

퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 효율적인 조정방안

Effective Coordination Method of Multi-Agent Based on Fuzzy Decision Making

류경현¹, 정환묵²

¹ 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부

E-mail: r11047@cu.ac.kr

² 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부

E-mail: hmchung@cu.ac.kr

요 약

급속도로 변화하는 환경에 적응하기 위해서 환경의 변화에 대한 요구와 신속한 응답능력을 향상시키고, 에이전트간 의사결정의 지속시간을 줄이기 위하여 에이전트간 효율적인 조정에 관련된 의사결정을 하기위한 대안(alternative)결정과 사용자의 선호도를 어떻게 유도할 수 있는가라는 문제가 요구된다.

본 논문에서는 사회적(Pareto) 최적성이라는 관점에서 의사결정의 행동을 효과적으로 시뮬레이션하기 위해 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 효율적인 조정방안을 제안한다. 또한 제안하는 방법에서는 가중치를 사용하여 각 속성이 멀티에이전트와 관련하여 최적의 대안을 생성하고, 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 의사결정방법에 기존의 방법보다 가중치를 사용한 방법이 높은 신뢰도를 가지면서 더 빠른 의사결정을 한다는 것을 확인하였다.

Key Words : decision-making, Coordination, Multi-Agent system

1. 서 론

불완전한 구조 문제 해결의 과정을 통해서 의사결정자를 안내할 목적으로 상호작용 컴퓨터기반 시스템인 의사결정지원시스템(DSS)은 주로 불확실성으로 특성화된다[1]. DSS의 기능은 의사결정을 지원하고, 다른 스타일의 의사결정자를 지원하며, 의사 결정 과정의 단계를 조절하고, 학습과 적응 등도 포함한다.

DSS의 문제점은 대규모 데이터베이스와 복잡한 수학적 모델을 다루는 비효율성과 관련있다. 복잡한 의사결정 상황은 많은 입력 변수와 퍼지 규칙 지식베이스를 요구한다. 더구나 많은 규칙 베이스는 높은 일치성과 유효성이 부족하고 수정과 유지가 어렵다.

본 논문에서는 위에서 언급된 문제점을 검토하여 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 효율적인 조정방안으로 가중치를 사용한 대안개념(alternative concept)과 기존의 방법을 비교한다. 각 에이전트들은 개개의 속성값을 산출한 후, 기준에 따라 최적의 대안을 구하기 위해 서로 협조하고 경쟁한다.

2. 관련 연구

DSS 전체 해의 결정은 기준에 제안된 다기준 퍼지 의사결정을 기반으로 한다[2]. 각각의 분산 지능 에이전트는 적당한 규칙의 수를 가진 퍼지 지식기반시스템으로 구현되어진다. 다기준 문제를 해결할 목적으로 멀티에이전트 DSS의 구조는 그림 1과 같다.

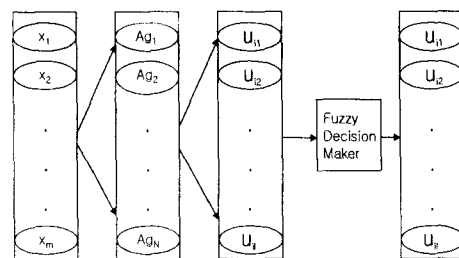


그림 1 멀티에이전트 DSS의 구조

에이전트의 수는 시스템 설계자에 의해 결정되고 각 에이전트 $Ag_j, j=1, N$ 는 해를 산출하기 위하여 추론을 수행할 수 있는 자율적인 지능형 에이전트이다.

여기서 $x_i, i = \overline{1, m}$ 이고 $u_j, j = \overline{1, l}$ 은 보통 입력과 개개 에이전트의 출력 변수이다.

$$R^k: IF x_1 is A_{k1} AND x_2 is A_{k2} AND \dots AND x_m is A_{km} THEN u_{k1} is B_{k1} AND u_{k2} is B_{k2} AND \dots AND u_{kl} is B_{kl} \quad (2.1)$$

A_{kj}, B_{kj} 는 퍼지 집합이고 K 는 규칙의 수이다. 입력 x_1, x_2, \dots, x_m 는 비퍼지(crisp)이거나 퍼지 변수들이다. 만약 입력 데이터가 비퍼지라면 퍼지화는 퍼지 집합에서 이 데이터와 매핑된다. 각 에이전트의 결정은 합성 규칙에 의해 만들어지고, 식 (2.2)에 의해 추론한다.

$$\tilde{U}_j = R_j \circ \tilde{X} \quad j = \overline{1, N} \quad (2.2)$$

여기서, \tilde{U}_j 는 j 번째 에이전트의 의사결정 퍼지 값이고 R_j 는 퍼지 모델 식 (2.1)에 대응하는 퍼지 관계이고 \tilde{X} 는 퍼지화 후의 전체 입력 정보이다.

모든 에이전트의 해는 의사결정자가 다기준 $C_i, i = \overline{1, M}$ 상에서 그들의 효용을 기초로 퍼지 의사결정기에 의해 평가된다. N 개의 에이전트 사이에 최고의 에이전트(승자 에이전트)는 기준 $C_i, i = \overline{1, M}$ 가 최고를 만족하는 에이전트이다.

실제 결정상황에서 기준 C_i 는 다른 중요성 $\alpha_i, i = \overline{1, M}$ 을 가진다. 각 기준의 상대적인 선호도 기준 비교순서를 사용하여 결정된다.

즉, 동등 중요성이면 $b_{ij} = 1$, 중간적 중요성이면 $b_{ij} = 3$, 강한 중요성이면 $b_{ij} = 5$, 역의 관계를 가진다면 $b_{ij} = 1/b_{ji}$ 등, 여기서 b_{ij} 는 중요성 평가의 크기로 결정된다. 따라서

$\alpha_i, i = \overline{1, M}$ 는 b_{ij} 로부터 구성된 pairwise 비교법을 이용하여 행렬을 만들고 고유치(eigenvalue)와 고유벡터(eigenvector)를 구한다. 그리고 $\mu_{C_i}(u_{Agj}) \in [0, 1]$ 을 통해 기준 C_i 상에 μ_{Agj} 의 대안평가를 정의한다.(간단성의 이유로, $\mu_{C_i}(u_{Agj})$ 을 μ_{ij} 로 나타낸다) 기준

$C_i (\mu_{C_i}(u_{Agj}))$ 와 $\alpha_i, i = \overline{1, M}$ 에 대하여 각 대안 $u_{Agj}, j = \overline{1, N}$ 의 적합도를 결정한 후, 식 (2.3)과 같은 퍼지 집합을 유도한다.

$$\begin{aligned} C_1^{\alpha_1} &= (\mu_{11})^{\alpha_1} u_{Ag1}, (\mu_{12})^{\alpha_1} u_{Ag2}, \dots, (\mu_{1N})^{\alpha_1} u_{AgN} \\ C_2^{\alpha_2} &= (\mu_{21})^{\alpha_2} u_{Ag1}, (\mu_{22})^{\alpha_2} u_{Ag2}, \dots, (\mu_{2N})^{\alpha_2} u_{AgN} \\ &\vdots \\ C_M^{\alpha_M} &= (\mu_{M1})^{\alpha_M} u_{Ag1}, (\mu_{M2})^{\alpha_M} u_{Ag2}, \dots, (\mu_{MN})^{\alpha_M} u_{AgN} \end{aligned} \quad (2.3)$$

최적 대안 선택은 식 (2.4)에 의해 수행된다.

$$\mu_D(u_{Ag}^*) = \max_{j=1, N} \min_{i=1, M} \mu_{C_i}^{\alpha_i}(u_{Agj}) \quad (2.4)$$

여기서 u_{Ag}^* 는 최적 대안이다.

3. 퍼지 의사결정에 기반한 가중치를 사용한 멀티에이전트의 대안결정

제안된 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 구조는 그림 2와 같은 구조를 가진다. 제안한 시스템은 N 개의 병렬 에이전트로 구성되고 모든 에이전트는 비퍼지 입력 정보 x_1, x_2, \dots, x_m 를 수신한다. 지식기반시스템인 각각의 에이전트는 추론을 실행하고 전체 문제에서 자신의 해를 산출한다.

$$u_j = [u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jl}]^T, j = \overline{1, N}$$

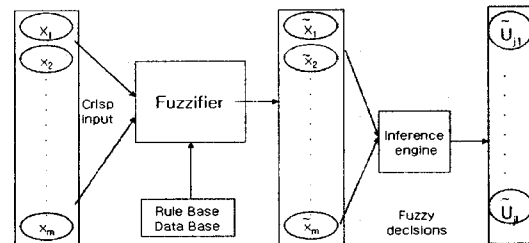


그림 2 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 구조

주어진 <표 1>에서 속성들을 평가하고 평가 행렬은 획득되어진 m 명의 에이전트와 n 개의 속성들을 포함한다.

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (3.1)$$

여기서 x_{ij} 는 의사결정과정에서 i 번째 에이전트에 의해 평가된 j 번째 속성값을 나타내며 각 에이전트별로 퍼지화하여 속성들을 제공한 총합을 제공근한 값을 각각의 행렬값으로 나누어 정규화하면 식 (3.2)의 결과인 Y 값을 얻을 수 있다.

$$Y = (y_{ij})_{m \times n}, \text{ 여기서 } 0 \leq y_{ij} \leq 1 \text{ 이고}$$

$$y_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad (3.2)$$

또한, 정규화된 행렬에서 각 기준에 대하여 대안결정을 구한다. i 번째 참가자의 의사결정의 대안 (U_i)은 식 (3.2)에서 구한 결과 y_{ij} 에 식 (3.4)으로 구한 j 번째 속성의 가중치를 곱한 총

합으로 계산한다.

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij} \quad (3.3)$$

여기서 w_j 는 j번째 속성의 가중치이다.

$$w_j = \sum_{k=1}^n a_{kj} / \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n a_{kj} \quad (3.4)$$

여기서 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 이고 a_{kj} 는 k번째 속성과 j 번째 속성사이의 상대적인 가중치로 a_{kj} 의 값은 다음과 같이 나타낸다.

- $a_{kj} = 1$: 만약 k 번째 속성이 j 번째 속성보다 중요하다
- 0.5 : 만약 k 번째 속성이 j 번째 속성같이 중요하다
- 0 : 만약 k 번째 속성이 j 번째 속성보다 덜 중요하다

따라서 최적 대안 선택은 식 (3.3)에 의해 수행된다.

4. 적용 예

예를 들어, 대학의 교양과목인 실용컴퓨터에서 실시하는 ITQ 자격증 취득에 따른 학생들의 데이터를 근거로 각 에이전트에 의해 제안된 해인 <표 1>을 바탕으로 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트를 기존의 방법과 가중치를 사용한 방법으로 비교분석해 본다.

<표 1> 각 에이전트에 의해 제안된 해

에이전트 \ 속성	과제량	영타	수시(분)
Agent1	4	157	59
Agent2	8	182	82
Agent3	9	157	53

4.1 기존의 방법

<표 1>의 데이터를 근거로 각 에이전트의 지식베이스에서 퍼지 규칙들을 나타내었다. 여기서 변수 과제량은 많다(Large), 작다(Small)로 영타는 빠르다(Fast), 보통(Normal), 느리다(Slow)로, 수시(분)은 짧다(Short), 길다(Long)의 속성값을 가진다. 결과(outcome)는 A, B, C 등급으로 나누어진다.

첫 번째 에이전트에 대하여
 IF 과제량 is Large and 영타 is Fast 수시 is Short THEN outcome is A
 IF 과제량 is Large and 영타 is Fast 수시

is Long THEN outcome is A

⋮

두 번째 에이전트에 대하여

IF 과제량 is Large and 영타 is Fast 수시 is Short THEN outcome is B

IF 과제량 is Large and 영타 is Fast 수시 is Long THEN outcome is B

⋮

세 번째 에이전트에 대하여

IF 과제량 is Large and 영타 is Fast 수시 is Short THEN outcome is C

IF 과제량 is Large and 영타 is Fast 수시 is Long THEN outcome is C

고려된 멀티에이전트 DSS에서 다음과 같은 기준에 의해 특성화된다.

- A : A 자격증 취득
- B : B 자격증 취득
- C : C 자격증 취득

기준 A, B, C 상에 특성화된 대안은 다음과 같은 형식으로 나타낸다.

$$A = \{0.213 / u_{Ag_1}, 0.525 / u_{Ag_2}, 0.338 / u_{Ag_3}\}$$

$$B = \{0.338 / u_{Ag_1}, 0.213 / u_{Ag_2}, 0.525 / u_{Ag_3}\}$$

$$C = \{0.525 / u_{Ag_1}, 0.338 / u_{Ag_2}, 0.213 / u_{Ag_3}\}$$

위 기준의 pairwise 비교법은 다음과 같다.

- A 와 B : A는 크기 7을 가지고 B보다 더 중요하다.
- A 와 C : A는 크기 5를 가지고 C보다 더 중요하다.
- C 와 B : C는 크기 3을 가지고 B보다 더 중요하다.

상대적인 선호도에 따라 두 기준을 비교한 값을 표로 만들으로써 pairwise비교행렬을 생성한다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 5 \\ 1/7 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$\lambda = 3.233$ 를 가지고 대응되는 고유벡터 V를 구하면

$$V = \begin{bmatrix} 8.067 \\ 1.859 \\ 1 \end{bmatrix}$$

이고, 기준 A, B, C와 α_i 에 대한 각 대안의 적합도를 결정한 후 다음과 같은 퍼지 집합을 구한다.

$$\begin{aligned}
 A^{8.067} &= \{3.8E-06 / u_{Ag_1}, 5.5E-03 / u_{Ag_2}, 1.6E-04 / u_{Ag_3}\} \\
 B^{1.859} &= \{1.3E-01 / u_{Ag_1}, 5.6E-02 / u_{Ag_2}, 3.0E-01 / u_{Ag_3}\} \\
 C^1 &= \{5.3E-01 / u_{Ag_1}, 3.4E-01 / u_{Ag_2}, 2.1E-01 / u_{Ag_3}\}
 \end{aligned} \quad (4.1)$$

식 (2.2)와 식 (2.3)을 사용하고 식 (2.4)을 기초로하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \mu_D(u_{Ag}^*) &= \{ \max \{ \min \{ 3.8E-06, 1.3E-01, 5.3E-01 \} / u_{Ag_1}, \\
 &\quad \min \{ 5.5E-03, 5.6E-02, 3.4E-01 \} / u_{Ag_2}, \\
 &\quad \min \{ 1.6E-04, 3.0E-01, 2.1E-01 \} / u_{Ag_3} \} \} \\
 \mu_D(u_{Ag}^*) &= \max \{ 3.8E-06 / u_{Ag_1}, 5.5E-03 / u_{Ag_2}, 1.6E-04 / u_{Ag_3} \} \\
 &= \{ 5.5E-03 / u_{Ag_2} \}
 \end{aligned}$$

계산 결과, 최적대안은 u_{Ag_2} 가 된다. 즉 Ag_2 는 시스템의 해와 같이 과제량이 8개이고 영타가 182타이고 수시(분)가 82분을 제안한 승자 에이전트가 된다.

4.2 퍼지 의사결정에 기반한 가중치를 사용한 멀티에이전트

본 논문에서 제안한 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트는 속성을 평가하고 가중치를 사용하여 대안 결정을 한다. 속성 평가는 속성의 값이 에이전트들의 선호도를 근거로 평가하였다.

주어진 <표 1>로부터 각 에이전트에 대한 기준을 평가한 후 식 (3.2)로부터 정규화된 결과인 Y값을 구하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 각 에이전트별 결과인 Y값

A	9.5460E-01	9.5156E-01	7.8923E-01
B	7.8923E-01	9.5460E-01	9.5156E-01
C	9.5156E-01	7.8923E-01	9.5460E-01

최적의 대안 결정을 위하여 식 (3.4)을 이용하여 각 에이전트별 가중치를 계산하였다.

$$W_1=0.111111 \quad W_2=0.333333 \quad W_3=0.555556$$

식 (3.3)을 기초로 하여 각 에이전트의 대안 결정은 <표 3>과 같은 결과를 획득하였다.

<표 3> 각 에이전트별 대안값

에이전트	대안값
Agent1	8.6171E-01
Agent2	9.3453E-01
Agent3	8.9914E-01

위에서 제시한 기존의 방법과 가중치를 사용한 방법은 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전

트의 조정방안으로 두 가지 방법 모두 다 최적의 대안 결정으로 에이전트2를 선택한 것을 알 수 있다.

5. 결과 및 향후 연구과제

본 논문은 퍼지 의사결정에 기반한 멀티에이전트의 효율적인 조정방안을 제안하였다. 각 에이전트의 속성을 평가하고 최적의 대안 결정을 위하여 가중치를 사용하였다. 제안된 방법의 타당성을 보이기 위해 교양과목인 실용컴퓨터에서 실시하는 ITQ 자격증 취득에 따른 학생들의 데이터를 이용하였다.

기존의 방법에서 pairwise 비교법의 장점은 한 번에 단지 두 개의 기준만을 비교하면 된다는 것이고 단점으로는 기준 측정값의 크기와는 상관없이 단지 상대적인 중요도만을 고려해서 기준의 개수가 커지면 기하급수적인 pairwise 비교가 필요하다. 또한 대안 결정은 min-max를 사용하여 계산하였다.

제안하는 방법에서는 가중치를 사용하여 다른 에이전트에 의한 확실한 대안의 생성을 촉진시키기 때문에 더 효과적인 의사결정 지원을 유도할 수 있었고, 최종 의사결정의 선택은 평가자에 의해 여러 가지 기준을 고려해서 지원할 수 있었다.

향후 연구과제로는 의사결정자와 에이전트간의 개인화된 신뢰도를 공유하면서 다른 혼탁 과정을 반영하여 학습하고 반응하는 접근을 시도하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Bijan Fazlollahi, Rustam M. Vahidov and Rafik A. Aliev, "Multi-Agent Distribution Intelligent System Based on Fuzzy Decision Making", International Journal of Intelligent Systems, Vol. 15, pp.849-858, 2000.
- [2] Jacek Malczewski, GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons Inc, 1999.
- [3] Xiaolog Xue, Xialdong Li, Qiping Shen, Yaowu Wang, "An agent-based framework for supply chain coordination in construction", Automation in Construction, Vol 14, pp.413-430, 2005.
- [4] kwanyun Kim, mitsuo Gen, " Multi-Agent System for Supply Chain Management", 20th Fuzzy System Symposium, June 2-5, 2004.