

## 부품 집단화 현상을 이용한 PCB 조립 최적화 연구<sup>†</sup>

### Optimization of PCB assembly using component gathering phenomenon

문기주 · 정현철

동아대학교 산업경영공학과 · 경남정보대학 산업시스템경영과

#### Abstract

PCB assembly is a complicated and difficult process to optimize due to the necessity of simultaneous consideration of rack assignment and board mounting sequencing. An efficient component mounting method is developed using component gathering phenomenon. It is found that same components are located closely each other by checking PCBs in field and interviewing PCB designers. A new method counting this phenomenon is developed and it is performed better with more number of total components and more number of gathered components cases. Simulation models are developed using Visual C++ for performance evaluation of the heuristic.

#### 1. 연구방법 및 목적

기존의 연구에서 Reaz(1999)와 Park(1996)은 부품의 위치 좌표 및 부품 크기 등에 대한 정보를 부품 형태별로 무작위하게 생성하거나 실제 데이터를 적용하더라도 부품 그룹을 형성하거나 방법을 적용하는데 있어 단순한 근접도 평가결과 및 부품개수에 대한 간단한 정보만을 적용하고 있는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 전자회로 설계 전문가와 회로의 선과 부품을 최적화시키는 아트웍(artwork) 작업을 하는 전문가들의 의견과 실제 PCB를 생산하고 있는 여러 기업들에서 획득한 자료 및 실제 PCB 상의 부품들에 대한 위치분석과정을 거쳐 동일한 부품 종류들이 기판상에 매우 밀집되어 분포하고 있다는 새로운 사실을 발견하게 되었다. 집단화 현상을 보이는 부품들은 전체 부품의 50% 정도에서 많게는 70%정도에 이르는 것을 알 수 있었다. 동종의 부품들이 특정한 구역에 밀집되어 분포하는 현상은 자삽기와 SMD를 이용한 PCB 조립 공정의 부품 장착순서 결정에 매우 중요한 정보로 활용될 수 있으며, 특히 부품의 종류가 다양하고 장착될 부품의 개수가 많을수록 그 활용도가 높은 정보일 것으로 판단된다. 기존의 연구들에서는 이러한 부품의 위치정보에 대한 특별한 분석없이 단순히 기판상에 무작위하게 부품의 위치를 생성하도록 하고 있으며, 실제 기판상의 부품위치정보를 적용하더라도 해법에 이러한 현상을 전혀 고려하지

않고 적용하고 있어 해의 수행도를 떨어뜨리는 주요한 원인으로 작용하고 있다.

이러한 문제를 보다 체계적으로 해결하기 위하여 본 연구에서는 부품의 위치생성 단계에서 특정 부품들이 일정한 구역에 집단화 형성되어 분포하도록 프로그램을 구성하였으며, 집단화 형성된 부품은 전체부품들에서 40%~50%정도로 생성되어지고, 전체 부품종류들에서 20%~30%정도가 밀집되어 분포하도록 설정하였다.

#### 2. 랙과 기판의 이동거리 최소화 알고리즘 개발

부품 할당과정은 근접도 평가결과 및 부품종류별 부품개수를 기초로 이루어지게 된다. 즉 부품들간의 근접도 평가 결과를 기준으로 근접도가 높은 부품들이 서로 이웃하게 배치되도록 한다는 것이 기본 취지이며, 이 때 동종부품들간의 근접도 평가결과도 고려하게 된다. 이는 동일한 형태의 부품들이 밀집되어 분포되고 있는 기판의 특성을 고려해 볼 때, 매우 의미있는 정보로 활용되고, X-Y 테이블에서의 단위이동거리와 함께 랙의 단위이동거리를 동시에 최소화하기 위한 목적함수에 매우 주요한 영향을 미치게 될 것이다. 부품개수와 근접도 평가결과 그리고 집단화되어 분포하고 있는 부품과 그렇지 않고 무작위하게 생성되어진 부품을 구분하고, 각각의 사전정보를 이용하여 모두 5개의 슬롯을 하나의 그룹으로 형성하고 난 후, 이들 형성된 그룹별로 부품을 X-Y 테이블에 장착하게 된다. 여기에서 집단화되어 있는 부품의 기준은 최소 2개 이상이어야 하며, 집단화된 부품종류들을 부품의 수가 많은 것들과 비교적 부품의 수가 많지 않은 부품으로 다시 구분하게 된다. 이들 집단화된 부품들은 전체 부품개수에서 50%이상을 차지하게 된다. 여기까지의 분류는 대와 소그룹으로 나누어졌고, 다시 대와 소그룹내에서 각각 집단화된 것과 랜덤 배정된 것으로 나누어지게 된다. 각 그룹별 랙에 대한 부품 할당과정은 아래와 같으며, 이에 필요한 사전 정보는 이미 획득한 상태인 것으로 가정한다. 랙에서의 부품형성 과정은 부품개수가 많은 부품들과 집단화되어 분포하고 있는 부품을 위주로 장착순서를 결정하되, 기판 최종완성단계에서 수 개의 부품들에서 랙과 X-Y 테이블의 단위이동거리가 매우 높은 부품들이 형성되는 현상을 방지하기 위하여 각 그룹의 첫 번째와 마지막 칸에 부품수량이 적은 부품들을 고려하여 하나의 그룹을 형성시키도록 하고 있다. 그리고 집단화 형성된 부품이 존재하지 않는 경우는 부품의 개수가 작은 부품과 부품개수가 많은 부품을 위주로 그룹을 형성하여 부품을 배정하는 방법을 적용하였다. 첫 번째 슬롯에는 부품개수가 작은 부품을, 두 번째 슬롯에

<sup>†</sup> 과학재단지원으로 수행된 연구임

는 부품개수가 많은 부품 배치하고, 세 번째 슬롯에서는 다시 부품개수가 작은 부품을 배치하여 세 개의 슬롯을 하나의 그룹으로 형성하는 방법이다. 부품을 기판에 장착하는 과정은 먼저 소그룹에서 대그룹 순서로 이루어지게 되며, 먼저 소그룹내의 5개의 슬롯을 하나의 순환그룹으로 기판에 부품을 장착하게 된다. 이 때 가장 먼저 슬롯 1에 위치하고 있는 부품을 장착하고, 다음으로 슬롯 1과 슬롯 2의 부품을 대상으로 다음 이동지점을 검색하게 된다. 이 슬롯의 현 위치 좌우 ±1과 기판상의 한단위 이동거리 내에서 최단거리로 장착해 나간다. 현 그룹의 마지막 슬롯에서는 다음 그룹의 첫 슬롯 부품을 빈칸 랙 이동이 발생하지 않았으면 장착시키고 현 그룹으로 돌아온다.

### 3. 수행도 평가

#### 1) 시뮬레이션 모형의 설계

동종 부품들간의 집단화 현상을 고려한 그룹형성 방법이 어느 정도 우수한 결과를 보이는지를 알아보기 위해 수치실험을 적용해보도록 하자. 먼저, 기판은 현장에서 가장 보편적으로 제조되고 있는 100×100mm 크기로 설정하였으며, 부품의 개수는 100에서 500개까지 다양화하여 실험을 반복 수행하였다. 그리고 부품의 종류도 부품의 개수와 적합하도록 최소 20종류에서 최대 90종류까지 다양화하였으며, 이후 기판의 크기를 150×100mm, 200×200mm로 확대 적용하여 기판의 크기와 부품의 종류 등이 실험결과에 어떠한 영향을 미치는지를 평가할 수 있도록 시뮬레이션할 것이다. 프로그램은 Visual Studio 6.0 통합환경에서 Visual C++로 코딩되었으며, 펜티엄 1.7G에서 256M 환경에서 시뮬레이션이 수행되었다. 그리고 각 실험은 모두 10회씩 실시하여 Park & Sohn의 그룹형성 방법과 총 단위이동거리를 비교하여 결과를 분석하고 평가하게 된다.

#### 2) 시뮬레이션 결과분석

본 연구에서 제안한 해법의 유효성을 입증하기 위해 Sohn과 Park의 랙 배치 방법과 총단위이동거리를 비교하여 제시하고자 한다. 먼저 표 1, 표 2, 표 3, 표 4에는 기판크기가 100×100mm에서의 부품개수를 다양하게 설정하고 각 경우에서 부품 종류들을 다양하게 변화시켜가며 비교한 결과들이 정리되어 있다. 그리고 그림 1에서 그림 4까지는 실험결과를 보다 명확하게 보여주기 위해 그래프로 표현한 것이다. 부품의 개수가 많아지는 정도에 따라 부품의 종류는 최대 90개까지 다양화하여 실험을 수행하였다. 표 1에서 부품 종류가 20개인 경우를 살펴보면 총 10번의 실험을 수행한 결과 본 연구에서 제안된 방법을 적용한 모든 경우들에서 그 결과가 우수한 것으로 나타났다. 총단위이동거리의 평균치를 살펴보면 제안방법에서는 205.8, Park & Sohn의 방법에서는 250.4가 되어 평균 50 단위이동거리의 차이를 보이는 것을 알 수 있으며, 해의 개선효과가 평균 18%정도 우수한 것으로 나타났다. 그리고 기판에 장착될 부품의 개수가 많아질수록 해의 개선정도가 매우 높은 것으로 평가되었다. 그러나 부품개수별로 부품의 종류가 많아질수록 제안된 방법의 수행도가 떨어지는 것을 알 수 있는데,

이는 부품의 집단화 형성정도가 낮아지는 것과 관련이 있는 것으로 판단된다. 부품개수가 동일한 상황에서 부품의 종류가 많아지게 되면 집단화된 부품의 개수가 작아지게 되므로 이에 따른 단위이동거리의 증가현상이 발생하게 된 것으로 보인다. 즉 집단화된 부품의 종류가 얼마나 많은지가 미치는 영향보다는 집단화된 부품종류의 부품개수의 다소가 제안 알고리즘의 수행도에 더 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 그리고 실험결과에서 기판의 크기와 부품종류간의 어떠한 관계가 있는지를 알아보기 위하여 기판의 크기를 100×75mm로 설정하고 부품종류를 20개와 40개인 경우에서의 부품개수를 다양화하여 실험을 수행하였다. 그리고 최종 단계에서 기판의 크기를 150×100mm크기로 확대하고 부품개수를 최대 700개까지 장착하는 기판을 대상으로 실험결과를 평가해 보았다. 그림 5는 기판의 크기를 100×75mm에서 부품개수가 100개인 경우, 200개인 경우, 그리고 300개인 경우에서 부품종류가 20개인 경우를 대상으로 실험을 수행한 결과이며, 그림 6은 동일한 조건하에서 부품의 종류만 40개로 확대하여 설정한 경우의 실험결과를 그래프로 나타낸 것이다.

표 1. 부품개수가 100개인 경우에서의 총단위이동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No. of Comp. Type	TYPE 20			TYPE 30			TYPE 40		
	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②
1	234	258	0.91	214	261	0.82	225	255	0.88
2	211	270	0.78	216	251	0.86	209	249	0.84
3	212	274	0.77	222	255	0.87	252	271	0.93
4	201	228	0.88	213	257	0.83	217	277	0.78
5	215	258	0.83	228	260	0.88	231	256	0.90
6	202	231	0.87	194	234	0.83	237	263	0.90
7	208	256	0.81	214	253	0.85	228	255	0.89
8	188	249	0.76	229	247	0.93	222	253	0.88
9	185	231	0.80	233	263	0.89	218	238	0.92
10	202	249	0.81	208	260	0.80	212	276	0.77
AVEG.	205.8	250.4	0.82	217.1	254.1	0.85	225.1	259.3	0.87

표 2. 부품개수가 200개인 경우에서의 총단위이동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No. of Comp. Type	TYPE 30			TYPE 40			TYPE 50		
	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②
1	389	472	0.82	454	500	0.91	433	504	0.86
2	388	461	0.84	454	525	0.86	499	515	0.97
3	403	434	0.93	393	523	0.75	462	497	0.93
4	396	427	0.93	416	544	0.76	412	467	0.88
5	382	481	0.79	447	533	0.84	444	472	0.94
6	364	409	0.89	420	493	0.85	410	486	0.84
7	365	479	0.76	424	521	0.81	409	470	0.87
8	400	508	0.79	367	495	0.74	411	479	0.86
9	359	502	0.72	441	534	0.83	418	552	0.76
10	371	404	0.92	420	518	0.81	415	465	0.89
AVEG.	381.7	457.7	0.83	423.6	518.6	0.82	431.3	490.7	0.88

표 3. 부품개수가 300개인 경우에서의 총단위이동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No. of Comp. Type	TYPE 50			TYPE 60			TYPE 70		
	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②
1	657	767	0.86	664	786	0.84	702	806	0.87
2	669	799	0.84	729	790	0.92	698	802	0.87
3	655	789	0.83	674	783	0.86	755	818	0.92
4	656	846	0.78	677	816	0.83	749	814	0.92
5	687	810	0.85	679	817	0.83	706	805	0.88
6	668	755	0.88	692	765	0.90	686	756	0.91
7	647	804	0.80	669	798	0.84	668	785	0.85
8	671	809	0.83	659	767	0.86	730	798	0.91
9	665	765	0.87	670	799	0.84	637	781	0.82
10	685	820	0.84	642	749	0.86	670	780	0.86
AVEG.	666	796.4	0.84	675.5	787	0.86	700.1	794.5	0.88

표 4. 부품개수가 500개인 경우에서의 총단위이동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No. of Comp. Type	TYPE 70			TYPE 80			TYPE 90		
	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②	Suggested①	Park&Sohn②	① / ②
1	1071	1320	0.81	1196	1314	0.91	1197	1336	0.90
2	1098	1318	0.83	1134	1355	0.84	1186	1348	0.88
3	1148	1322	0.87	1107	1319	0.84	1108	1371	0.81
4	1124	1306	0.86	1155	1364	0.85	1132	1345	0.84
5	1178	1443	0.82	1124	1373	0.82	1136	1360	0.84
6	1105	1351	0.82	1167	1358	0.86	1215	1364	0.89
7	1079	1334	0.81	1121	1296	0.86	1170	1381	0.85
8	1111	1300	0.85	1102	1290	0.85	1133	1298	0.87
9	1097	1315	0.83	1143	1358	0.84	1123	1364	0.82
10	1082	1269	0.85	1131	1303	0.87	1143	1311	0.87
AVEG.	1109.3	1327.8	0.84	1138	1333	0.85	1154.3	1347.8	0.86

도표상에서 부품의 개수가 많아질수록 해의 개선효과가 높게 나타나고 있으나 부품종류가 40개인 경우에는 부품종류가 20개인 경우에서보다 그 효과가 미흡하게 나타나고 있다. 즉, 20개의 부품종류를 가지는 경우에서 집단화 형성된 부품 종류의 부품의 개수가 더 고밀도로 형성되기 때문으로 분석해 볼 수 있다. 이러한 현상은 기판크기 150×100mm인 경우에서도 마찬가지로 나타났으며, 그림 7과 8은 부품개수를 500개에서 700개까지 확대하고, 부품종류를 80개, 100로 설정하여 실험한 결과를 나타낸 그래프이다.

그림 1. 부품종류별 총단위이동거리 비교 (부품개수 : 100개)

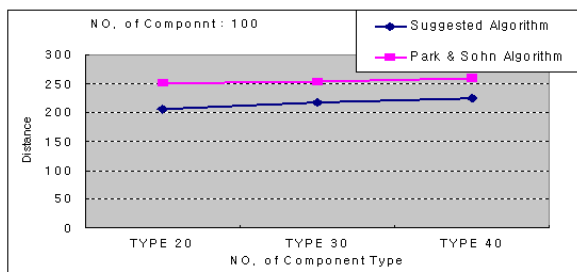


그림 2. 부품종류별 총단위이동거리 비교 (부품개수 : 200개)

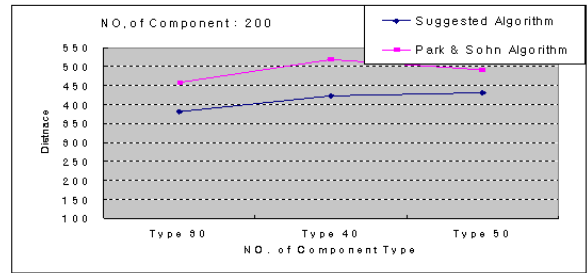


그림 3. 부품종류별 총단위이동거리 비교 (부품개수 : 300개)

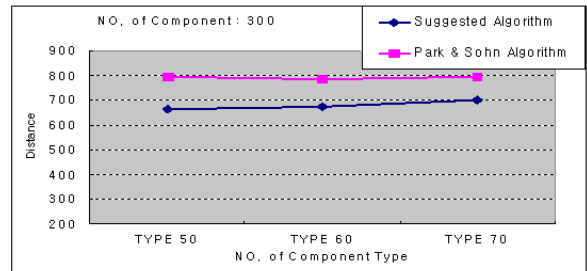


그림 4. 부품종류별 총단위이동거리 비교 (부품개수 : 500개)

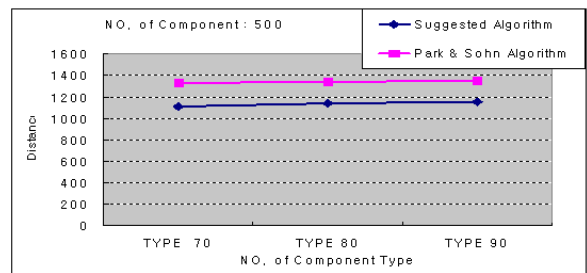


그림 5. 부품개수별 총단위이동거리 비교 (부품종류 : 20개)

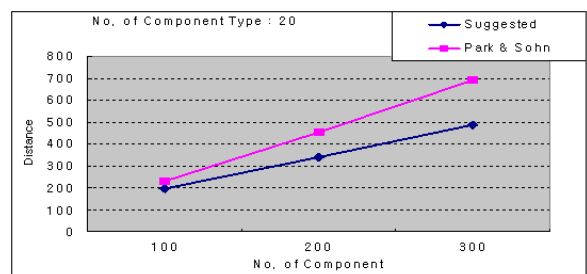


그림 6. 부품개수별 총단위이동거리 비교 (부품종류 : 40개)

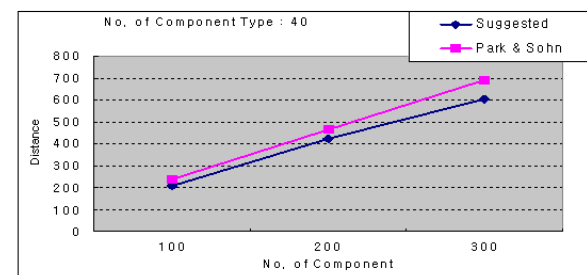


그림 7. 부품개수별 총단위이동거리 비교  
(부품종류 : 80개)

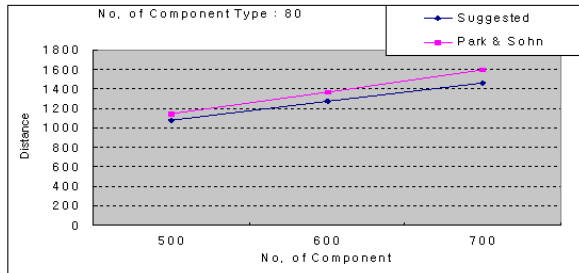
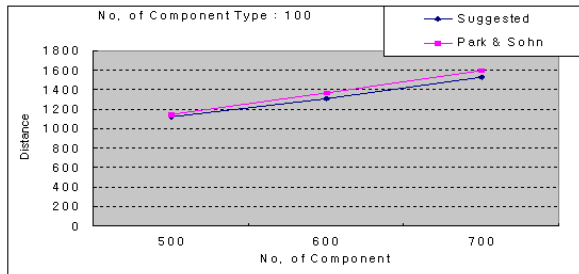


그림 8. 부품개수별 총단위이동거리 비교  
(부품종류 : 100개)



이상의 실험결과에서 부품의 집단화 현상은 반드시 고려되어야 중요한 요인으로 보아지며, 특히, 부품의 개수가 많고, 동종부품들이 특정구역내에 고밀도 밀집되어 분포하고 있는 경우에서 제안한 휴리스틱이 우수한 결과를 보이는 것으로 평가되었다.

#### 4. 결론

PCB는 전자산업 분야의 핵심 부품으로 특히 부품 자동삽입기 등은 매우 고가의 자동화설비로써 그 효율적 운영은 기업의 경쟁력 제고를 위해 매우 중요한 문제로 취급되고 있다. 그러나 랙에서의 부품 배치와 기판상의 부품 배치하는 과정이 동시에 최적화되어야 하는 상당히 복잡한 문제로 알려져 있으며, 본 연구에서는 부품을 랙에 배치하는 과정에서는 부품 크기를 고려하여 양분화하는 동시에 각 그룹별로 세가지 부품 특성을 이용하여 5가지 종류의 부품들을 하나의 그룹으로 형성하고, 각 그룹별로 부품을 기판에 장착하는 새로운 접근법을 제안하였다. 주로 적용되는 부품 특성으로는 부품이 기판에 장착된 형태를 실제 현장자료를 이용하여 분석한 결과, 특정 부품들이 매우 집단화되어져 기판상에 분포되어 있으며, 이는 전체부품의 50%이상을 차지하고 있다는 사실에 근거하여, 부품종류별 부품개수정보와 함께 그룹형성 과정을 위한 기초정보로 이용하였다. 이는 부품개수가 많은 부품종류와 집중화되어져 분포되어 있는 부품들을 위주로 기판에 장착함과 동시에 마지막 단계에서 나타나는 많은 단위이동거리를 요구하는 부품의 발생을 방지하기 위하여 같은 그룹내에 부품의 수가 많지 않은 부품종류들도 함께 포함시킴으로써 이들이 총단위 이동거리에 미치는 영향을 최소화하도록 하였다. 이러한 집단화 현상을 고려한 해법은 실험결과에서 평균 10~20%의 해 개선효과를 입증하였으며, 기판의 크기가 크고 부품의 개수가 많아질수록 보다 더 유효함을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- Johri, P.K., (1991), "Engineering a Circuit Board Assembly Line for a Desired Capacity and Flowtime", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 6, pp. 492-500.
- Ham, H.S., Kim, Y.H, Chung, Y.K., (1994), "Job route selection Model for line balancing of Flexible PCB auto-insertion line", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 20, No. 4, pp. 5-21.
- Kung, H.K. and Changchit, C., (1991), "A Just-in-time Simulation Model of A PCB Assembly Line", *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 17-29.
- Moon, G.J. and Lim, S.H., (2001), "Development of a part rack assignment and placement sequencing method for efficient PCB assembly", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol. 24, No. 66, pp. 91-98.
- Johri, P.K., (1990), "A Heuristic Algorithm for Loading New Work on Circuit Pack Assembly Lines", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 10, pp. 1871-1883.
- Leipala, T. and Nevalainen, O., (1989), "Optimization of the movements of a component placement machine", *European Journal of Operational Research*, Vol. 38, pp. 167-177.
- Park, S.S. and Sohn, J.H., (1996), "Efficient Operation of a surface mounting machine with a multihead turret", *International Journal of Production Research*, Vol. 25, pp. 1131-1143.
- Yves Crama, Olaf E. Flippo, Joris van de Klundert, Frits C.R. Spieksma., (1997), "The assembly of printed circuit boards : A case with multiple machines and multiple board typedes ", *European Journal of Operational Research*, Vol. 98, pp. 457-472.
- Cornelis Klomp, Joris van de Klundert, Frits C.R. Spieksma, Siem Voogt., (2000), "The feeder rack assignment problem in PCB assembly: A Case study", *international Journal of Production Economics*, Vol. 64, pp. 399-407.
- Yves Crama, Joris van de Kundert, Frits C.R. Spieksma, (2002), "Production planning problems in printed circuit board assembly", *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 13, pp. 339-361.
- Kemal Altinkemer. and Burak Kazaz., (2000), "Optimization of printed circuit board manufacturing: Integrated modeling and algorithms", *European Journal of Operational Research*, Vol. 124, pp. 409-421.
- Reza H. Ahmadi and John W. Mamer, (1999), "Routing heuristics for automated pick and place machines", *European Journal of Operational Research*, Vol. 117, pp. 533-552..