

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.177>

JIIBC 2022-3-26

랜덤형 2차원 할당문제의 최소 거리-최대 물동량 점진적 증대 매칭 알고리즘

Algorithm for the Incremental Augmenting Matching of Min-Distance Max-Quantity in Random Type Quadratic Assignment Problem

이상운*

Sang-Un, Lee*

요약 2차원 할당 문제는 다항시간 알고리즘이 알려지지 않은 NP-완전 문제이다. 본 논문은 위치간 거리가 일정하지 않은 랜덤형 2차원 할당 문제의 최적 해를 $O(n^2)$ 수행 복잡도로 찾을 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 위치 행렬 L 에서의 최소 거리 합 위치 l_i 와 시설 행렬 F 에서의 최대 물동량 시설 f_j 를 $M = \{(l_i, f_j)\}$ 으로 매치키시고, M 을 기준으로 최소 거리 합 l_i 와 시설 행렬 F 에서의 최대 물동량 시설 f_j 의 매칭 쌍 (l_i, f_j) 을 점진적으로 증대시키는 전략을 수행하고, 위치별 거리와 시설별 물동량 상관관계를 최적으로 반영하기 위해 시설들을 교환하는 전략을 적용하였다. 실험 데이터에 적용한 결과, 제안 알고리즘은 $O(n^2)$ 의 다항시간 알고리즘임에도 불구하고 메타휴리스틱 방법의 일종인 유전자 알고리즘의 해를 개선할 수 있었다.

Abstract There is no known polynomial time algorithm for QAP that is a NP-complete problem. This paper suggests $O(n^2)$ polynomial time algorithm for random type quadratic assignment problem (QAP). The proposed algorithm suggests incremental augmenting matching strategy that is to set the matching set $M = \{(l_i, f_j)\}$ from l_i with minimum sum of distance in location matrix L and f_j with maximum sum of quantity in facility matrix F , and incremental augmenting of matching set M from M to l_i with minimum sum of distance and to f_j with maximum sum of quantity. Finally, this algorithm performs swap strategy that is to reflect the complex correlations of distances in locations and quantities in facilities. For the experimental data, this algorithm, in spite of $O(n^2)$ polynomial time algorithm, can be improve the solution than genetic algorithm a kind of metaheuristic method.

Key Words : QAP, Random type, Maximum quantity, Minimum distance, Matching

*정회원, 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과
접수일자 2022년 2월 5일, 수정완료 2022년 5월 10일
게재확정일자 2022년 6월 10일

Received: 5 February, 2022 / Revised: 10 May, 2022 /
Accepted: 10 June, 2022

*Corresponding Author: sulee@gwnu.ac.kr

Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National
University, Korea

1. 서 론

2차원 할당문제(quadratic assignment problem, QAP)는 위치 $l_i, (i=1,2,\dots,n)$ 와 시설 $f_j, (j=1,2,\dots,n)$ 의 2차원 정보가 존재하며, 위치 상호간 거리인 $n \times n$ 거리 행렬 L 과 시설 상호간 물동량인 $n \times n$ 물동량 행렬 F 에 대해 이동 비용을 최소화하도록 f_j 를 l_i 에 1:1로 배정하는 문제이다.^[1]

QAP는 1957년에 Koopmans와 Beckman이 건물 배정 문제(facility location problem)를 모형화하기 위해 처음 제기한 이래, 정확한 해를 얻는 분기한정법(Branch-and-bound)이 연구되고 있다.^[2] 그러나 주어진 문제의 복잡성으로 인해 대부분은 근사 해를 얻는 메타 휴리스틱 방법의 일종인 유전자 알고리즘(genetic algorithm, GA)을 적용하고 있는 실정이다.^[1-14] 반면에 Lee^[15]는 최대 흐름량을 최소 거리에 배정하는 다항시간의 최대흐름-최소거리 알고리즘(max-flow/min-distance assignment algorithm, MDMDAA)을 연구하였다.

1차원 할당 문제는 작업 j_i 행과 기계 m_j 열의 양측-최적화만을 수행하는데 반해, QAP는 2개의 위치별 거리행렬과 시설별 물동량 행렬에 대해 4측-최적화를 수행해야 하는 극도로 어려운 문제로 현재까지 다항시간으로 풀 수 있는 알고리즘이 알려져 있지 않아 NP-완전(NP-complete) 문제로 분류되고 있다.^[1]

QAP의 대표적인 사례로 병원 시설 배정문제(hospital layout problem)와 전자회로 배선문제(steinberg wiring problem)가 있다.^[1,4,5] 병원 시설 배정문제는 진료실간 거리가 일정하지 않은 랜덤형(random type)인 경우이고, 전자회로 배선문제는 위치간 거리가 일정한 그물형(mesh type)이다.

본 논문은 랜덤형 QAP(RQAP)에 대해 MDMDAA에 기반하여 보다 성능이 향상된 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 QAP의 형태를 고찰한다. 3장에서는 RQAP의 해를 $O(n^2)$ 의 다항시간으로 찾을 수 있는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 RQAP 사례들에 적용하여 해를 찾는지 평가하고, Lee^[15]의 MDMDAA와 성능을 비교해 본다.

II. 관련연구와 문제점

QAP는 시설 $i, j=1,2,\dots,m$, 위치 $k, l=1,2,\dots,n$ 에 대해 i 시설이 k 위치에 위치할 때 $u_{ik}=1$, i 에서 j 로의 물

동량을 b_{ij} , 위치간의 거리를 a_{kl} 라 할 때, 식 (1)을 만족하도록 시설을 위치에 배정하는 문제이다.

$$z = \min_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n b_{ij} a_{kl} u_{ik} u_{jl} \quad (1)$$

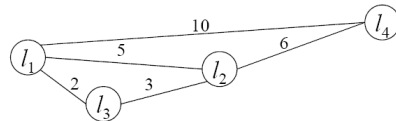
$$s.t. \sum_{k=1}^n u_{ik} = 1 \text{ for } i=1,2,\dots,m$$

$$\sum_{i=1}^m u_{ik} = 1 \text{ for } k=1,2,\dots,n$$

QAP의 최적 해를 찾는 다항시간 알고리즘이 알려져 있지는 않다. 다만, 휴리스틱 방법으로 최적 해라고 알려진 다양한 사례들이 QAPLIB^[6]로 제시되어 있다.

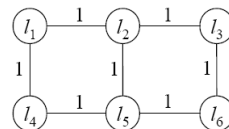
QAP의 위치별 거리는 블록간 거리가 1로 일정한 맨허튼 거리(manhattan distance)인 그물형과 일정하지 않은 유클리드 거리(euclidean distance)의 랜덤형이 있다. 그림 1은 그물형과 랜덤형의 사례를 보여주고 있다.

Location					Facility				
d	l_1	l_2	l_3	l_4	f	f_1	f_2	f_3	f_4
l_1		5	10	2	f_1		21	11	44
l_2	5		6	3	f_2	21		12	30
l_3	10	6		4	f_3	11	12		9
l_4	2	3	4		f_4	44	30	9	



(a) Random type

Location							Facility						
d	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	f	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
l_1		1	2	1	2	3	f_1		5	2	4	1	0
l_2	1		1	2	1	2	f_2	5		3	0	2	2
l_3	2	1		3	2	1	f_3	2	3		0	0	0
l_4	1	2	3		1	2	f_4	4	0	0		5	2
l_5	2	1	2	1		1	f_5	1	2	0	5		10
l_6	3	2	1	2	1		f_6	0	2	0	2	10	



(b) Mesh type

그림 1. QAP의 위치간 거리 형태

Fig. 1. Distance type of locations for QAP

Tsutsui와 Fujimoto^[7]는 그림 1의 (a) FL-QAP(1)에 대해 유전자 알고리즘(genetic algorithm, GA)을 적용하여 그림 2와 같이 $(l_1, f_2), (l_2, f_1), (l_3, f_4), (l_4, f_3)$ 으로,

위치 순서대로 2-1-4-3의 시설을 할당하였으며, $z=1,524$ 를 제시하였다. 그러나 이 결과가 최적 해가 아닐 수도 있음을 3장에서 보인다.

QAP는 별개인 위치간 거리와 시설간 물동량의 2개 행렬에 대해 위치와 시설을 1:1로 최적화되도록 매치시켜야 하는 어려운 문제로 다항시간 알고리즘이 알려지지 않고 있다.^[1]

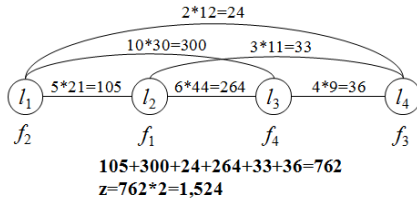


그림 2. FL-QAP(1)의 해
 Fig. 2. Solution of FL-QAP(1)

따라서 대부분은 메타휴리스틱 방법의 일종인 유전자 알고리즘을 적용하고 있는 실정이다. 반면에 Lee^[15]는 최대 흐름량을 최소 거리에 배정하는 최대흐름-최소거리 알고리즘(MDMDAA)을 연구하였다.

3장에서는 NP-완전 문제인 RQAP를 $O(n^2)$ 의 다항시간으로 풀 수 있는 알고리즘을 제안한다.

III. 점진적 증대 매칭 알고리즘

주어진 위치 행렬 L 의 거리 정보와 시설 행렬 F 의 물동량 정보로는 어느 시설을 어느 위치에 배정되는 것이 최적인지에 대한 사전정보가 전무한 상태이다. 이와 같이, 사전 정보가 전혀 없는 상황에서 QAP는 수송비용(=거리×물동량)이 최소가 되도록 n 개 시설을 n 개 위치에 1:1로 최적으로 배정해야만 한다.

본 장에서는 위치간 거리가 일정하지 않은 RQAP에 대해 최적 해를 찾을 수 있는 $O(n^2)$ 수행 복잡도의 다항시간 알고리즘을 제안한다.

단지, 우리는 사전 정보로 위치 행렬 L 의 각 위치별 거리 합과 시설 행렬 F 의 각 시설별 물동량 합은 알 수 있다. 따라서 이 정보에 근거하여 최소 거리 합(중앙)의 위치에 최대 물동량을 가진 시설을 배치하는 것이 최선책이다. 이의 역인 최대 거리 합(변두리) 위치에 최소 물동량 시설을 배치도 타당하다. 본 논문에서는 최소 거리 위치-최대 물동량 시설 배치 전략을 수행한다.

제안된 알고리즘은 최소 거리 위치-최대 물동량 시설 배치 전략을 수행하기 위해, 위치 집합 L , 시설 집합 F 와 매칭 집합 M 의 3개 집합을 이용한다. 첫 번째로, $M = \{\phi\}$ 인 경우 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ 과 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 의 각각에 대해, L 집합 내의 $\min_{j=1}^n d_{ij}$ 인 l_i 와 F 집합 내의 $\max_{j=1}^n q_{ij}$ 인 f_j 의 쌍 (l_i, f_j) 를 M 에 추가하고, 해당 집합에서 l_i, f_j 를 삭제한다. 다음부터는 $M \neq \{\phi\}$ 으로 M 집합을 기준으로 최소 거리 위치와 최대 물동량 시설을 끌어들이는 전략을 수행한다. 즉, $l_m \in M$ 과 가장 인접한 $l_i \in L$ 과 $f_m \in M$ 과 최대의 물동량을 갖는 $f_j \in F$ 의 쌍 (l_i, f_j) 를 한 번에 하나씩 M 에 추가하는 방식으로 $k-1$ 회 수행하여 M 을 점진적으로 증대시킨다. 이와 같이 얻은 n 쌍의 초기 해는 시설들 간과 위치들 간의 복잡한 상관관계를 1:1로 정확히 반영하지 못해 일반적으로는 최적 해를 얻지 못한다. 이러한 문제점을 해결하고자, 본 논문에서는 $k-opt$ ($k=1, 2, \dots$) 사이클의 시설 위치를 교환하는 최적화 전략을 수행한다. 이 과정은 $O(n^2)$ 의 수행 복잡도로 수행된다.

제안된 알고리즘을 점진적 증대 매칭 알고리즘 (Incremental augmenting matching algorithm (IAMA)이라 하며, 그림 3과 같이 수행된다.

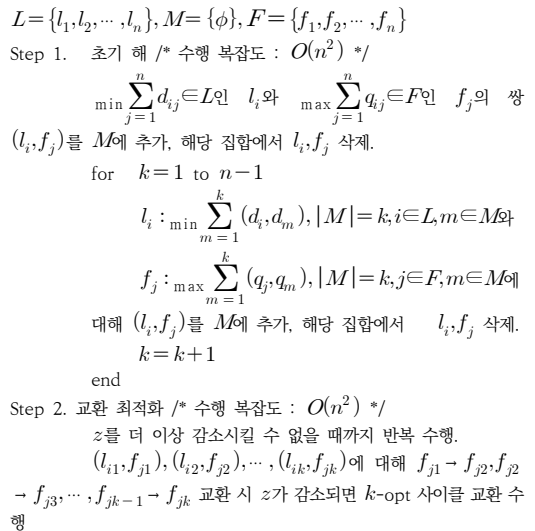


그림 3. 점진적 증대 매칭 알고리즘
 Fig. 3. Incremental augmenting matching algorithm

그림 2의 FL-QAP(1)에 대해 IAMA를 적용하면 그림 4와 같이 $M = \{\phi\}$ 에서 $|M|$ 이 1, 2, ..., k 로 점진적으로 증대되는 형태를 나타내고 있다. 최적 해는 $(l_1, f_1), (l_2, f_2), (l_3, f_3), (l_4, f_4)$ 로 $z = 1,002$ 가 된다. 이는 Step 1의 초기 해로, Step 2의 최적화가 수행되지 않았음을 알 수 있다. 결국, FL-QAP(1)은 GA로는 최적 해를 얻지 못하였는데 반해 IAMA는 단지 Step 1의 초기 해로 최적 해를 얻었음을 알 수 있다.

L	l_1	l_2	l_3	l_4	Sum	F	f_1	f_2	f_3	f_4	Sum
l_1		5	10	2	17	f_1		21	11	44	76
l_2	5		6	3	14	f_2	21		12	30	63
l_3	10	6		4	20	f_3	11	12		9	32
l_4	2	3	4		9	f_4	44	30	9		83

순서	L	F	최소 거리	최대 물동량	M
1	$\{l_1, l_2, l_3, l_4\}$	$\{f_1, f_2, f_3, f_4\}$	$l_1(9)$	$f_4(83)$	(l_4, f_4)
2	$\{l_1, l_2, l_3\}$	$\{f_1, f_2, f_3\}$	$l_1(2)$	$f_1(44)$	$(l_4, f_4), (l_1, f_1)$
3	$\{l_2, l_3\}$	$\{f_2, f_3\}$	$l_2(8)$	$f_2(51)$	$(l_4, f_4), (l_1, f_1), (l_2, f_2)$
4	$\{l_3\}$	$\{f_3\}$	l_3	f_3	$(l_4, f_4), (l_1, f_1), (l_2, f_2), (l_3, f_3)$

Initial solution: $\{(l_1, f_1), (l_2, f_2), (l_3, f_3), (l_4, f_4)\} = 1-2-3-4$
Optimization : None

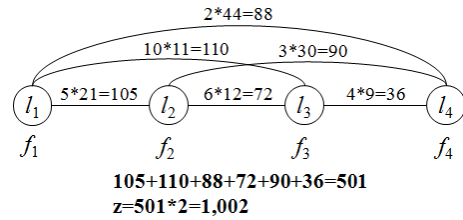
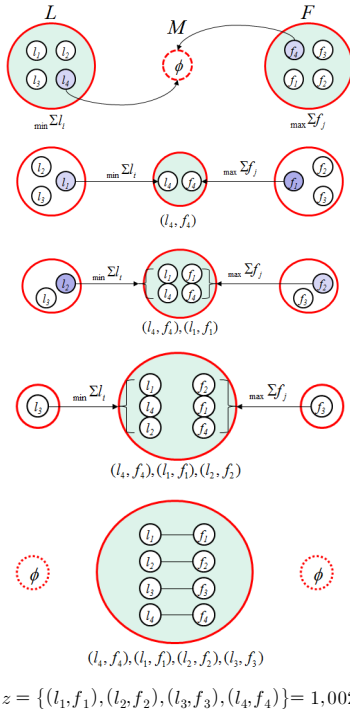


그림 4. IAMA의 FL-QAP(1) 최적 해
Fig. 4. The optimal solution of FL-QAP(1) using IAMA

그림 5의 $n=4$ FL-QAP(2)는 Jensen과 Bard^[8]에서 인용되었다. Jensen과 Bard^[8]는 엑셀을 이용해 $(l_1, f_1), (l_2, f_4), (l_3, f_3), (l_4, f_2)$ 의 $z = 6,520$ 을 얻었다. FL-QAP(2)에 대해, IAMA를 적용하면 그림 6과 같이 초기 해로 2-4-3-1=6,540을 얻었으며, 2-1의 2-opt 사이클 교환을 수행하여 $z = 1-4-3-2 = 6,520$ 을 얻었다. 결국, IAMA는 Jensen과 Bard^[8]의 $z = 6,520$ 과 동일한 해를 얻었음을 알 수 있다.

L	l_1	l_2	l_3	l_4	Sum	F	f_1	f_2	f_3	f_4	Sum
l_1		80	150	170	400	f_1		5	2	7	14
l_2	80		130	100	310	f_2	5		3	8	16
l_3	150	130		120	400	f_3	2	3		3	8
l_4	170	100	120		390	f_4	7	8	3		18

그림 5. $n=4$ FL-QAP(2)
Fig. 5. $n=4$ FL-QAP(2)

순서	L	F	최소 거리	최대 물동량	M
1	$\{l_1, l_2, l_3, l_4\}$	$\{f_1, f_2, f_3, f_4\}$	$l_2(310)$	$f_4(18)$	(l_2, f_4)
2	$\{l_1, l_2, l_3\}$	$\{f_1, f_2, f_3\}$	$l_1(80)$	$f_2(8)$	$(l_2, f_4), (l_1, f_2)$
3	$\{l_3, l_4\}$	$\{f_1, f_3\}$	$l_4(270)$	$f_1(12)$	$(l_2, f_4), (l_1, f_2), (l_4, f_1)$
4	$\{l_3\}$	$\{f_3\}$	l_3	f_3	$(l_2, f_4), (l_1, f_2), (l_4, f_1), (l_3, f_3)$

Initial solution: $\{(l_1, f_2), (l_2, f_4), (l_3, f_3), (l_4, f_1)\} = 2-4-3-3$
Optimization : 2-4-2-1 = 6,540
2-1 : 1-4-3-2 = 6,520

$$z = \{(l_1, f_1), (l_2, f_4), (l_3, f_3), (l_4, f_2)\} = 6,520$$

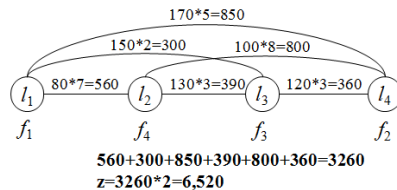


그림 6. IAMA의 FL-QAP(2) 최적 해
Fig. 6. The optimal solution of FL-QAP(2) using IAMA

IV. 적용 및 결과 분석

본 장에서는 Lee^[15]에서 거론된 $n=9$ FL-QAP(3) 시설 배정 문제와 $n=19$ FL-QAP(4) 병원 배정 문제에 대해 제안된 IAMA의 적용성을 평가해 본다.

$n=9$ 시설 배정 문제인 FL-QAP(3)은 물동량 행렬이 희소행렬인 특징과 더불어 거리 행렬이 일부 랜덤형인 특정형태이다. 여기서 거리 행렬 값은 비용을 의미한다.

FL-QAP(3)에 대해 유전자 알고리즘을 적용한 기존의 연구 결과는 Lee^[15]의 표 2를 참고하면 된다.

Chan과 Tansri^[9], Mak et al.^[10]과 El-Baz^[11]는 8가지, Jannat et al.^[13]은 6가지를, Misora와 Navarro^[14]는 8가지 최적 시설 배치 결과를 제시하였다. 그러나 최적해로 알려진 $z=4,818$ 을 얻은 경우가 전혀 없었다.

FL-QAP(4)의 병원 배정 문제 해는 9-10-7-18-14-19-13-17-6-11-4-5-12-8-15-16-1-2-3의 $z=$

$$\begin{aligned} \text{Initial solution: } M &= \{(l_7, f_7), (l_3, f_4), (l_6, f_1), (l_4, f_8), (l_1, f_5), (l_5, f_2), (l_9, f_9), (l_8, f_3), (l_2, f_6)\} \\ &= \{(l_1, f_5), (l_2, f_6), (l_3, f_4), (l_4, f_8), (l_5, f_2), (l_6, f_1), (l_7, f_7), (l_8, f_3), (l_9, f_9)\} \\ &5-6-4-8-2-1-7-3-9 = 8,968 \end{aligned}$$

Optimization :

순서	$k-opt$	z
0	초기 해	5-6-4-8-2-1-7-3-9 = 8,968
1	1↔9	5-6-4-8-2-9-7-3-1 = 8,718
2	2↔3	5-6-4-8-3-9-7-2-1 = 8,372
3	5↔4	4-6-5-8-3-9-7-2-1 = 6,588
4	6↔3, 3↔8, 8↔6	4-8-5-3-6-9-7-2-1 = 4,774

$$\text{Optimal solution: } z = \{(l_1, f_4), (l_2, f_8), (l_3, f_5), (l_4, f_3), (l_5, f_6), (l_6, f_9), (l_7, f_7), (l_8, f_2), (l_9, f_1)\} = 4, 774$$

(a) Optimal solution of FL-QAP(3)

$$\begin{aligned} \text{Initial solution: } M &= \{(l_{11}, f_2), (l_{19}, f_1), (l_{18}, f_3), (l_{17}, f_{17}), (l_8, f_{13}), (l_{12}, f_{10}), (l_7, f_5), (l_9, f_4), (l_{14}, f_8), (l_2, f_6)\} \\ &\quad \{(l_4, f_7), (l_3, f_9), (l_1, f_{12}), (l_{13}, f_{11}), (l_5, f_{18}), (l_{10}, f_{14}), (l_6, f_{19}), (l_{15}, f_{16}), (l_{16}, f_{15})\} \\ &= \{(l_1, f_{12}), (l_2, f_6), (l_3, f_9), (l_4, f_7), (l_5, f_{18}), (l_6, f_{19}), (l_7, f_5), (l_8, f_{13}), (l_9, f_4), (l_{10}, f_{14})\} \\ &\quad \{(l_{11}, f_2), (l_{12}, f_{10}), (l_{13}, f_{11}), (l_{14}, f_8), (l_{15}, f_{16}), (l_{16}, f_{15}), (l_{17}, f_{17}), (l_{18}, f_3), (l_{19}, f_1)\} \\ &12-6-9-7-18-19-5-13-4-14-2-10-11-8-16-15-17-3-1 = 21,965,006 \end{aligned}$$

Optimization :

순서	$k-opt$	z
0	초기 해	12-6-9-7-18-19-5-13-4-14-2-10-11-8-16-15-17-3-1 = 21,965,006
1	2↔ 1	12-6-9-7-18-19-5-13-4-14-1-10-11-8-16-15-17-3-2 = 20,445,682
2	5↔ 10	12-6-9-7-18-19-10-13-4-14-1-5-11-8-16-15-17-3-2 = 20,414,566
3	12↔ 11	11-6-9-7-18-19-10-13-4-14-1-5-12-8-16-15-17-3-2 = 19,887,956
4	11↔ 18, 18↔ 7, 7↔ 9, 9↔ 11	9-6-7-18-11-19-10-13-4-14-1-5-12-8-16-15-17-3-2 = 19,644,632
5	1↔ 2, 2↔ 3, 3↔ 17, 17↔ 1	9-6-7-18-11-19-10-13-4-14-17-5-12-8-16-15-3-2-1 = 18,382,394
6	3↔ 1	9-6-7-18-11-19-10-13-4-14-17-5-12-8-16-15-1-2-3 = 17,781,572
7	6↔ 10	9-10-7-18-11-19-6-13-4-14-17-5-12-8-16-15-1-2-3 = 17,669,494
8	11↔ 14	9-10-7-18-14-19-6-13-4-11-17-5-12-8-16-15-1-2-3 = 17,646,922
9	6↔ 4, 4↔ 17, 17↔ 13, 13↔ 6	9-10-7-18-14-19-13-17-6-11-4-5-12-8-16-15-1-2-3 = 17,212,548

$$\text{Optimal solution : } z = \{(l_1, f_9), (l_2, f_{10}), (l_3, f_7), (l_4, f_{18}), (l_5, f_{14}), (l_6, f_{19}), (l_7, f_{13}), (l_8, f_{17}), (l_9, f_6), (l_{10}, f_{11})\} = 17,212,548$$

(b) Optimal solution of FL-QAP(4)

그림. 7. 실험 데이터에 대한 IAA
 Fig. 7. IAA for experimental data

17,212,548로 알려져 있다.

FL-QAP(3)과 FL-QAP(4)에 IAMA를 적용한 결과는 그림 7에 제시되어 있다. FL-QAP(3)은 2-opt 3회와 3-opt 1회 수행으로 4-8-5-3-6-9-7-2-1의 시설을 배정하여 $z = 4,774$ 를 얻었다. 이 결과는 유전자 알고리즘으로 얻은 해 $z = 4,818$ 을 개선하였음을 알 수 있다.

FL-QAP(4)는 2-opt 6회와 4-opt 3회 수행으로 9-10-7-18-14-19-13-17-6-11-4-5-12-8-15-16-1-2-3의 시설 배정으로 $z = 17,212,548$ 를 얻었으며, 기존에 알려진 최적 해와 동일한 결과를 얻었다.

본 논문에서 거론된 4개 데이터에 대해 기존에 알려진 최적해와 IAMA를 비교한 결과는 표 1에 제시되어 있다. 제안된 IAMA는 점진적 증대 전략으로 얻은 M 집합에 대해 단지 k -opt, ($k = 2, 3, 4$) 사이클 교환을 수행하는 $O(n^2)$ 수행 복잡도임에도 불구하고, 4개의 실험 데이터 모두에서 메타휴리스틱 방법의 일종인 유전자 알고리즘에 비해 최적 해를 찾았음을 알 수 있다.

표 1. 알고리즘 성능 비교
Table 1. Compare of algorithm performance

문제	n	알려진 최적 해	MFMDAA	IAMA	
				z	최적화
FL-QAP(1)	4	1,524	1,004	1,002	-
FL-QAP(2)	4	6,520	6,520	6,520	2-opt (1회)
FL-QAP(3)	9	4,818	4,774	4,774	2-opt (3회) 3-opt (1회)
FL-QAP(4)	19	17,212,548	17,212,548	17,212,548	2-opt (6회) 4-opt (3회)

V. 결 론

본 논문은 지금까지 다항시간으로 해를 구하는 알고리즘이 알려져 있지 않은 RQAP에 대해 $O(n^2)$ 의 다항시간 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 최소 거리 위치에 최대 물동량 시설을 점진적으로 증대시키면서 매치시키는 전략으로 초기 해를 구하였다. 다음으로, 위치와 시설 간 복잡한 상관관계를 최적으로 반영하기 위해 시설 교환 최적화 전략을 수행하였다.

제안된 알고리즘은 수행 복잡도가 $O(n^2)$ 인 다항시간 알고리즘임에도 불구하고, FL-QAP(1)과 FL-QAP(3)에 대해서는 메타휴리스틱 방법의 일종인 유전자 알고리즘의 해를 개선하는 효과를 얻었다.

결국, 본 논문은 NP-완전 문제인 RQAP에 대해 다항 시간 알고리즘이 존재함을 보였다.

References

- [1] E. M. Loiola, N. M. M. Abreu, P. O. Boaventura-Netto, P. Hahn, and T. Querido, "A Survey for the Quadratic Assignment Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, No. 2, pp. 657-690, Jan. 2007, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.09.032>
- [2] P. Ji, Y. Wu, and H. Liu, "A Solution Method for the Quadratic Assignment Problem(QAP)," *The 6th International Symposium on Operations Research and Its Applications(ISORA)*, pp. 106-117, 2006.
- [3] M. Solimanpur and A. Jafari, "Optimal Solution for the Two-dimensional Facility Layout Problem using a Branch-and-bound Algorithm," *Journal of Computers and Industrial Engineering*, Vol. 55, No. 3, pp. 606-619, Oct. 2008, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.01.018>
- [4] L. Steinberg, "The Backboard Wiring Problem: A Placement Algorithm," *SIAM Review*, Vol. 3, No. 1, pp. 37-50, Jan. 1961, <https://doi.org/10.1137/1003003>
- [5] A. N. Elshafei, "Hospital Layout as a Quadratic Assignment Problem," *Operations Research Quarterly*, Vol. 28, No. 1, pp. 167-179, Mar. 1977, <https://doi.org/10.1057/jors.1977.29>
- [6] R. E. Burkard, S. E. Karisch, and F. Rendl, "QAPLIB-A Quadratic Assignment Problem Library," *European Journal of Operational Research*, Vol. 55, No. 1, pp. 115-119, Nov. 1991, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90197-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90197-4)
- [7] S. Tsutsui and N. Fujimoto, "Solving Quadratic Assignment Problems by Genetic Algorithms with GPU Computation: a Case Study," *Proceedings of the 11th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 2523-2530, Jul. 2009, <https://doi.org/10.1145/1570256.1570355>
- [8] P. A. Jensen and J. F. Bard, "Operations Research Models and Methods, Section 7.4 Facility Location Problem," John Wiley and Sons, 2003.
- [9] K. C. Chan and H. Tansri, "A Study of Genetic Crossover Operations on the Facilities Layout Problem," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 537-550, Jul. 1994, [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(94\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0360-8352(94)90049-3)
- [10] K. L. Mak, Y. S. Wong, and F. T. S. Chan, "A Genetic Algorithm for Facility Layout Problems," *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 1-2, pp. 113-127, Sep. 1998, [https://doi.org/10.1016/S0951-5240\(98\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0951-5240(98)00018-4)

- [11] M. A. El-Baz, "A Genetic Algorithm for Facility Layout Problems of Different Manufacturing Environments," Computers & Industrial Engineering, Vol. 47, No. 2-3, pp. 233-246, Nov. 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2004.07.001>
- [12] I. Mihajlovic, Z. Zivkovic, N. Strbac, D. Zivkovic, and A. Jovanovic, "Using Genetic Algorithms to Resolve Facility Layout Problem," Serbian Journal of Management, Vol. 2, No. 1, pp. 35-46, Jan. 2007.
- [13] S. Jannat, A. A. Khaled, and S. K. Paul, "Optimal Solution for Multi-Objective Facility Layout Problem Using Genetic Algorithm," Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dhaka, Bangladesh, pp. 1-10, Jan. 2010.
- [14] M. G. Misola and B. B. Navarro, "Optimal Facility Layout Problem Solution Using Genetic Algorithm," World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 7, No. 8, pp. 545-550, Aug. 2013,
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1086693>
- [15] S. U. Lee, "The Random Type Quadratic Assignment Problem Algorithm," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 21 No. 4, pp. 81-88, Apr. 2016,
<https://doi.org/10.9708/jksci.2016.21.4.081>

저 자 소 개

이 상 윤(정회원)



- 1987년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)
- 1997년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
- 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
- 2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
- 2004년 ~ 2007년 2월 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
- 2007년 3월 ~ 2015년 3월 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수
- 2015년 4월 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 정교수
- 관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 개발 방법론, 분석과 설계 방법론, 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 인공지능과 빅데이터분석, 최적화 알고리즘
- e-mail : sulee@gwnu.ac.kr