

Kohonen 자기조직화 map 에 기반한 기계-부품군 형성

이경미*, 이건명†, 山川 烈*

*九州工業大學 情報工學部 情報科學, 日本 福岡縣 飯塚市

†충북대학교 컴퓨터과학과, 충북 청주시 개신동

lee@tsuge.ces.kyutech.ac.jp

Machine-Part Cell Formation based on Kohonen's Self Organizing Feature Map

Kyung-Mi Lee*, Keon-Myung Lee†, Takeshi Yamakawa*

*Graduate School of Computer Science and Systems Engineering

Kyushu Institute of Technology, Iizuka, Fukuoka 820, Japan

†Dept. of Computer Science, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

lee@tsuge.ces.kyutech.ac.jp

Abstract

The machine-part cell formation means the grouping of similar parts and similar machines into families in order to minimize bottleneck machines, bottleneck parts, and inter-cell part movements in cellular manufacturing systems and flexible manufacturing systems. The cell formation problem is known as a kind of NP complete problems. This paper briefly introduces the cell-formation problem and proposes a cell formation method based on the Kohonen's self-organizing feature map which is a neural network model. It also shows some experiment results using the proposed method. The proposed method can be easily applied to the cell formation problem compared to other meta-heuristic based methods. In addition, it can be used to solve large-scale cell formation problems.

1. 서론

batch 생산시스템에서는 다양한 제품이 여러 가공 공정을 통해서 소량으로 생산된다. batch 생산을 위해 일반 job-shop 시스템을 사용할 때는, 동종의 기계는 기계군으로 그룹으로 묶여지고 가공될 제품이 이들 기계군을 이동하게 된다. 이러한 job-shop 시스템에 대한 상대적인 시스템으로 그룹 테크놀로지(group technology)에 기반한 셀생산 시스템(cellular manufacturing system)이 있다. 셀생산 시스템에서는 생산효율을 높이기 위해 설계특징 또는 생산공정상의 유사성을 기준으로 하여 부품들을 부품군(part family)으로 나누고, 각 부품군에 속한 부품을 처리하는데 필요한 기계들을 하나의 기계군(machine family)로 그룹화하고 이를 생산셀(manufacturing cell)이 되도록 한다. job-shop 시스템에서와는 달리 생산셀 내의 모든 기계들이 동일하지는 않으며, 각 부품군의 부품 대부분은 셀 내에서 처리될 수 있도록 셀이 형성된다.

셀 생산 시스템의 설계에서는 시스템구조 설계와 작업전략 설계가 중요한 부분이다. 시스템 구조 설계에서는 우선 가공할 부품, 부품가공 작업, 작업을 수행할 기계를 결정한다. 다음 부품을 부품군으로 그룹화하고, 기계를 각 부품군에 대응

하는 기계군으로 그룹화하고, 도구, 고정장비, 재료 운송 장비 등을 선택한다. 끝으로 각 셀내에서 셀의 구성과 기계의 구성을 결정한다. 작업전략 설계에서는 스케줄링, 작업자의 작업결정, 유지관리, 다른 생산시스템과의 인터페이스 등에 관련된 문제를 다룬다.

본 논문에서는 셀생산 시스템에 대한 시스템 구조 설계에서 셀 형성 단계에 관심을 갖고 신경 회로망을 이용한 새로운 셀 형성방법을 제안한다. 2 절에서는 기계-부품군 형성문제에 대해서 간단히 설명한 다음, 3 절에서는 Kohonen의 자기조직화 map에 기반한 기계-부품군 형성문제를 제안한다. 4 절에서는 제안된 방법을 이용한 실험에 대해서 소개하고, 5 절에서는 결론을 맺는다.

2. 기계-부품군 형성 문제

2.1 기계-부품군 형성 문제

생산시스템에서 group technology에 기반한 셀 생산 방식은 생산성 향상을 위한 주요 요소로서 인식되고 있다. 셀생산 시스템에서는 가공 대상이 되는 전체 부품중 가공공정이 유사한 부품들을 부품군으로, 이에 대응하는 기계를 기계군으로 그룹화함으로써, 그룹내 가공수량을 크게하고, 공

정의 흐름을 단순화시켜 개별생산의 형태에서 대량생산의 효과를 거둘 수 있다.

기계-부품군 형성 문제는 이와 같은 셀생산 시스템 등에서 발생하는 문제로써, 여러가지 변형된 형태의 문제가 있으나 그 중 가장 기본적인 문제의 내용은 다음과 같다. 먼저 각 부품의 가공 정보를 나타내는 0-1 기계-부품 빈도행렬 (machine-part incidence matrix) $[x_{ij}]$ 이 데이터로서 주어진다. 이 빈도행렬에서 1(0)의 값을 가지는 요소 x_{ij} 는 기계 i 가 부품 j 를 처리하기 위하여 사용됨(사용되지 않음)을 의미한다. 이때 주어진 각종 제약조건을 만족하면서 군(셀) 간 상호의존성이 최소화되도록 전체 부품 및 전체 기계를 각각 몇 개의 부품군 및 기계군으로 할당하는 것이 기계-부품군 형성문제이다.

일반적으로 초기의 기계-부품 빈도행렬 $[x_{ij}]$ 이 주어졌을 때, 기계군과 부품군은 거의 식별되지 않는다. 즉, 이 문제를 해결한다는 것은 어떤 클러스터링 알고리즘을 사용하여 초기의 빈도행렬을 더욱더 구조화된 형태(가능한 한 블록 대각으로)로 전환시킨다는 것을 의미한다. 이 문제는 NP-complete로 잘 알려져 있으며 가장 기본적인 형태의 기계-부품 빈도행렬로써 다음과 같은 형태를 나타낸다.

		부품				
		1	2	3	4	5
기계	1	1	0	1	1	0
	2	0	1	1	0	1
	3	1	0	1	0	0
	4	0	1	0	0	1

[그림 1] 기계-부품 빈도행렬

		부품				
		2	5	3	1	4
기계	2	1	1	1	0	0
	4	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	1	1
	3	0	0	1	1	0

[그림 2] 기계-부품군 형성 결과

위의 예에서 기계-부품군 형성 후의 행렬은 두개의 부행렬(sub-matrix)로 분할할 수 있다. 위쪽 부행렬은 기계 2와 4, 부품 2와 5로 구성된 기계-부품 셀을 나타낸다. 나머지 부행렬은 기계 1과 3, 부품 3, 1, 4로 구성된 셀을 나타낸다. 부품 3을 제외한 모든 부품은 해당 셀에서 처리될 수 있다. 두번째 셀에 할당된 부품 3은 첫번째 셀의 기계에서 처리가 될 부분이 있다. 이러한 부품 3을 예외 부품(bottleneck part), 이러한 부품을 처리

해야 하는 기계 2를 예외 기계(bottleneck machine)라고 한다. 예외 부품은 셀생산 시스템에서 추가적인 부품 운송 비용을 초래한다. 셀간 이동, 부품운송비용, 기계 활용도, 셀 활용도 등을 고려하여 여러 방향에서 셀형성 문제에 대한 연구가 수행되어 왔다[1][2][5-8].

2.2 본 연구에서 대상으로 하는 기계-부품군 형성 문제

본 연구에서 대상으로 하는 기계-부품군 형성 문제는 기본적인 모형으로써 다음 가정들을 적용한다.

- (1) 기계-부품 빈도행렬 $[x_{ij}]$ 은 미리 주어지고, 행렬의 원소는 1 또는 0이다.
- (2) 목표로 하는 셀의 개수 C 는 사전에 주어진다
- (3) 한 대의 기계는 반드시 하나의 셀(cell)에만 포함되어야 한다.
- (4) 모든 기계는 셀에 반드시 포함 되어야 한다.
- (5) 기계-부품군은 셀간 이동이 최소화 되도록 형성한다.

위의 문제를 정형화하면 다음과 같은 최적화 문제가 된다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^{c-1} \sum_{l=k+1}^c \left[\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} c_{ik} c_{jl} \left[\sum_{m=1}^N x_{im} x_{jm} \right] \right] \\ & \text{subject to} \\ & \quad \sum_{k \in C} c_{ik} = 1, \quad i \in M \\ & \quad \sum_{i \in M} c_{ik} = 1, \quad k \in C \end{aligned}$$

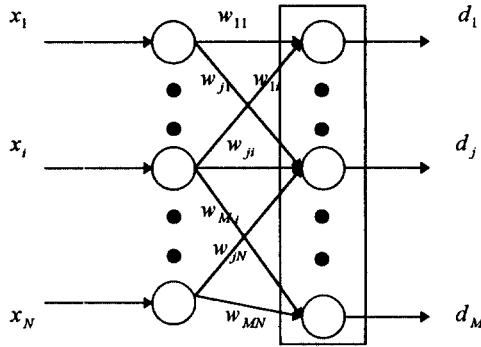
여기에서 C 는 셀의 집합이고, $[c_{ik}]$ 는 기계 i 가 셀 k 에 할당되어 있는지 여부를 나타내는 행렬이다. 한편, M 은 기계의 집합이고, C 는 셀이 집합이고, N 은 부품의 전체 개수이다.

3. Kohonen 자기 조직화 Map 에 의한 기계-부품군 형성

3.1 Kohonen map

자기조직화 map(self-organizing feature map)은 두개의 층으로 구성된 신경회로망으로, 첫번째 층은 입력층이고, 두번째 층은 노드들이 위상학적으로 2차원이나 1차원으로 구성되는 경쟁층이다. 첫번째 층에서 두번째 층으로 노드간의 연결이 있고, 한편 두번째 층의 노드들은 서로 완전결합(fully connected)으로 되어있다. 그림 3은 두번째 층이 1차원으로 구성된 자기조직화 map을 나타

낸 것이다.[4]



[그림 3] 자기조직화 map

입력패턴이 입력층에 주어지면, 경쟁층의 각 노드는 자신에 저장된 프로토타입과 입력패턴과의 거리를 구하게 된다. 가장 작은 거리값을 내는 경쟁층 노드가 승자(winner)가 되고, 이 노드와 이 노드에 이웃한 노드들에 대해서 입력층과의 연결강도를 조정하여 학습을 한다. 이웃 범위는 처음에는 경쟁층 내의 모든 노드들을 포함하다가 학습이 진행됨에 따라 점차로 줄어들어 승자와 바로 인접한 노드들만이 포함된다.

자기 조직화 map에 대한 학습 알고리즘은 다음과 같다.[3]

단계 1. 연결강도의 초기화

N 개의 입력으로부터 M 개의 출력 노드 사이의 연결강도를 작은 값으로 무작위로 초기화한다. 초기의 이웃 반경은 모든 노드들이 포함될 수 있도록 충분히 크게 잡았다가 점차로 줄여준다.

단계 2. 새로운 입력패턴의 제시

단계 3. 경쟁층 노드의 거리 계산

입력패턴과 각 출력 노드 j 사이의 거리 d_j 를 다음과 같이 계산한다.

$$d_j = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i(t) - w_{ji}(t))^2$$

여기서 $x_i(t)$ 는 시각 t 에서의 i 번째 입력 노드의 값이고, $w_{ji}(t)$ 는 시각 t 에서의 i 번째 입력 노드와 j 번째 출력 노드 사이의 연결강도이다.

단계 4. 최소 거리를 가진 출력 노드의 선택

최소 거리 d_j 를 갖는 출력 노드 j^* 를 선택한다.

$$j^* = \arg \min d_j$$

단계 5. 노드 j^* 와 이웃들의 연결강도 조정

노드 j^* 와 이웃 반경내의 모든 노드들의 연결강도를 다음식과 같이 재조정된다.

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \eta(t)(x_i(t) - w_{ji}(t))$$

여기에서 j 는 이웃 반경내에 포함된 노드들이고, i 는 0 에서 $N-1$ 까지의 정수값이다. $\eta(t)$ 는 0 과 1 사이의 값을 갖는 학습율이며, 시간이 감에 따라 감소한다.

단계 6. 단계 2 로가서 반복

3.2 기계-부품군 형성을 위한 Kohonen map

Kohonen 의 자기조직화 map 은 주어진 패턴들을 유사한 패턴들의 그룹으로 분류 (classification) 하는 기능을 가진 신경회로망이다. 한편 셀생산 시스템에서의 기계-부품군 형성 문제를 유사한 부품을 가공하는 기계를 분류하는 문제로 볼 수 있다. 따라서 기계-부품군 형성 문제에 자기조직화 map 신경회로망을 적용할 수 있다.

부품 N 개, 기계 P 개의 문제가 주어질 때 이에 대한 자기조직화 map 신경회로망은 다음과 같이 구성한다. 입력층의 노드 개수는 부품의 개수와 같은 N 개로 구성하고, 경쟁층의 노드 개수는 기대하는 기계-부품 군의 개수 M 만큼 되도록 한다. 구성된 신경회로망에 대한 학습데이터는 주어진 기계-부품 빈도행렬에서 각 행벡터가 된다. 따라서 P 개의 입력패턴이 만들어 진다.

주어진 입력패턴에 대해 위에서 설명한 알고리즘을 사용하여 구성된 신경회로망을 주어진 종료조건이 만족될 때까지 학습시킨다. 최종적으로 학습된 신경회로망으로 부터 기계-부품 군 형성 정보를 얻기 위해, 각 입력패턴을 학습된 신경회로망에 제시하여 가장 작은 거리 값을 내는 경쟁노드의 번호를 기록한다. 이때 동일한 경쟁노드의 번호를 갖는 기계는 같은 기계군(machine family)에 속하게 되고, 동일 기계군으로 분류된 입력패턴들에 나타나는 부품들은 해당 기계군에서 처리되는 부품군(part family)이 된다. 만약 어떤 부품이 두개 이상의 기계군에 포함되게 되는 경우에는, 즉 예외부품이 되는 경우, 설계자가 지정한 방법에 따라 하나의 기계군에만 포함되도록 부가적으로 처리한다.

4. 실험결과

제안된 방법의 효용성을 보이기 위해서 여러가지 실험을 했다. 다음은 예외부품이 있는 경우와 없는 경우 두가지 예에 대한 실험한 결과를 나타낸 것이다. [그림 4]는 10 개의 기계와 20 개의 부품으로 구성된 생산시스템에 대한 빈도행렬로서, 이 문제에 대해 4 개의 셀을 형성을 위해 입력층에 10 개의 노드를 갖고 출력층에 4 개의 노드를 갖는 자기조직화 map 을 학습시켰을때 [그림 5]와

같은 결과를 얻을 수 있었다.

	000000001111111112 12345678901234567890
1	10010010000000000000
2	01101001010000000000
3	01101001010000000000
4	10010010000000000000
5	000000000011101101
6	10010010000000000000
7	00000100101100010010
8	00000100101100010010
9	0000000000011101101
10	00000100101100010010

[그림 4] 기계-부품 빈도행렬

	1111120000111100001 34578014769126923580
5	11111100000000000000
9	11111100000000000000
1	00000011100000000000
4	00000011100000000000
6	00000011100000000000
7	0000000011111100000
8	0000000011111100000
10	0000000011111100000
2	0000000000000011111
3	0000000000000011111

[그림 5] 신경회로망에 의한 셀형성 결과

[그림 6]은 부품 35 개, 기계 20 개로 구성된 생산 시스템에 대한 정보이고, [그림 7]은 이에 대해서 4 개의 셀을 형성하기 위해 제안된 방법을 사용한 결과로서 예외부품이 있는 경우이다.

	00000000111111111222222222333333 12345678901234567890123456789012345
1	1010000000000000001001010000000000
2	01000010010110000100000100100010000
3	10101000000000101000000000001010000
4	0100001000011000000000100100000000
5	0000000100000101000000000000000010
6	00000001000001010010010001000000010
7	1010100000000101001001000000000000
8	10101000000000101001001010001000000
9	00000001000001000010010001000000000
10	00000001000001010010010001000000000
11	00010100101000000000100000010101001
12	00010100101000000000100000000000100
13	01000000000110000000001000000000000
14	010000100101100001000000100100010000
15	00010100101000000000100000010100000
16	00010100101000000000100000010101000
17	10101000000000101000001010001000000
18	0100000010110000100000100000010000
19	00010100101000000000100000010101000
20	00000001000001000010001001000000000

[그림 6] 기계-부품 빈도행렬

	00111122301131220001223333002201122 27023847184649264691180253130555793
2	1111111110000000000000000000000000
4	1101101100000000000000000000000000
13	1001100000000000000000000000000000
14	1111111110000000000000000000000000
18	1011110100000000000000000000000000
5	0000000001111000000000000000000000
6	0000000001111110000000000000000000

9	00000000110011100000000000000000
10	00000000111011100000000000000000
20	00000000110010100000000000000000
11	0000000000000000111111111000000000
12	0000000000000000111110000100000000
15	0000000000000000111111000000000000
16	0000000000000000111111100000000000
19	0000000000000000111111100000000000
1	00000000000000000000000000111100001
3	00000000100000000000000000110011110
7	00000000000000000000000000111011101
8	00000000000000000000000000111111111
17	00000000000000000000000000110111111

[그림 7] 신경회로망에 의한 셀형성 결과

제안된 방법은 100x100 이상의 대규모 문제에 대해서도 신속히 의미있는 결과를 얻을 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구

논문에서 제안한 자기조직화 map 에 기반한 기계-부품군을 형성하는데 있어서, 기존의 행렬에 기반한 방법이나 수리계획법에 의한 방법보다 복잡한 연산을 사용하지 않고, 문제크기의 증가에 따라 계산량이 크게 증가하지 않기 때문에, 규모가 큰 문제에 대해서도 쉽게 적용할 수 있다. 또한 유전자 알고리즘, Tabu 탐색, Simulated Annealing 등의 메타 휴리스틱 방법에 비해 목적 함수나 평가함수의 설정없이 문제에 적용할 수 있기 때문에 쉽게 응용할 수 있는 장점이 있다. 반면, 아직 애로기계가 많은 기계-부품 빈도행렬이 주어질 경우에는 셀을 형성하는데 다소 어려움이 있다. 앞으로 이러한 문제에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] I. Ham, K. Hitomi, T. Yoshida, *Group Technology: Applications to Production Management*, Kluwer-Nijhoff Publishing: Boston, 1985.
- [2] A. Kusiak, *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, Inc., 1990.
- [3] R. P. Lippman, "An Introduction to computing with neural nets", *IEEE ASSP Magazine*, Vol.4, pp.4-22, 1987.
- [4] S.Y. Kung, *Digital Neural Networks*, Prentice-Hall, 1993.
- [5] J. L. Burdige, "Production flow analysis", *Production Engineer*, Vol.50, pp.139-152, 1971.
- [6] M. P. Chandrasaekharan, R. Rajagopalan, "MODROC: an extension of rank order clustering for group technology", *Int. J. of Production Research*, Vol.24, pp.1221-1233, 1986.
- [7] M. P. Chandrasaekharan, R. Rajagopalan, "GROUPABILITY: an analysis of the properties of binary data matrixes for group technology", *Int. J. of Production Research*, Vol.27, pp.1035-1052, 1989.
- [8] G. Srinivasan, T. T. Narendran, "GRAFICS: a nonhierarchical clustering algorithm for group technology", *Int. J. of Production Research*, Vol.29, pp.463-478, 1991.