

# 절단부재의 최적배치를 위한 네스팅 알고리즘에 관한 연구

## A Study on the Nesting Algorithm for Optimal Layout of Cutting Parts

한 국 찬\* · 나 석 주\*\*

\*, \*\* 한국과학기술원 정밀공학과

### 1 서론

2차원 절단용융분야에서의 네스팅작업은 설계가 끝난 각 부품의 절단작업의 전단계로서 수행되며, 일반적으로 네스팅공정이 완료되면 절단경로를 결정하고 가공조건과 함께 수치제어 공작기계의 제어에 필요한 NC코드를 생성하게 된다. 2차원 패턴의 최적자동배치문제는 비단 레이저 절단과 같은 열가공 분야에서 뿐만 아니라 블랭킹 금형, 의류, 유리, 목재 등 여러 분야에서 응용이 가능하다<sup>1)</sup>. 최근 조합최적화문제와 관련하여 Kirkpatrick등<sup>2)</sup>에 의해 개발된 최적화기법 중 하나인 모의어닐링(simulated annealing: SA)법은 그 적용성과 우수한 탐색능력 때문에 여러 응용분야에서 적용하려는 시도가 이루어지고 있는데, 네스팅분야에서도 이의 응용이 발표되고 있다<sup>3-5)</sup>.

본 연구는 산소, 플라즈마, 레이저 등의 에너지원을 이용한 절단용융분야의 CAD/CAM화를 위해 직사각형 원소재 및 경계구속을 갖거나 내부결함이 있는 원소재에 임의의 이차원패턴을 배치하면서 재료의 손실을 최소화시키는 방법에 대해 기술하였다. 또한 패턴내부의 홀 및 유용한 배치공간까지도 배치에 활용될 수 있는 방법에 대해서도 기술하였다.

### 2 접근방법

#### 2.1. 다단계 접근법

제안된 네스팅알고리즘은 빠른 시간안에 전체적인 배치윤곽을 생성하는 초기배치단계와 주어진 초기배치에서 출발하여 더 나은 상세배치를 시도하는 배치개선단계로 이루어진 2단계로 구성되어 있다. 초기배치는 자율조직 신경회로망중의 하나인 Kohonen모델의 학습규칙과 퍼지c-means(FCM)알고리즘의 소속함수를 결합한 SOAL(self-organization assisted layout)이라는 배치알고리즘에 의해 구현된다(Fig.1). 배치개선단계에서는 조합최적화문제의 해를 구하는데 매우 강력하면서 강인성이 있는 방법인 모의 어닐링(simulated annealing: SA)에 의한 배치기법을 이용하여 SOAL로부터 얻은 초기배치의 한계를 극복하고 최상에 가까운 해를 구하고자 한다.

#### 2.2. 패턴정의 및 겹침 판별

임의의 패턴을 효율적으로 다루고 처리시간을 줄이기 위해 본 논문에서는 단순패턴들로 이루어진 복합패턴에 대해 정의하고 이를 다룬다. 하나의 복합패턴은 최소포함직사각형, 내부홀 및 외부홀 그리고 다각형을 이루는 정점들로 표현된다(Fig.2). 단순화된 복합패턴의 정밀도는 이를 이루고있는 단순패턴들의 수가 늘어날수록 향상되나 이는 컴퓨터의 메모리 용량 및 알고리즘 복잡도로 인해 제한된다. Fig.3는 두 복합패턴 A와 B사이의 겹침을 보여주고 있으며, 두 패턴간 순수한 겹침 면적  $O_{net}(A, B)$ 는 아래 식으로부터 구할 수 있다.

$$O_{net}(A, B) = O(A, B) - [ \sum_j O(A, h_{Bj}) + \sum_i O(B, h_{Ai}) - \sum_{i \neq j} O(h_{Ai}, h_{Bj}) ] \quad (1)$$

여기서  $O(A, B)$ 는 패턴A와 패턴B의 최소포함직사각형의 겹침 면적,  $\sum_j O(A, h_{Bj})$ 는 패턴 A의 최소포함직사각형과 패턴 B의 홀(hole)에 대한 겹침 면적,  $\sum_i O(B, h_{Ai})$ 는 패턴 B의 최소포함직사각형과 패턴 A의 홀에 대한 겹침 면적,  $\sum_{i \neq j} O(h_{Ai}, h_{Bj})$ 는 패턴 A의 홀과 패턴 B의 홀에 대한 겹침 면적이다.

### 2.3. 경계구속 및 내부결함

Fig 4은 경계구속 및 내부결함에 대해 직사각형으로 단순화한 결과를 나타내고 있다. 패턴을 배치할 때에 이러한 직사각형으로 이루어진 영역은 피하고 나머지 영역에 채워지는 배치 방법을 취하는 것이 기본적인 구상이며, 이는 다음의 4단계 절차에 의해 이루어진다.

①임의의 불규칙한 경계나 내부결함을 직선으로 이루어진 다각형으로 단순화 시킨다. ②각 직선은 몇 개의 직사각형들을 조합하여 근사화시킨다. ③이러한 경계 혹은 내부직사각형들은 먼저 배치시킨 패턴으로 간주하며 고정시킨다. ④배치시 이미 고정된 직사각형들도 다른 패턴과 함께 겹침 판별에 고려된다. 이러한 직사각형들은 겹침 판별에서 가격 함수의 증가를 유발하기 때문에 알고리즘이 진행함에 따라 겹침이 제거되고 결국 경계구속과 내부결함을 피하는 배치결과를 얻을 수 있게 된다.

### 2.4. 가격 함수

본 논문에서 사용하는 가격 함수에는 겹침 면적항과 면적관성모멘트항으로 구성되어 있으며, 이는 패턴간 겹침 면적의 제거와 좌측우선순위배치에 관한 두 가지의 휴리스틱정보를 각각 표현한다.

$$C(r) = \alpha f_{ov}(r) + \beta f_{ma}(r) \quad (2)$$

여기서  $f_{ov}$ 는 총 패턴간의 겹침면적이고,  $f_{ma}$ 는 면적관성 모멘트항으로 아래와 같이 정의된다.

### 2.5. 교란 함수

현 상태의 배치로부터 새로운 배치상태를 생성하기위해 다음의 두가지 교란을 야기시킨다.

1. 단일 패턴에 대한 병진이동과 회전 그리고 이의 조합.
2. 임의로 선택된 두 패턴간의 상호교환.

본 알고리즘에서 단일패턴의 병진이동에 대해서는 범위제한함수를 적용하였다. 원소제 전체영역에 대한 전역적인 교란과 작은 영역에 대한 미소교란이 그것인데, 이는 전역적인 교란을 통해 지역적인 최소점에서 탈출하고 미소교란을 통해 좌측하향으로의 방향성을 주고 패턴간의 간격을 효과적으로 줄이기 위함이다.

## 3. 실험 결과

제안된 배치알고리즘은 IBM PC호환기종에서 C언어로 구현하였다. Fig.5는 SOAL에 의한 시간에 따른 배치과정을 보여주고 있다. 초기 패턴들은 원소제의 중심부근에 모여있다가 시간이 지남에 따라 점점 전체영역으로 분산되면서 좌측으로 이동하고 있다. SOAL에서 계산 시간을 단축시키기 위해서 내부홀에 대한 겹침 계산은 수행하지 않았다. IBM PC/486 DXII(66MHz)에서 수행한 결과 65초가 소요되었다. Fig.6은 SOAL로부터 얻은 초기배치 (Fig.5(d))에 SA를 적용하여 얻은 최종 배치결과이다. 수행시간은 299초이다. Fig.7과 Fig.8은 경계구속 및 내부결함이 있고 내부홀들을 포함하는 임의의 패턴에 대해 SOAL과 SA를 수행하여 얻은 네스팅 결과들로 수행시간은 각각 98초와 371초이며, 원소제의 내부결함과 임의의 경계구속이 있는 경우에도 효과적인 배치가 수행 되었음을 볼 수 있다.

## 4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결과의 주된 성과로는 첫째, 현재까지 발표된 대부분의 네스팅알고리즘들이 순차적인 탐색의 배치방법에 의존한 반면, 제안된 배치 전략은 확률적인 반복개신 방법들을 도입하기 때문에 전역해(global solution)를 구할 수 있다는 점이다. 둘째, 많은 연구 논문들이 직사각형 패킹에 관한 것이라면 제안된 배치알고리즘은 임의의 패턴을 단순패턴들의 조합에 의해 근사화하기 때문에 원소제의 내부결함과 경계구속을 비롯해 다양한 패턴들을 쉽게 표현하고 다룰 수가 있다는 것이다.

## 5. 참고문헌

- (1) A.Y.C.Nee, K.W.Seow & S.L.Long : Designing Algorithm for Nesting Irregular shapes with and without Boundary Constraints, Annals of the CIRP Vol.35, No.1, (1986), pp.107-110.
- (2) S.Kirkpatrick, C.D.Gelatt & M.P.Vecchi : Optimization by Simulated Annealing, Science, Vol.220, No.4598, (1983), pp.671-680.
- (3) P.Jain, P.Fenyas and R.Richter : Optimal blank nesting using simulated annealing, J. of Mech. Desn., Trans. of the ASME, Vol.114, (1992), pp.160-165.
- (4) 한국찬, 나석주 : 신경회로망을 이용한 직사각형의 최적배치에 관한 연구, 대한기계학회논문집, 제17권, 제12호, (1993), pp.3063-3072.
- (5) 한국찬, 나석주 : 레이저 절단을 위한 형상 자동배치 및 CAD/CAM 시스템 개발, 제4차 레이저 가공기술 심포지움, 대전, 한국기계연구원, (1993), pp.89-101

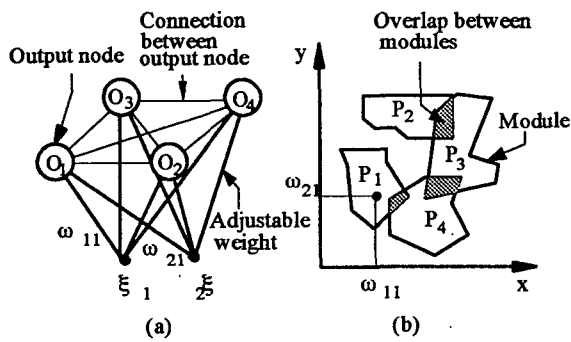


Fig. 1 Correspondence of items between (a) Kohonen's model and (b) layout algorithm

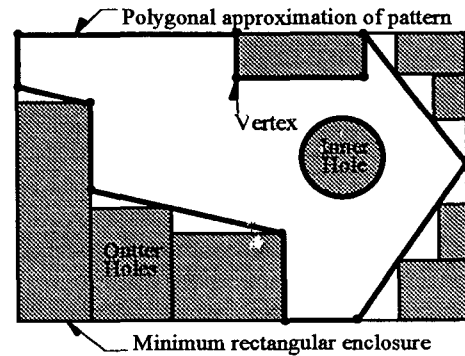


Fig. 2 An arbitrarily shaped pattern approximated by simple patterns of rectangle and circle

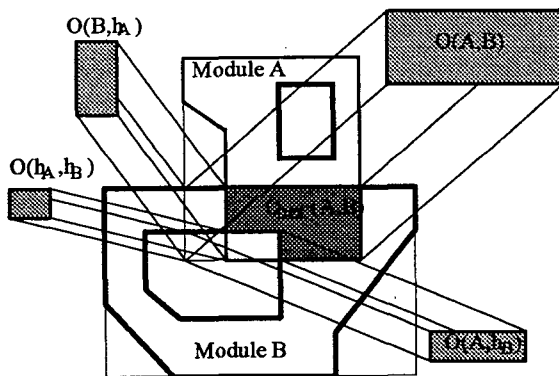


Fig. 3 An arbitrarily shaped pattern approximated by simple patterns of rectangle and circle

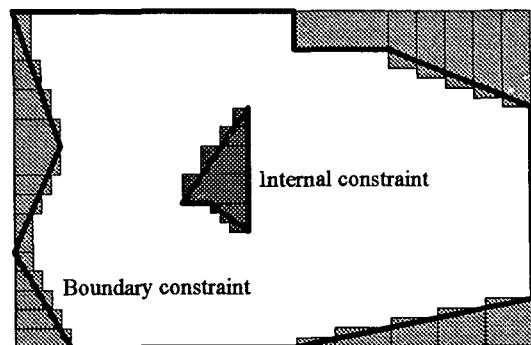
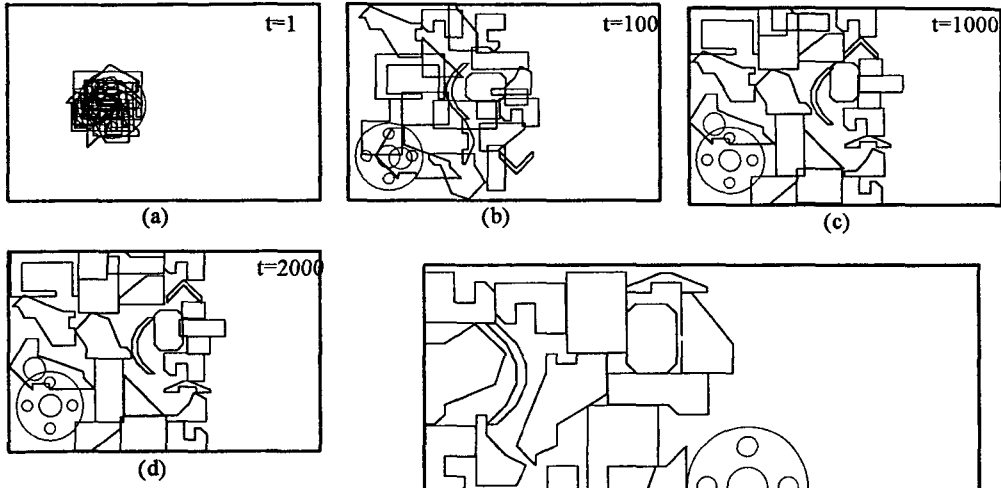
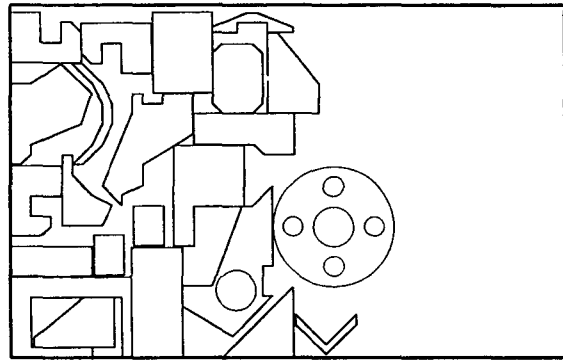


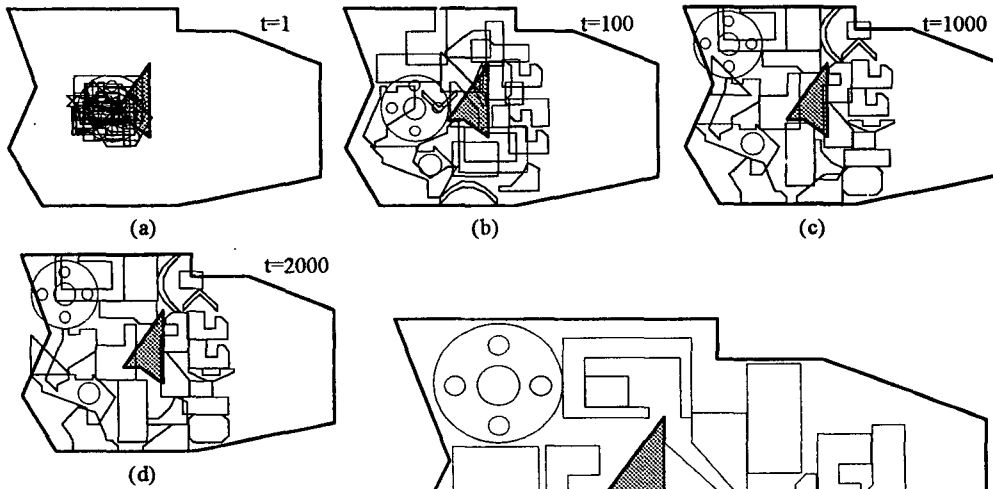
Fig. 4 Resource sheet with boundary and internal constraints



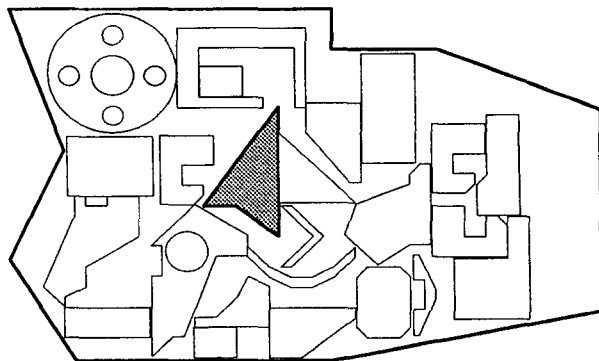
**Fig. 5** SOAL optimization process: intermediate results as time  $t$  is increased



**Fig. 6** Nesting result for arbitrary patterns



**Fig. 7** Another SOAL optimization process with boundary and internal constraints



**Fig. 8** Nesting result with boundary and internal constraints