재배치

Fig. 2. Grid Pre-warping (a) given placement (b) divided placement area in non-uniform grids (c) cell relocation in uniform grids.

통해 추가적인 힘과 grid pre-warping 기법을 반복적으로 적용하면 효과적으로 분산된 배치를 얻을 수 있다는 것을 발견하였다. 이렇게 얻어진 광역배치 결과는 최종적으로 리플 이동(ripple movement)[13]에 의한 적법화(legalization)과정을 거친다.

그림 3은 제안한 기법에 의해 셀들이 분산되는 전형적인 모습을 보여준다. 이는 벤치마크 회로 avqlarge에 대한 것이지만 다른 회로에서도 이와 유사한 형태로 셀들이 분산되는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

다음 절에서는 최종 배치 결과를 얻기 위한 국부탐색과 상세배치에 관해 기술한다.

3. 국부탐색과 상세배치

제안하는 기법으로 얻어진 광역배치는 하이브리드 배치기인 Mongrel[13]의 초기배치로 주어지고, Mongrel을 이용해 최종 상세배치 결과를 출력한다. Mongrel은

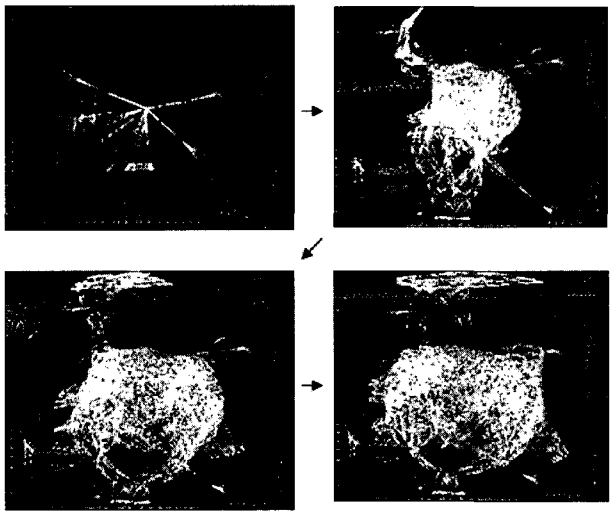

그림 3. 추가적인 힘과 Pre-warping 기법이 적용된 배치과정

Fig. 3. Placement process using additional forces and pre-warping technique.

크게 두 단계로 동작한다. 우선, 임의의 광역배치를 입력으로 받아 이를 개선하는데, 이 때 사용되는 기법이 RBLS (Relaxation Based Local Search) 알고리즘이다. 광역배치가 수렴되었다고 판단되면 이를 상세배치로 변환한다. 변환된 상세배치 개선을 위해 최적 인터리빙(Optimal Interleaving) 기법을 사용한다. Mongrel의 문제점 중 하나는 입력으로 주어지는 초기 해에 따라 최종 해의 질이 큰 영향을 받는다는 점이다. RBLS와 최적 인터리빙은 각각 그림 1의 Stage 2와 3에 해당하는 과정이다. 그림 1의 Stage 1에서 구해진 광역배치는 quadratic wirelength를 목적으로 하는 결과이기 때문에 실제 배선길이 측정에 사용되는 선형 배선길이 (linear wirelength)에 대해서 국부적인 개선의 여지를 남긴다. 이러한 국부개선(local improvement)을 위해 RBLS가 적용되고 셀 겹침(overlap)이 없는 최종 상세배치를 위해 최적 인터리빙이 적용된다.

RBLS는 전형적인 국부탐색과 동일한 방법을 이용하되 이웃 해를 탐색하기 위한 방법으로 네트워 플로우(network flow)기법을 사용한다.[12] 임의로 추출된 M개의 모바일 셀에 대해서 네트워 플로우는 최적의 위치를 찾고 이전 배치와 비교해서 향상된 해를 탐색해간다. RBLS를 통한 국부탐색은 더 이상 향상된 배치를 찾을 수 없을 때까지 반복된다.

최적 인터리빙(Optimal Interleaving)은 dynamic programming을 이용해서 최적의 선형배치를 찾아내는 기법이다.[13] 최적 인터리빙은 한 행(row)에 일렬로 배치된 셀들을 A,B와 같이 두 부분으로 나눈다음, dynamic programming에 따라 최적으로 재배치한다.

Ⅲ. 실험결과

실험은 펜티엄Ⅳ, 2GHz/Linux 컴퓨터에서 진행하였으며, C++/gcc로 컴파일하였다. 표 1에 실험에 사용된 MCNC 표준 벤치마크 회로[14]의 사양과 행(row)의 개수를 표시하였다.

표 1. MCNC 벤치마크 회로

Table 1. MCNC Bechmark Circuit.

circuit	#.cells	#.nets	#.pads	#.rows
primary1	833	904	81	17
struct	1952	1920	64	21
primary2	3014	3029	107	22
biomed	6514	5742	97	44
avqsmall	21918	22124	64	79
avqlarge	25178	25384	64	83

배선길이는 Half-Perimeter 방식으로 측정하였으며 배선 공간 확보를 위해 행과 행 사이에 스페이스를 넣었다. 실험 결과가 매번 조금씩 다르기 때문에 각 회로에 대해 10번씩 실행한 결과의 평균을 내었다. 표 2는 분할방식인 FM 기법을 기반으로 하여 광역배치를 구한 기법[19]과 본 논문에서 제안하는 기법을 기반으로 하여 광역배치를 구한 실험결과를 비교한 것이다. FM 기법을 이용한 광역배치를 구하기 위해 회로를 FM 기법에 따라 재귀적으로 분할하고 분할된 회로를 배치영역에 할당하는 방식을 사용하였다. 실험은 두 기법에 따라 초기 광역배치를 구하고 그것을 Mongrel에 입력하여 최종 상세배치를 구하는 방식으로 진행하였다. 제안하는 기법은 상대적으로 작은 회로인 primary1을 제외한 모든 회로에 대해서 향상된 결과를 보였다. 이것은 우수한 초기 광역배치가 최종 배치의 질을 개선시키는 것을 보여준다. 표 3은 기존의 우수한 배치기로 알려진 FengShui[3], Dragon[18]의 결과와 비교한 것이다. 두 배치기는 광역배치를 얻기 위해 hMETIS[17]를 사용한다는 공통점이 있다. hMETIS는 다단 분할(multilevel partitioning)기법을 구현한 툴로 회로분할에 대해서 대단히 우수한 성능을 보인다. 제안하는 기법은 두 배치기와 비교할만한 결과를 보였다.

표 2. FM 기법과의 비교
Table 2. Compared with FM algorithm.

circuit	FM-기반[19]	제안하는 기법	개선율(%)
primary1	9.70e5	9.93e5	-2.37
struct	7.36e5	7.11e5	+3.5
primary2		3.74e6	
biomed	3.48e6	3.47e6	+0.28
avqsmall	5.83e6	5.67e6	+2.82
avqlarge	6.45e6	6.17e6	+4.53

표 3. FengShui, Dragon과의 비교
Table 3. Compared with FengShuit, Dragon.

circuit	FengShui	Dragon	제안하는 기법
primary1	1.04e6	1.05e6	0.993e6
struct	7.55e5	6.89e5	7.11e5
primary2	3.78e6	3.68e6	3.74e6
biomed	3.40e6	3.46e6	3.47e6
avqsmall	5.65e6	5.77e6	5.67e6
avqlarge	6.21e6	6.04e6	6.17e6

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 quadratic programming(QP)을 이용한 효과적인 광역배치 기법을 제안하였다. QP를 이용한 배치는 많은 셀 밀집을 가지는데 이러한 밀집 문제를 해결하기 위해 추가적인 힘(additional force)과 grid pre-warping, 두 가지 방법을 사용하였다. 추가적인 힘은 Kraftwerk[7]에서 제안한 셀 분산을 위한 힘으로 논문에 기술된 식을 실제 배치 문제에 적용하기 위해 식(7)에서 보인 대로 수정하였고, 수정된 식에서의 적절한 힘을 구하기 위해 빈 단위의 새로운 셀 밀집도 함수 (8)을 제안하였다. 새로운 밀집도 함수를 통해 구해진 추가적인 힘과 Grid Pre-warping 기법을 반복적으로 적용하여 적절하게 분산된 배치를 얻었다. 이렇게 얻어진 광역배치 결과를 "middle-down" 방식의 배치기인 Mongrel의 초기배치로 적용하여 최종 배치결과를 얻었다. 제안하는 기법을 적용한 실험결과, FM기법에 의한 광역배치와 비교해서 향상된 결과를 얻었으며 우수한 배치기로 알려진 FengShui,Dragon과 비교할만한 결과를 얻었다. 제안하는 기법은 수학적 방법과 알고리즘적 방법을 적절하게 적용함으로써 효과적으로 분산된 배치를 얻을 수 있음을 보인다.

quadratic programming은 비교적 최근에 주목받고 있는 배치기법으로 셀 밀집 문제 해결이 가장 큰 이슈가 되고 있다. 배선길이의 증가를 최소화하면서 안정적으로 셀 밀집 문제를 해결하는 방법에 관한 연구가 필요하며, 최근의 ibm회로[15]와 같이 고정 셀이 없는 회로에 대해서도 최적의 배치를 구할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] P. Villarrubia, "Important Placement Considerations for Modern VLSI Chips," *Proc. of ISPD,* pp.6, 2003.

[2] C. Sechen and A. Sangiovanni-Vincentelli, "TimberWolf3.2: A New Standard Cell Placement and Global Routing Package," *Proc. of the DAC,* pp.432-439, 1986.

[3] Patrick H. Madden, "Reporting of Standard Cell Placement Results," *IEEE Trans. of CAD,* pp.240-247, 2002.

[4] A. E. Caldwell, A. B. Kahng, and Igor L. Markov, "Can Recursive Bisection Alone Produce Routable Placements?," *Proc. of DAC,*

pp.477-482, 2000.
[5] B. W. Kernighan, and S. Lin, "An Efficient Heuristic Procedure for Partitioning Graphs," *Bell Syst. Tech,* vol.49, no.2, pp.291-308, 1970.
[6] C. M. Fiduccia and R. M. Mattheyses, "A Linear-Time Heuristic for Improving Network Partitions," *Proc. of DAC,* pp. 175-181, 1982.
[7] H. Eisenmann and F. M. Johannes, "Generic Global Placement and Floorplanning," *Proc. of DAC,* pp.269-274, 1998.
[8] N. Viswanathan and Chris C. Chu, "FastPlace: Efficient Analytical Placement Using Cell Shifting, Iterative Local Refinement and a Hybrid Net Model," *IEEE Trans. CAD of Integrated Circuits and Systems,* vol.24, no.5, pp.722-733, 2005.
[9] M. Wang, X. Yang, and M. Sarrafzadeh, "Dragon2000: Standard-Cell Placement Tool for Large Industry Circuits," *Proc. of ICCAD,* pp.260-263, 2000.
[10] C. J. Alpert and A. B. Kahng, "A General Framework for Vertex Orderings, with Applications to Netlist Clustering," *Proc. of ICCAD,* pp.63-67, 1994.
[11] Zhong Xiu, James D. Ma, Suzanne M. Fowler, Rob A. Rutenbar, "Large-Scale Placement by Grid-Warping," *Proc. of DAC,* pp.351-356, 2004.
[12] Sung-Woo Hur and John Lillis, "Relaxation and Clustering in a Local Search Framework: Application to Linear Placement," *Proc. of DAC,* pp.360-366, 1999.
[13] Sung-Woo Hur and John Lillis, "Mongrel: hybrid techniques for standard cell placement," *Proc. of ICCAD,* pp.165-170, 2000.
[14] http://vlsicad.eecs.umich.edu/BK
[15] ISPD04 IBM-MS Mixed-Size Placement Benchmarks, S. N. Adya and I. L. Markov. http://vlsicad.eecs.umich.edu/BK/ISPD04bench/
[16] A. E. Caldwell, A. B. Kahng, and I. L. Markov, "Optimal Partitioners and End-Case Placers for Standard-Cell Layout," *Proc. of ISPD,* pp. 90-96, 1999.
[17] G. Karypis, R. Aggarwal, V. Kumar, and S. Shekhar, "Multilevel Hypergraph Partitioning: Application in VLSI Domain," *Proc. of DAC,* pp.526-529, 1997.
[18] http://er.cs.ucla.edu/Dragon/gsrcmcnc-dragon.html
[19] 성영태, "효과적인 초기 배치를 이용한 개선된 Mongrel," 석사논문, 동아대학교 컴퓨터공학과, 2003년 12월.

저 자 소 개

김 동 현(학생회원)
2003년 동아대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.
2006년 동아대학교 컴퓨터공학과 석사과정 재학 중.
2006년 (주)스파이어 테크놀로지 최적화솔루션팀 재직중.
<주관심분야 : 알고리즘, 프로그래밍, 문제해결 기법>

허 성 우(정회원)
1981년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
1983년 한국과학기술원(KAIST) 전산학과 석사 졸업.
2000년 UIC Dept. of EECS 박사 졸업.
1986년~현재 동아대학교 컴퓨터공학과 교수.
2001년~현재 미국 Intel사 Physical Design분야 기술자문위원.
<주관심분야 : CAD, 알고리즘, 계산 기하학, Combinatorial optimization>