

논문 2010-47CI-6-8

# ACS알고리즘을 이용한 안정된 결혼 문제 해결에 관한 연구

(Solution of SMP Problem by Adapting ACS Algorithm)

김 현\*, 정 태 충\*

(Hyun Kim and TaeChoong Chung)

## 요 약

본 논문에서는 개미의 습성을 연구하여 만들어진 ACS 알고리즘(Ant colony System)<sup>[1]</sup>을 안정된 결혼문제(SMP: Stable Marriage Problem)<sup>[3]</sup>에 적용한 새로운 해결방법을 제시 한다. Gale-Shapley 알고리즘<sup>[2]</sup>은 안정된 결혼문제(SMP)의 뿌리가 되는 알고리즘으로 오래전부터 실세계에서 연구 및 활용되었다. 본 논문에서 실험의 주제는 같은 수의 남성과 여성을 어떻게 짝을 지어주어야 그들의 선호도를 최대한 반영하여 전체적으로 만족도가 최대가 될 수 있는지를 찾는 것이다. Gale-Shapley 알고리즘은 양성(양성)이 아닌 한쪽 성을 중심으로 만족도를 최대화하는 매칭(Matching)을 찾아낼 수 있다.

본 논문에서는 ACS를 적용하여 SMP의 해결을 위한 새로운 해법을 찾아보고자 한다. 이 방법은 남성최적 및 여성최적 뿐만 아니라 양성 최적 및 성균형 최적 매칭을 찾아내는 방법이다. 실험 결과 제안된 방법이 다른 최신의 방법과 비슷한 좋은 결과를 낼 수 있었다.

## Abstract

This paper suggest a new ACS algorithm to solve SMP which was solved by Gale-Shapley algorithm. The stable marriage problem is an extensively-studied combinatorial problem with many practical applications. The classical Gale-Shapley<sup>[2]</sup> algorithm produces a marriage that greatly favors the men at the expense of the women, or vice versa.

In this paper we apply ACS algorithm to SMP to find 4 kinds of solutions such as stable matching with man-optimal, woman-optimal, egalitarian stable matching, sex-fair stable matching. So this ACS is a novel method to solve Stable Marriage Problem. Our simulation results show the effectiveness of the proposed ACS.

**Keywords :** Stable Marriage problem, agent, ant colony system, TSP

## I. 서 론

개인화(Personalization)기술은 현대사회에 존재하는 수많은 정보속에서 개인에 맞는 맞춤형 정보를 찾아주는 시스템으로 유비쿼터스 시대에 반드시 필요한 영역이 되었고 이는 우리가 살아가는 생활영역에서 적용되는 새로운 기술로 각광 받고 있다.

본 논문에서는 개인화(Personalization)기술에 응용 적용할 수 있는 Gale-Shapley<sup>[2]</sup>알고리즘을 연구하였다. 이것은 안정된 결혼 문제(SMP)<sup>[3]</sup>라는 주제로 n명의 남자와 n명의 여자들이며 각각은 서로가 원하는 이상형의 우선순위를 정하고 원하는 이성과의 만남을 완벽하게 성사시키기 위한 방법들을 찾기 위해 연구되어 왔다.

SMP는 그림 1처럼 상대 후보들에 대한 우선순위 리스트(PL: preference list)를 만들 수 있고, 작성된 PL안의 우선순위를 바탕으로 상대방의 PL과 비교를 통해 안정적인(stable) 매칭을 이루게 된다. 여기서 안정적인 매칭이란, 어떤 쌍 (m, w)가 있을 때 m은 w보다 더 선호하는 여성들로부터 거절당했다는 뜻이고, w는 m보다 더 선호도가 높은 남자들로부터 프로포즈 받

\* 정회원, 경희대학교 컴퓨터공학과  
(Artificial Intelligence Lab, Dept. of Computer Engineering, School of Electronics and Information, Kyunghee University0

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (과제번호: 2010-0012609)

접수일자: 2010년8월4일, 수정완료일: 2010년10월25일

지 못하는 상태임을 뜻한다. 모든 사람이 그렇게 짝을 찾았을 때 그 짝들의 집합을 안정된 매칭이라고 한다. Gale-Shapley 알고리즘은 한쪽 성별을 기준으로 선택하는 성과 선택받는 성별이 구분된다. 안정된 매칭은 일반적으로 여러 가지가 나온다. 예를 들어 그림 2는 그림 1과 같은 우선순위에서 만들 수 있는 안정적인 매칭이 15개가 나온다는 뜻이다. Gale-Shapley 알고리즘은 선택하는 성의 우선순위를 최대한 맞추어주는 안정적인 매칭 한 가지만을 찾아준다.

따라서 전통적인 남성위주의 안정적인 매칭이나, 혹은 여성상위시대의 여성위주 안정적인 매칭을 찾아줄 수 있을 뿐이다.

본 연구의 목적은 앞서 제시한 것처럼 남녀의 성 역할이 동등한 현대 사회를 고려하여 SMP의 새로운 해법을 제시하고자 한다. 즉, 남녀평등(egalitarian) 상황에서 최적의 안정된 매칭을 찾는 목표와, 남자의 만족도와 여자의 만족도의 차이를 최소화(sex-fair)를 지향하는 매칭을 찾는 목표이다.

본 논문에서는 해법을 찾기 위해 SMP에 ACS 알고리즘을 적용하였다.<sup>[5~8]</sup> ACS는 생물학에서 연구되어진 개미집단의 습성을 기초로 하고 있으며, TSP (Traveling Salesman Problem)의 해결 등 많은 연구가 되고 있다.<sup>[8, 11]</sup> 개미들은 페르몬 분비라는 표식을 통해 먹이로부터 둥지까지의 길을 찾는다. 개미는 자신의 역할을 분담하며 먹이를 찾는 임무를 맡은 개미는 둥지를 벗어나 먹이를 찾아 탐험하는 동안 자신이 이동한 경로에 페르몬을 분비하고, 이 후 다른 개미들은 분비된 페르몬을 따라 먹이까지 이동 후에 둥지로 옮겨오는 역할을 한다. 이때 페르몬은 시간이 지날수록 산도(Acidity)

가 약해지는 성격이 있다. 때문에 많은 개미들, 혹은 초기에 이동한 개미가 먹이를 찾은 후 둥지로 돌아올 때 새롭게 페르몬을 분비하며, 분비된 새로운 페르몬은 기존의 페르몬에 추가되어 산도가 높아져, 산도가 약한 다른 경로를 무시하고 높은 산도의 경로가 이동경로로 정해지게 되는 것이다.<sup>[9~12]</sup>

본 논문에서는 ACS의 페르몬 활용을 SMP에 적용하였고, 이것은  $M_i$ 가 자신이 좋아하는  $W_j$ 를 선택하는 것을 개미가 먹이를 찾아 목적지까지 탐험하는 것에 착안하여 적용하였다.

논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 논문과 관련된 연구들에 대한 설명을 하며, III장에서는 ACS를 SMP에 적용하여 기존 문제들의 해결을 위한 새로운 알고리즘을 제시하고 있다. IV장에서는 알고리즘을 이용한 실험결과와 V장에서는 본 논문에서 제시한 새로운 해법을 적용할 수 있는 연구 분야를 제안하며 VI장에서 본문의 결론을 이야기 하고자 한다.

## II. 본 론

### 2. 관련 연구

#### 2.1 SMP

본 논문에서 연구되고 있는 SMP는 이 세상에 같은 수의 남자와 여자가 서로가 좋아하는 우선순위리스트 PL을 만들고 이것을 바탕으로 매칭을 하여 안정된 짝을 찾는 것을 목표로 하고 있다. 그림 1의 우선순위 자료를 바탕으로 안정된 매칭은 그림 2에서처럼 15가지 결과가 나온다.

$m_1$	5	3	1	4	2	6	8	7	$w_1$	4	7	3	8	1	5	2	6
$m_2$	8	2	4	5	3	7	1	6	$w_2$	5	3	4	2	1	8	6	7
$m_3$	5	8	1	4	2	3	6	7	$w_3$	6	8	2	4	3	7	5	1
$m_4$	8	4	3	2	5	6	1	7	$w_4$	5	6	8	3	4	7	1	2
$m_5$	6	5	4	8	1	7	2	3	$w_5$	1	3	5	2	8	6	4	7
$m_6$	7	4	2	5	6	8	1	3	$w_6$	8	6	2	5	1	7	4	3
$m_7$	8	5	6	3	7	2	1	4	$w_7$	2	5	8	3	6	4	7	1
$m_8$	4	7	1	3	5	8	2	6	$w_8$	7	5	4	1	6	2	8	3

그림 1. PL ( $M_i, W_j$ 의 우선 순위 목록)

Fig. 1. PL(preferance list of  $M_i, W_j$ ).

$M_0 = \{(1,5),(2,2),(3,1),(4,3),(5,6),(6,7),(7,8),(8,4)\}$ $M_1 = \{(1,5),(2,3),(3,1),(4,2),(5,6),(6,7),(7,8),(8,4)\}$ $M_2 = \{(1,5),(2,2),(3,1),(4,3),(5,6),(6,4),(7,8),(8,7)\}$ $M_3 = \{(1,5),(2,3),(3,2),(4,1),(5,6),(6,7),(7,8),(8,4)\}$ $M_4 = \{(1,5),(2,3),(3,1),(4,2),(5,6),(6,4),(7,8),(8,7)\}$ $M_5 = \{(1,5),(2,2),(3,1),(4,3),(5,4),(6,6),(7,8),(8,7)\}$ $M_6 = \{(1,5),(2,3),(3,2),(4,1),(5,6),(6,4),(7,8),(8,7)\}$ $M_7 = \{(1,5),(2,7),(3,1),(4,2),(5,6),(6,4),(7,8),(8,3)\}$ $M_8 = \{(1,5),(2,3),(3,1),(4,2),(5,4),(6,6),(7,8),(8,7)\}$ $M_9 = \{(1,5),(2,7),(3,2),(4,1),(5,6),(6,4),(7,8),(8,3)\}$ $M_{10} = \{(1,5),(2,7),(3,1),(4,2),(5,4),(6,6),(7,8),(8,3)\}$ $M_{11} = \{(1,5),(2,3),(3,2),(4,1),(5,4),(6,6),(7,8),(8,7)\}$ $M_{12} = \{(1,5),(2,7),(3,1),(4,2),(5,4),(6,3),(7,8),(8,6)\}$ $M_{13} = \{(1,5),(2,7),(3,2),(4,1),(5,4),(6,6),(7,8),(8,3)\}$ $M_{14} = \{(1,5),(2,7),(3,2),(4,1),(5,4),(6,3),(7,8),(8,6)\}$
--

그림 2. 안정된 매칭들의 집합  
 Fig. 2. Set of Stable matching.

이런 여러 가지 매칭들을 평가하는 방법이 필요하므로 어떤 매칭이 남자들의 우선순위를 얼마나 만족시키는지를 알려주는  $sm()$  함수와, 여자들의 우선순위를 얼마나 만족시키는지를 알려주는  $sw()$  함수를 식 (1) 처럼 도입한다.

$$sm(M_i) = \sum_{(m,w) \in M_i} mr(m,w) \quad (1)$$

여기서 여자가 남자의 우선순위리스트에 몇 번째인지를 나타내는 함수  $mr$  과 그 반대인  $wr$ 을 도입한다.  $mr(m,w)$ 은  $m$ 의  $PL$ 안에서  $w$ 의 순위이며,  $wr(m,w)$ 은  $w$ 의  $PL$ 안에서의  $m$ 의 순위를 의미한다.

수식(1)을 바탕으로 새로운 SMP의 해법을 위한 정의1을 만든다.

### 2.2. ACS

ACS는 오래전부터 세일즈맨의 경로 해결 문제(TSP)와 조합형 최적화문제들에 적용되어 다양한 알고리즘을 통해 다루어져 왔다. 개미(Agent)는 목적지 까지 지정

**정의1-1** M 중에서,  $sm(M_i)$ 가 최소이고( $sw(M_i)$ 이 최대)  $M_i \in M$ 을 만족할 때, 남성 최적(man-optimal) 매칭이다.

**정의1-2** M 중에서,  $sw(M_i)$ 가 최소이고 ( $sm(M_i)$ 가 최대이고)  $M_i \in M$ 을 만족할 때 여성 최적(women-optimal)매칭이다.

**정의1-3** M 중에서, ( $sm(M_i) + sw(M_i)$ )가 최소 값을 가지고  $M_i \in M$ 을 만족할 때, 양성 최적(egalitarian-optimal) 매칭이다.

**정의1-4** M 중에서,  $|sm(M_i) - sw(M_i)|$ 가 최소 값을 가지고  $M_i \in M$ 을 만족할 때, 성-균형 최적(sex-fair-optimal) 매칭이다.

정의 1. 안정된 매칭의 종류 정의  
 Definition 1. Definition of various stable matching.

된 경로를 따라 이동하게 되며 이때 발생한 페르몬의 양을 바탕으로 학습을 하게 된다.<sup>[12-13, 15~17]</sup>

### 3. ACS와 안정된 결혼 문제

ACS는 TSP문제와 같은 조합최적화 문제들에 많이 적용되 왔다. 중요한 아이디어는 ants라는 에이전트들의 집합이 탐색을 병렬로 하되 페르몬을 통해 간접적이고 전역적으로 협동통신을 한다는 점이다.

이 절에서 우리는 SM 문제를 ACS 기반으로 해결하는 알고리즘을 제안한다. 정의 2는 ACS 측면에서 SMP를 보는 것이다. 각 쌍  $(i,j)$ 에는 비용(cost measure)을 나타내는 값  $\delta(i,j)$  이 있고, 바람직함(desirability measure)을 나타내는 값  $\tau(i,j)$ 가 있다. 페르몬이 바람직성을 나타내고 우선순위 리스트에서의 거리가 비용 값에 해당된다. 인공 개미는 실행시간에 페르몬을 수정한다.

정의 3처럼, 개미 시스템은 다음과 같이 돌아간다. 각 개미는 무작위적으로 선택된 남자로부터 출발한다. 여러 여자들로 가는 길 중에서 페르몬이 많은 쪽을 더 큰 확률로 가는 확률적 전환 규칙(probabilistic state transition rule)을 따라 선택된 여자쪽으로 간다. 이런 식으로 개미는 여행을 계속하는데 모든 남자가 서로 다른 여자와 짝을 이루면 새로운 매칭이 만들어진 것이다. 그 경우 전역 페르몬 갱신 규칙(global pheromone update rule)을 적용한다. 페르몬은 증발하므로 개미가 자주 안다니는 길은 말라버린다. 각 개미는 매칭이 만들어질 때마다 얼마나 좋은 매칭의 여행이었는지를 고려하여 페르몬을 그 길에 뿌린다.

우리는 각각 다른 목표 (남성 최적, 여성 최적, 양성 최적, 성-균형 최적)에 따라 비용함수를 설계할 것이다. 각 목표마다 다른 전역비용함수 및 비용측정법을 가져야한다. 공통으로 사용되는 상태전환규칙(state transition rule)은 식 (2)로 표시된다. 식 (2)는  $i$  라는 노드(사람)위에 있는  $k$  개미가  $j$  라는 노드로 갈 확률을 계산해 주는 식이다.

안정된 결혼 문제 (SMP)  
 $m=\{1,\dots,n\}$ 는 남자,  $w=\{1,\dots,n\}$ 는 여자 목록이며,  
 $A = \{(i,j) : i \in M, j \in W\}$ 는 한 쌍이 된  $m, w$ 를 의  
 미하며, 그리고  $\delta(i,j), \tau(i,j)$ 는 비용과 페르몬을 나타낸  
 다.  
 SMP는 남녀 우선순위를 반영해 안정된 매칭을 찾는  
 것이 문제의 핵심이다. 찾는 4가지 목표에 따라 비용함수  
 $\delta(i,j)$ 와 페르몬 함수  $\tau(i,j)$ , 을 다르게 설정하면 된다.

정의 2. SMP 문제 정의  
 Definition 2. Definition of SMP.

```

Initialize
Loop /* at this level each loop is called an
iteration */
    -각 개미는 무작위로 남자  $m$ 의 위치에 놓는다.
    Loop /* at this level each loop is
called a step */
    -각 개미는 매칭을 점진적으로 구성하기위해
상태전환(state transition) 규칙을
적용한다.
    Until 모든 개미가 매칭을 완성할 때 까지
    -전역 페르몬 갱신 규칙을 수행한다.
Until End_condition
    
```

정의 3. SMP용 ACS 알고리즘의 정의  
 Definition 3. Definition of ACS algorithm for SMP.

$$p_k(i,j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i,j)] \cdot [\eta(i,j)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau(i,u)] \cdot [\eta(i,u)]^\beta} & j \in J_k(i) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

$\tau(i,j)$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$ 사이의 간선에 분비된 페르몬의 양을 나타내고,  $\eta(i,j)$ 은  $(i,j)$ 쌍의 휴리스틱 값(비용, 거리 등인데 여기서는 우선순위리스트 상의 순위),  $J_k(i)$ 는 개미  $k$ 가  $i$ 번째 남자 위치에 있을 때 아직 시도 안 된 여자들의 집합이며,  $\beta$ 는 페르몬과 비용(순위)을 사이의 상대적인 비중을 나타낸다( $\beta > 0$ ).

식 (2)은 시뮬레이션 환경에서 속도가 느리므로, 본 논문에서는 보다 빠른 실험을 위해 확률적인 선택과 결정적인 선택의 결합을 통해 속도를 개선하기위해 식 (3)을 도입한다.  $i$  번째 남자에 있는 개미는  $q$ 값이 주어진  $q_0$ 값 보다 작으면 (3)번 식으로 여자  $w$ 를 정하고,

그렇지 않은 경우는 식 (2)에 따라 정한다.

$$w = \begin{cases} \arg \max_{j \in J(i)} [\tau(i,j)] \cdot [\eta(i,j)] & q \leq q_0 \\ W & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $q$ 는  $[0,1]$ 사이에 분포된 무작위 파라미터 (random parameter)이고,  $W$ 는 수식(2)의 확률분포 (Probability distribution)에 의해 선택된 무작위 변수이다.

전역 갱신규칙은 다음과 같이 구현할 수 있다. 모든 개비들이 매칭을 완성하면, 다음(4) 식에 따라 모든 쌍들의 페르몬을 갱신한다.

$$\tau(i,j) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau(i,j) + \alpha \cdot \Delta \tau(i,j) \quad (4)$$

여기서, 페르몬 증가분  $\Delta \tau(i,j)$ 은 다음 식 (4-1)으로 나타낸다.

$$\Delta \tau(i,j) = \begin{cases} F & \text{if } (i,j) \in \text{global best matching done by ant } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-1)$$

여기서 어떤 매칭  $M$ 의 함수  $F$ 는 다음과 정의한다.

$$F = f(M) + S \quad (5)$$

$f(M)$ : 안정된 매칭을 이룬 남녀의 수( $0 \leq f(M) \leq n$ )  
 $S$ : 매칭의 목표를 반영하는 변수(우리는 뒤에서 이 변수값을 정의할 것이다).

수식(4)에서  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ )는 페르몬의 증발 파라미터이고(시간이 지날수록 페르몬이 증발한다), 페르몬 증가분  $\Delta \tau(i,j)$ 는  $F$ 가 클수록 많아진다.

다음으로는 전역비용변수  $S$ 와 식 2 및 식 3에서 사용된 휴리스틱 변수  $\eta(i,j)$ 를 각각의 매칭목표에 따라 정한다.

가. 남성 최적의 안정된 매칭

정의1을 따라서 만일 안정된 매칭  $M$ 이  $sw$ 의 최대 값을 가지면 (즉,  $sm$ 의 최소 값을 가지면) 남자의 입장에서의 최적화된 결과라 할 수 있다. 따라서  $\eta(i,j)$  값으로 다음의 식이 적절하다.

$$\eta(i,j) = w(i,j)$$

남자가 우선시되는 안정된 매칭을 결정하는 변수  $S$ 는 수식(6)로 정의할 수 있다.

$$S = \frac{\prod_{i=1}^{n-1} (f(M) - i)}{(n-1)!} sw \quad (6)$$

$sw$ : 여자 PL 안의 모든 남자들의 순위 총합

만일  $f(M) < n$ ( $M$ 은 불안정한 매칭) 이면  $S = 0$ 이고, 식(5)에 따라  $F = f(M)$ 이 성립된다.  $f(M) = n$ ( $M$ 은 안정된 매칭)이면  $S = sw$ 이고, 수식(5)에 따라  $f(M) = n + sw$ 가 성립된다.

앞서 언급한 정의1-1에 따라 만일 매칭  $sw(M_i)$ 가 최대값을 가지면 남성 최적의 안정된 매칭이 이루어진다.

수식(6)을 통해  $F$ 와  $S$ 의 최대 값을 구하여, 남자를 우선으로 하는 안정된 매칭을 이룰 수 있다.

#### 나. 여성 최적의 안정된 매칭

정의2를 따라, 만일 안정된 매칭  $M$ 이  $sm$ 의 최대 값을 가지면 (즉,  $sw$ 의 최소 값을 가지면) 여자를 위주로 하는 안정된 매칭을 이룰 수 있다. 앞서서 처럼  $\eta(i, j)$  값으로 다음의 식이 적절하다.

$$n(i, j) = mr(i, j)$$

매칭  $M$ 의 함수 값인 변수  $S$ 는 다음과 같이 정의한다: 수식(6)의  $sw$ 를  $sm$ 으로 바꾼다.

$sm$ 은 남자 PL 안의 모든 여자 순위의 합이다.

만일  $f(M) < n$ 이면  $S = 0$ 이고 식(5)에 따라  $F = f(M)$ 이 성립된다. 만일  $f(M) = n$  즉, 안정된 매칭이면

$$S = \frac{\prod_{i=1}^{n-1} (f(M) - i)}{(n-1)!} sm \quad (7)$$

$S = sm$ 이라면,  $F = n + sm$ 이다.

정의1-2를 기초로, 만약  $sm$ 이 최대값을 가지고면, 여성 최적의 안정된 매칭을 구할 수 있다.

#### 다. 양성 최적의 안정된 매칭

정의1-3에서 안정된 매칭  $M$ 이 최소의  $(sm + sw)$ 을 가지면 이것은 모든 사람의 PL을 고려하여 안정된 매칭을 이룬 것이라 할 수 있겠다. 앞서서 처럼  $\eta(i, j)$  값으로 다음의 식이 적절하다.

$$n(i, j) = (mr(i, j) + wr(i, j))^{-1}$$

$i$ 번째 남자 PL에서  $j$ 번째 여자와  $j$ 번째 여자 PL의  $i$ 번째 남자의 순위의 합의 역수를 사용한다. 순위의 합의 값이 작을수록  $\eta(i, j)$ 은 커진다.

매칭  $M$ 의 함수의 값 변수  $S$ 는 수식(6)(7)과는 조금 다르다.

$$S = \frac{\prod_{i=1}^{n-1} (f(M) - i)}{(n-1)!} (sm + sw)^{-1} \quad (8)$$

$f(M) < n$ 이면  $S = 0$ 이고  $F = f(M)$ 이다.  $f(M) = n$ 이면  $S = sm$ 이고  $F = n + sm$ 이다.  $sm + sw$ 가 최소 값을 가지고  $f(M) = n$ 이면,  $F = n + (sm + sw)^{-1}$ 이 된다. 이렇게 하면 양성 최적의 안정된 매칭을 구할 수 있는 것이다.

#### 라. 성-균형 최적의 안정된 매칭

정의1-4는, 안정된 매칭  $M$ 이  $|sm - sw|$ 에 의해 최소 값을 갖는다면 성-균형의 안정된 매칭을 찾는 것이며, 이것은 어느 한쪽의 PL만을 우선시 하지 않고 남녀 각각의 만족도에 균형을 이루게 한다. 이것은  $(0 \leq mr(i, j) - wr(i, j) \leq n-1)$ 의 범위에서  $\eta(i, j)$  값으로 다음의 식이 적절하다.

$$\eta(i, j) = \begin{cases} |mr(i, j) - wr(i, j)|^{-1} & mr(i, j) \neq wr(i, j) \\ otherwise & \end{cases} \quad (8-1)$$

변수  $S$ 는 수식(8)의  $sw + sm$ 을  $|sw - sm|$ 으로 바꾸면 된다.

$$S = \frac{\prod_{i=1}^{n-1} (f(M) - i)}{(n-1)!} \cdot |(sm - sw)^{-1}| \quad (9)$$

$0 \leq |sm - sw| \leq n-1$  이다.

식 (9)에서  $|sm - sw| = 0$  일 때,  $S$ 는 수식(10)을 바탕으로 생성된다.

$$S = 2 \cdot \frac{\prod_{i=1}^{n-1} (f(M) - i)}{(n-1)!} \quad (10)$$

$f(M) < n$ 이면,  $S = 0$ 이고  $F = f(M)$ 이다. 따라서,

$|sm - sw|$  이 최소값이고,  $f(M) = n$  이면  $F = n + |sm - sw|^{-1}$  (또는  $F = |n+2$  if  $sw = sm$ ) 이다. 이렇게 하면 성-균형 최적의 안정된 매칭을 찾을 수 있다. 의 해법이다.

### III. 실험

그림 3은 남녀의 수를  $n$ 으로 하고 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서  $n$ 을 1 - 40 으로 설정하고 실험을 수행 한 결과를 보여주고 있다.

$$(a = 0.1, b = 9, q_0 = 0.9 \text{ With } n = 40)$$

본 논문에서 제시한 ACS를 응용한 SMP의 새로운 해법인 남녀를 모두 고려하여 안정된 매칭을 찾는 실험의 결과는 여자의 점수와 남자의 점수 편차가 3미만인 것은 90회의 실험 사례에서는 90%였고 편차가 4미만 일 때는 94%였다.

그림 3은 양성 최적값을 구하는데 걸리는 시간을 비교하기 위해 iteration의 비교를 GA를 이용한 경우와 비교하였다. ACS를 적용하였을 때 GA<sup>[14]</sup> 방법 보다 약간 효율적인 것을 보여주고 있다

표 2는 정의(1)을 기반으로 ACS적용 알고리즘, Gale-Shapley알고리즘 그리고 Genetic Algorithm 알고리즘<sup>[14]</sup> (GA)를 비교한 결과를 보여 주고 있다. (쌍의 수  $n=30$ , 개미 수  $m=20$  으로 실험)

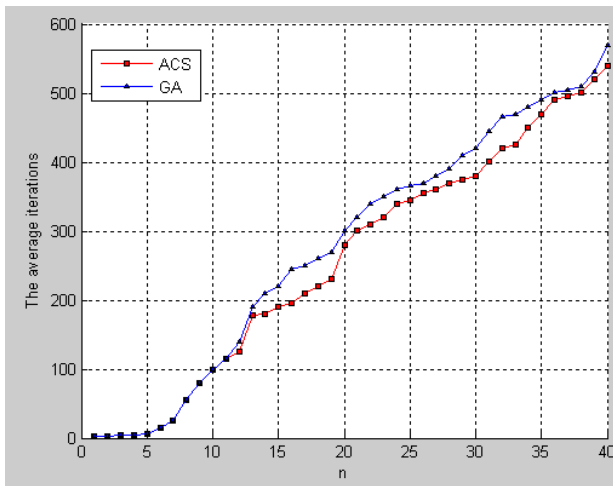


그림 3. 제안된 ACS를 이용한 알고리즘의 성능 평가  
Fig. 3. Performance evaluation of suggested algorithm using ACS.

표 2. 기존의 알고리즘과의 성능 평가  
Table 2. Performance Comparison of ACS, GS, GA.

	ACS	Gale-Shapley	GA
Men-optimum(sw)	124	124	124
Women-optimum(sm)	132	132	132
Egalitarian(sm+sw)	213	-	208
Sex-fair(sm-sw)	9	-	12

각각 개미들의 위치는 임의(random)로 지정 하였으며, SMP의 대표적 해법인 Gale-Shapley 알고리즘과 최근에 연구되었던 GA(Genetic Algorithm)알고리즘<sup>[14]</sup> 과 비교 평가 하였다. 표 속의 숫자는 정의 1에서 언급한 매칭 목표함수 값이다. 남자를 우선으로 하는 최적의 안정된 매칭과 여자를 우선으로 하는 최적의 안정된 매칭을 찾는 결과는 Gale-Shapley알고리즘 및 GA 방법과 같은 결과를 보여 주었다. 즉, 최적 매칭을 모든 알고리즘이 찾았다는 뜻이다. Gale-Shapley알고리즘은 양성평등과 성-균형을 위한 매칭을 찾지는 못한다. GA 방법과 비교하면 양성평등에서는 열등한 해를 찾고, 성-균형 부분에서는 우등한 해를 찾아냄을 알 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 오래전부터 같은 수로 이루어진 남녀를 서로의 이상형을 우선으로 만남을 이루게 하는 안정된 결혼 문제에 대한 연구에 대해 ACS알고리즘을 적용하여 또 다른 해법을 찾을 수 있었다.

본 논문에서, 남녀가 서로의 이상형을 고려하여 최적의 안정된 매칭을 찾기 위하여 남성을 중심으로 하는 최적화된 매칭, 여성을 중심으로 하는 최적화된 매칭, 양성을 배려한 안정된 매칭과 성-균형을 고려한 안정된 매칭을 위해 ACS 알고리즘을 적용하여 보았다. 이것은 Gale-Shapley알고리즘을 통해 찾은 남자 또는 여자를 우선으로 하는 최적의 안정된 매칭의 해법을 넘어서는 양성 및 성-균형 최적의 매칭을 찾는 새로운 해법임을 알 수 있었다. 본 논문에서 제시한 방법이. 최신의 GA 방법과 비슷한 결과를 내었으므로 ACS라는 다른 방식을 적용했다는 측면에서 의미 있다고 평가할 수 있다.

그러나 기존 논문들이 그러했듯이 본 논문에서도 독신주의자, 동성애자, 남자와 여자 수의 불균형 등 다양한 요소를 고려하지 않고  $n$ 명의 남자와 같은 수의 여자라는 제한적 환경에서 문제의 해법을 찾았다. 그러므로 실세계에서 적용하고 응용할 수 있도록 사람들의 각각의 취향을 고려하고 어느 한 쪽에 치우치지 않도록, 누구나 자신이 원하는 이상형을 만날 수 있는 SMP의 해법을 위해 다양한 설정(ex.남녀의 인원수가 상이한 구성으로 설정된 환경 등)과 환경에서의 해법제시가 필요하다고 본다.

## 참고 문헌

- [1] S. Goss, S. Aron, J.L. Deneubourg, and J.M. Pasteels, Self-organized Shortcuts in The Argentine Ant, *Naturwissenschaften*, vol. 76, pp. 579 - 581, 1989.
- [2] D.Gale and L.S.Shapley, College admissions and the stability of marriage, *American Mathematical Monthly*, Vol.69, pages 9-15, 1962.
- [3] D.Gusfield and R.W.Irving, The Stable Marriage Problem: Structure and Algorithms, The MIT Press, 1989.
- [4] An efficient algorithm for the “stable roommates problem”, *Journal of Algorithms* 6 (4): 577 - 595. Irving, Robert W, 1985.
- [5] 홍석미, 순회 판매원 문제에서 개미 군락 시스템을 이용한 효율적인 경로 탐색, *정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용* 30(9) 862-866, 1229-6848, 2003.
- [6] “The Stable Roommates Problem with Ties”, *Journal of Algorithms*. Irving, Robert W.; Manlove, David F, 2002.
- [7] V. Maniezzo, A.Colomi, and M.Dorigo, The Ant System Applied To The Quadratic Assignment Problem, *Tech. Rep. IRIDIA/94-28*, 1994, Université Libre de Bruxelles, Belgium.
- [8] A. Colomi, M. Dorigo, and V. Maniezzo, An Investigation of Some Properties of An Ant Algorithm. *Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference (PPSN 92)*, 1992, R. Mäanner and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing, pp. 509 - 520.
- [9] A.E.Roth. The Evolution of the Labor Market for Medical Interns and Residents: A Case Study in Game Theory, *Journal of Political Economy*, pages 991-1016, 1984.
- [10] Abraham, David J and Irving, Robert W and Manlove David F (2003), The Student-Project Allocation Problem, *Proceedings of ISAAC 2003: The 14th Annual International Symposium on Algorithms and Computation*. 15-17 December, 2003 *Lecture Notes in Computer Science Vol.2906*, pages 474-484, Kyoto, Japan.
- [11] R. Beckers, J.L. Deneubourg, and S. Goss, Trails and U-turns in The Selection of The Shortest Path by The Ant, *Lasius Niger*, *Journal of Theoretical Biology*, vol. 159, pp. 397 - 415, 1992.
- [12] S. Goss, S. Aron, J.L. Deneubourg, and J.M. Pasteels, Self-organized Shortcuts in The Argentine Ant, *Naturwissenschaften*, vol. 76, pp. 579 - 581, 1989.
- [13] B. Hölldobler and E.O. Wilson, *The ants*. Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- [14] N. A. Vien, T. C. Chung. “Multiobjective Fitness Functions for Stable Marriage Problem using Genetic Algorithm”. *Proc. of SICE - ICASE International Joint Conference 2006 (SICE - ICCAS 2006)*, Korea.
- [15] M Dorigo, and L. Ganbardella. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach To The Traveling Salesman Problem, *IEEE transactions on Evolutionary Computing*, 1(1):53-66, 1997.
- [16] A. Colomi, M. Dorigo, and V. Maniezzo, Distributed Optimization by Ant Colonies, *Proceedings of ECAL91 - European Conference on Artificial Life*, Paris, France, 1991, F. Varela and P. Bourguine (Eds.), Elsevier Publishing, pp. 134 - 142.
- [17] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A.Colomi. The Ant System: Optimization by A Colony of Cooperating Agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B*, vol. 26, No. 2, pp. 29 - 41, 1996.

## — 저 자 소 개 —



김 현 (정회원)

2005년 경희대학교 컴퓨터공학과 석사

2011년 경희대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업예정

&lt;주관심분야 : 멀티에이전트, 강화학습, 스마트 TV&gt;



정 태 충 (정회원)

1987년 KAIST 전산학과 공학박사

1987년 KIST 시스템공학센터 선임 연구원

1988년~현재 경희대학교 컴퓨터 공학과 교수

&lt;주관심분야 : 인공지능, 기계학습, 메타탐색, 로봇축구&gt;