

## Heavy-Weight Component First Placement Algorithm for Minimizing Assembly Time of Printed Circuit Board Component Placement Machine

Sang-Un Lee \*

### Abstract

This paper deals with the PCB assembly time minimization problem that the PAP (pick-and-placement) machine pickup the  $K$ -weighted group of  $N$ -components, loading, and place into the PCB placement location. This problem considers the rotational turret velocity according to component weight group and moving velocity of distance in two component placement locations in PCB. This paper suggest heavy-weight component group first pick-and-place strategy that the feeder sequence fit to the placement location Hamiltonian cycle sequence. This algorithm applies the quadratic assignment problem (QAP) that considers feeder sequence and location sequence, and the linear assignment problem (LAP) that considers only feeder sequence. The proposed algorithm shorten the assembly time than iATMA for QAP, and same result as iATMA that shorten the assembly time than ATMA.

▶ Keywords : Rotational turret, Rotational velocity, Placement distance, Feeder arrangement, Weight group

---

• First Author: Sang-Un Lee, Corresponding Author: Sang-Un Lee

\*Sang-Un Lee (sulee@gwnu.ac.kr), Dept. of Multimedia Engineering, Gangneung-Wonju National University

• Received: 2015. 12. 17, Revised: 2016. 01. 05, Accepted: 2016. 01. 20.

## I. Introduction

하나의 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)에  $N$ 개의 배치 위치가 필요하며, 각 부품들은  $K$ 개의 중량 그룹으로 분류되어 있다. 이들 부품 전체를 PCB에 배치하기 위해서는 회선포대(rotational turret)의 머리(head)가 자동송급장치 운반기(feeder carrier)의 자동송급장치 슬롯(feeder slot)으로부터 부품을 집어오기(pick)와 적재(loading)를 하고 있다가 회선포대가 회전하여 머리가 PCB의 해당 배치 위치인 내려놓기 위치(placement location)에 도달하면 내려놓기를 한다. 이 경우, 해당 PCB는 양산을 하는 관계로 하나의 PCB를 생산하는 시간을 최소화 해야 최대의 생산성을 얻을 수 있다. 이를 PCB 부품배치기계의 조립시간 최소화 문제(assembly time minimization problem, ATMP)라 한다[1].

ATMP는 하나의 부품을 배치하기 위해서는 해당 부품을 집어오기-적재-내려놓기 동안 소요되는 시간과 PCB 상의 해당 부품 배치 위치까지의 이동시간의 2가지 요인에 영향을 받는다[1]. 따라서 2차원 할당 문제(quadratic assignment problem, QAP)[2]로 볼 수 있다.

ATMP를 풀기 위해서는 먼저, 부품들을 중량 그룹 집합들로 분할한다. 다음으로, PCB의 부품 배치 위치들 간 최소 이동거리를 찾기 위해 중량 그룹별 배치순서인 해밀턴 사이클(Hamiltonian cycle)을 찾는 TSP(traveling salesperson problem)[3]를 결정해야 한다. 다음으로, TSP로 얻은 부품 배치 순서에 따라 회선포대의 머리(자동송급장치의 슬롯)에 부품들을 배정하는 자동송급장치 배열 절차(feeder arrangement procedure, FAP)를 수행해야 한다. 이 때, 회선포대의 회전 속도는 적재된 부품의 중량에 영향을 받기 때문에 FAP의 부품 배정 순서가 중요한 요인으로 작용한다.

PCB의 부품 배치 순서와 자동송급장치 슬롯에 배정된 부품 순서는 경량급에서 중량급 순으로 경량급 우선순위 방법을 ATMA(assembly time minimization algorithm)라 하며, 중량급에서 경량급 순으로 중량급 우선순위 방법을 iATMA(inverse ATMA)라 한다 [1].

만약, PCB의 부품 배치 순서에 따른 이동거리가 회선포대의 최소 회전속도보다 작을 경우에는 회선포대의 머리인 자동송급장치 슬롯에 배정된 부품의 순서만 고려하면 된다. 이는 선형 할당 문제(linear assignment problem, LAP)[4]로 취급할 수 있다.

QAP와 TSP는 NP-완전 (NP-complete)으로 최적 해를 찾는 다항시간 알고리즘이 알려져 있지 않다. 이로 인해 ATMP 또한 NP-완전 또는 NP-난제 (NP-hard)로 분류된 어려운 문제이다[5,6].

Duman[7]은 ATMA를 제안하였다. Alkaya와 Duman[1]은 PCB의 부품 배치 순서 TSP를 사전에 결정하였다고 가정 한 경우, 자동송급장치 슬롯에 배정될 부품의 순서를 결정하는 LAP를 푸는 방법으로 휴리스틱한 iATMA를 제안하고,

ATMA와 비교하여 iATMA가 보다 좋은 성능을 나타냄을 보였다. Alkaya와 Duman[8]는 TSP를 풀기 위해 담금질 기법(simulated annealing, SA)과 AFPP(adjust first point procedure), PRTLEM(record-to-record travel with local exchange moves), EPD(extended postpone deviant)들을 ATMA와 iATMA와 결합한 하이브리드 형을 제안하였다.

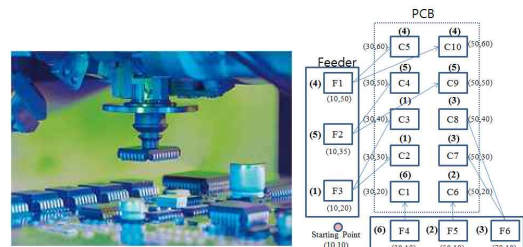
ATMA는 NP-완전으로 최적 해를 구하는 다항시간 알고리즘이 존재하지 않는다는 가정하에 다양한 메타휴리스틱 기법들을 적용하고 있다. 예를 들면, Ho et al.[9]은 하이브리드형 유전자 알고리즘(hybrid genetic algorithm, HGA)을 적용하였으며, Demirkale et al.[10]은 봉군(artificial bee colony, ABC)과 SA를 적용하였다. Chang et al.[11]은 GA와 ESMA(external self-evolving multiple archives)를, Chen과 Lin[12]은 입자군집 최적화 기법(particle swarm optimization, PSO)을, Chen과 Lin[13]은 이산 PSO(discrete PSO, DPSO)를, Zue와 Zhang[14]은 ISFLA(improved shuffled frog-learning algorithm)를 적용하였다.

일반 조립라인이나 PCB 조립라인에 대한 순환시간(cycle time) 최소화 문제에 대해서는 Lee[15,16]가 연구하였지만, ATMP에 대해서는 연구가 진행되지 않고 있다.

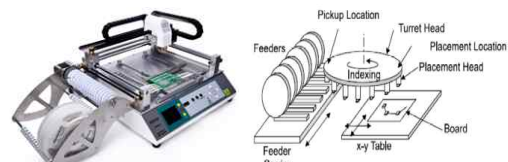
본 논문에서는 NP-완전인 ATMP에 대해  $O(N^2)$ 의 다항시간으로 해를 구할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 ATMP를 고찰한다. 3장에서는 ATMP의 해를 다항시간으로 구할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 다양한 사례들에 적용하여 본다.

## II. Description and Related Works

전형적인 PAP 장비는 그림 1과 같은 형상을 갖고 있다. (a)는 하나의 팔을 가진 로봇이 하나의 부품을 집어와 해당 위치에 내려놓는 과정을 반복수행하는 장비[17]이며, (b)는 자동송급장치 운반기에서 회선포대 머리가 한 번에 하나의 부품을 집어와 회전 중에 적재하다가 머리가 #0 위치에 도달하면 PCB의 해당 위치에 내려놓는다[18].



(a) Single pick-and-place robot



(b) Single pick-and-single place machine











었다. 결론적으로, HCFPA의 실험 결과 ATMP는 PCB의 부품 배치 위치 사이클을 중량급에서 시작하여 경량급 순으로 내림차순으로 이동하며, 이 이동순서에 따른 중량그룹내의 부품 출현 순서로 회선포대의 자동송급장치 슬롯에 순서대로 배정하는 것이 최소의 조립시간을 얻을 수 있다는 결론을 얻었다.

## V. Conclusions and Future Research

본 논문은 다중 집어오기-적재-단일 내려놓기를 수행하는 PCB 부품 배치기계 (PAP 기계)로  $K$ 개의 중량 그룹으로 분할된  $N$ 개의 부품들을 PCB에 배치하는 경우 조립시간을 최소화하는 문제를 다루었다. 이 문제는 자동송급장치 슬롯에 배정된 부품들의 중량에 따라 PAP 장비의 회선포대 회전속도가 차이가 있으며, 또한, PCB의 부품 배치 위치간의 거리를 이동하는 속도도 고려해야 하는 난제이다.

본 논문은  $N$ 개의 부품들을  $K$ 개의 중량 그룹으로 분할하고, 중량급 부품 그룹부터 경량급 부품 그룹 순으로 중량 내림차순으로 PCB의 부품 배치 위치인 해밀턴 사이클 순서와 자동송급장치 슬롯의 배정 순서가 일치하도록 부품들을 배정하는 전략을 제안하였다.

제안된 알고리즘을 자동송급장치 슬롯의 부품 배정 순서만을 고려하는 LAP와 자동송급장치 슬롯의 부품 배정 순서와 PCB의 부품 배치 위치에 대한 해밀턴 사이클 순서도 고려하는 QAP의 실험 데이터들에 적용한 결과 QAP에 대해서는 iATMA에 비해 조립시간을 보다 단축시킬 수 있었으며, LAP에 대해서는 ATMA에 비해 조립시간을 단축시킨 iATMA와 동일한 결과를 얻었다.

본 논문에서는 벤치마킹 데이터의 수집 어려움으로 인해 소량의 실험 데이터들에 대해서만 제안된 알고리즘의 적합성을 검증하였다. 추후, 보다 많은 데이터들에 적용하여 제안된 알고리즘을 보다 일반화된 알고리즘으로 적용할 수 있음을 검증할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] A. F. Alkaya, E. Duman, and A. Eyler, "Assembly Time Minimization for an Electronic Component Placement Machine," *WSEAS Transactions on Computers*, Vol. 4, No. 7, pp. 326-340, Apr. 2008.
- [2] R. K. Ahuja, J. B. Orlin, and A. Tiwaric, "A Greedy Genetic Algorithm for the Quadratic Assignment Problem" *Computers and Operations Research*, Vol. 27, No. 10, pp. 917-934, Sep. 2000.
- [3] C. Rego, D. Gamboa, F. Glover, and C. Osterman, "Traveling Salesman Problem Heuristics: Leading Methods, Implementations and Latest Advances," *European Journal of Operational Research*, Vol. 211, No. 3, pp. 427-441, Jun. 2011.
- [4] R. E. Burkard and E. Çela, "Linear Assignment Problems and Extensions," *Handbook of Combinatorial Optimization*, pp. 75-149, 1999.
- [5] M. Ayob and G. Kendall, "A Survey of Surface Mount Device Placement Machine Optimisation: Machine Classification," *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, No. 3, pp. 893-914, May 2008.
- [6] M. Grunow, H. O. Günther, M. Schleusener, and I. O. Yilmaz, "Operations Planning for Collect-and-Place Machines in PCB Assembly," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 47, No. 4, pp. 409-429, Dec. 2004.
- [7] D. Duman, "Modeling the Operations of a Component Placement Machine with Rotational Turret and Stationary Component Magazine," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58, No. 3, pp. 317-325, Mar. 2007.
- [8] A. F. Alkaya, E. Duman, "Application of Sequence-Dependent Traveling Salesman Problem in Printed Circuit Board Assembly," *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, Vol. 3, No. 6, pp. 1063-1076, Jun. 2013.
- [9] W. Ho, P. Ji, and P. K. Dey, "Optimization of PCB Component Placements for the Collect-and-Place Machines," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 37, No. 7-8, pp. 828-836, Jun. 2008.
- [10] H. Demirkale, A. F. Alkaya, and E. Duman, "Exact and Metaheuristic Approaches for Optimizing the Operations of Chip Mounter Machines," *Proceedings of CISIM2010, Cracow, Poland*, pp. 120-125, Oct. 2010.
- [11] P. C. Chang, W. H. Huang, and C. J. Ting, "Developing a Varietal GA with ESMA Strategy for Solving the Pick and Place Problem in Printed Circuit Board Assembly Line," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 23, No. 5, pp. 1589-1602, Oct. 2012.
- [12] Y. M. Chen and C. T. Lin, "A Particle Swarm Optimization Approach to Optimize Component Placement in Printed Circuit Board Assembly," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

- Vol. 35, No. 5-6, pp. 610-620, Dec., 2007.
- [13] Y. M. Chen and C. T. Lin, "Optimizing the Operation Sequence of Multihead Surface Mounting Machine Using a Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm," *Journal of Artificial Evolution and Applications*, Vol. 2008, No. 1, Article No. 7, pp. 1-8, Jan. 2008.
- [14] Z. Y. Zhu and W. B. Zhang, "An Improved Shuffled Frog-Leaping Algorithm to Optimize Component Pick-and-Place Sequencing Optimization Problem," *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, No. 15, pp. 6818-6829, Nov. 2014.
- [15] S. U. Lee, "A Single-model Single-sided Assembly Line Balancing Problem Using Main-path Clustering Algorithm," *Journal of KSCI*, Vol. 19, No. 5, pp. 89-98, May 2014.
- [16] S. U. Lee, "An Assignment-Balance-Optimization Algorithm for Minimizing Production Cycle Time of a Printed Circuit Board Assembly Line," *Journal of KSCI*, Vol. 21, No. 2, pp. 000-000, Feb. 2016. (publication acceptance)
- [17] W. Ho and P. Ji, "An Integrated Scheduling Problem of PCB Components on Sequential Pick-and-Place Machines: Mathematical Models and Heuristic Solutions," *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 3, pp. 7002-7010, Apr. 2009.
- [18] M. Alsager and Z. A. Othman, "Simulated Annealing Algorithm Using Iterative Component Scheduling Approach for Chip Shooter Machines," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 65, No. 2, pp. 480-490, Jul. 2014.

## Authors



Sang Un Lee received the B. Sc. degree in avionics from the Korea Aerospace University in 1997. He received the M. Sc. and Ph. D. degrees in Computer Science from Gyeongsang National University, Korea, in 1997 and 2001, respectively.

He is currently Professor with the Department of Multimedia Science, Gangneung-Wonju National University, Korea. He is interested in software quality assurance and reliability modeling, software engineering, software project management, neural networks, and algorithm.