

BDI 에이전트 시스템에서 충돌해결을 위한 협상 프로토콜의 연구

이명진⁰, 장창수, 오재광, 김진상
계명대학교 컴퓨터공학부

{mjlee, jkoh, csjang}@jinri.kmu.ac.kr, jsk@kmu.ac.kr

A Study on a Negotiation Protocol for Conflict Resolution in BDI Agents System

Myung-Jin Lee⁰, Chang-Su Jang, Jae-Kwang Oh, Jin-Sang Kim
Faculty of Computer Engineering, Keimyung University

요 약

멀티에이전트 시스템(MAS: Multi-Agent System)에서 에이전트는 각자의 목표 달성을 위해 주위 에이전트들과 상호작용하여 목표의 충돌이 없는 일치 상황에 도달하도록 설계될 필요가 있다. 이러한 상호작용은 MAS에서의 협동, 공조, 그리고 협상 등의 분야에 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 MAS에서 믿음(Belief), 소망(Desire), 그리고 의도(Intention)를 에이전트 구조의 핵심 요소로 가정하고, FIPA Agent Communication Language(ACL) 사양과 interaction 프로토콜의 변형에 기초하여 BDI 에이전트를 위한 협상 프로토콜을 소개한다. 또한 Java와 Prolog를 결합시킨 InterProlog 프로그래밍 언어로 목표 충돌을 일으키는 BDI 에이전트들을 생성하고 에이전트들이 협상 프로토콜을 사용하여 협상하는 과정을 시험적으로 구현하였다.

1. 서론

MAS에서 에이전트는 스스로 어떤 목표를 선택할지 그리고 선택한 목표를 어떻게 달성해야 할지를 결정할 능력을 갖고 있으며, 에이전트들 사이에 존재하는 고유한 상호 의존성 때문에 자율적인 에이전트들은 서로 상호작용할 필요성이 있다. 이러한 상호작용을 다루는 기법 중에서 에이전트들이 어떤 문제 혹은 관점에 대해 충돌이 발생했을 때 서로 통신을 통해 상호 수용 가능한 일치 상황에 도달하는 과정을 협상이라 볼 수 있다. 협상 프로토콜은 협상 사이클을 시작하고 메시지에 응답할 가능성을 서술한다. 간단한 방법은 협상 프로토콜을 아래와 같이 주어진 일련의 협상 행위들로 정의하는 것이다[5]:

(*<negotiation primitive>*, *<message contents>*)

여기서 *negotiation primitive*는 proposal, give, inform, accept, alternative 등과 같이 에이전트의 의도를 나타내며 *message contents*는 구체적인 전송 내용을 나타낸다. 한편 FIPA ACL 사양에서 통신행위는 아래와 같은 문장 형태로 표시된다[2]:

(*Communicative act type*

:Message parameter parameter expression
...)

여기서 *Message parameter*는 sender, receiver, content, language, ontology 등을 나타낸다.

본 연구에서는 BDI 에이전트들이 통신언어를 사용하여 서로의 믿음과 의도를 변화시키면서 협상을 수행할 수 있게 하는 BDI 에이전트를 위한 협상 프로토콜을 제시한다. 제시한 협상 프로토콜의 유용성을 시험하기 위해 목표 달성 과정에서 충돌을 일으키는 BDI 에이전트들을 구성하고, 이들이 협상 프로토콜을 통해 목표 충돌을 해결하는 과정을 시험적으로 구현하였다.

2. 관련연구

Davis와 Smith의 Contract Net Protocol(CNP)에서 에이전트들은 특정한 목표를 달성하기 위해 계약을 통해 그들의 활동을 조절한다[1]. 그러나 CNP를 시작하기 위해서는 에이전트들 사이에 목표의 충돌이 없어야 한다. 따라서 CNP는 협상 원리라기 보다는 오히려 표준화된 공조 방법으로 간주할 수 있다. Parsons, Sierra, Jennings가 제안한 argumentation 시스템은 협상 중인 에이전트들의 추론 과정을 서술하는 프레임워크를 사용한다[6]. 어떤 에이전트가 초기 제안을 전송하면 수신 에이전트는 전송된 제안에 찬성하는 argument 혹은 반대하는

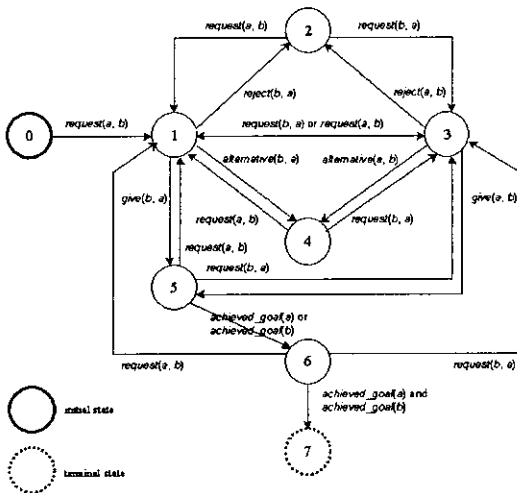
argument를 만들어 그 제안을 평가한다. Argumentation 시스템은 BDI modality와 Argumentation Consequence Relations(ACR)를 사용한 시스템으로 예를 들어, ACR들 중의 하나인

$$\rightarrow\text{-E} \frac{\Delta \vdash_{ACR} (p, B) \quad \Delta \vdash_{ACR} (p \rightarrow q, A)}{\Delta \vdash_{ACR} (q, A \cup B)}$$

는 p 와 $p \rightarrow q$ 에 대한 argument들로부터 q 에 대한 argument를 만드는 것이다. 여기서 Δ 는 지식베이스, A 와 B 는 각각 사실 p 와 규칙 $p \rightarrow q$ 를 표시하는 레이블이다. 한편 FIPA ACL 사양은 대화 이론에 기초하여 agree, cfp, inform, propose, request 등과 같은 통신 행위들의 집합을 제안하고[3], Agent Unified Modeling Language(AUML)를 사용하여 FIPA interaction 프로토콜들을 표현한다[4]. FIPA ACL 의미론이 목표와 의도의 개념을 포함하고 있지만, 다른 에이전트의 행위에 영향을 미치게 하는 통신 행위는 request이며 이것의 인수는 목표가 아니라 행위이다. 본 연구에서는 다른 에이전트가 어떤 행위를 수행하도록 요청하기 위해 FIPA request 프로토콜의 변형을 고려할 것이다.

3. BDI 에이전트를 위한 협상 프로토콜

본 연구에서 사용하는 협상 프로토콜은 <그림 1>과 같으며, 이 협상 프로토콜을 요약하면 다음과 같다: 어떤 에이전트가 초기 요청을 하는 경우 협상이 시작되며, 다른 에이전트는 수신된 요청을 수용하거나, 거부하거나, 혹은 역요청을 하게 된다. 이러한 과정은 요청 또는 역요청이 관련된 모든 에이전트들에게 수용 가능하게 될 때까지 혹은 일치에 이르지 못하고 협상이 결렬될 때까지 계속된다



<그림 1: BDI 에이전트의 협상 프로토콜>

그리고 본 연구에서는 수용거부의 조건으로 자신의 목

표 달성을 위해 가지고 있어야 자원을 상대방 에이전트가 요청한 경우와 반대(rebutting)의 개념을 사용한다.

3.1 통신언어

협상은 공유된 통신언어를 사용한 메시지의 교환을 통해 이루어진다. FIPA ACL 사양은 에이전트의 정신적 태도(mental attitude)를 반영하는 메시지들로 구성되어 있는데, 이러한 통신행위들은 전자상거래 시스템에 보다 적합한 것처럼 보인다. 한편 Wooldridge와 Parsons는 멀티 에이전트 협상을 위해 논리기반 언어를 사용할 때 발생하는 success problem과 guaranteed success problem을 살펴보고, 협상을 위한 보다 복잡한 언어들(classical propositional logic, language for electronic commerce, negotiation meta-language)을 고려하였다[7].

메시지의 실제적인 교환은 협상에 참여하는 에이전트들의 개인적인 필요, 목표, 혹은 정신적 태도에 의해 유도된다. 협상에 관련된 에이전트들의 식별자들의 집합을 Agents로, 목표들의 집합을 Goals로, 자원들의 집합을 Resources로 표시한다.

정의 1. $a1, a2 \in Agents, g \in Goals$, 그리고 $r \in Resources$ 라 할 때 통신언어 CL 을 다음과 같이 정의한다:

- $request(a1, a2, g, r) \in CL$
- $give(a1, a2, r) \in CL$
- $reject(a1, a2, g, r) \in CL$
- $alternative(a1, a2, g, subgoals) \in CL$
- $achieved_goal(a1, a2) \in CL$

3.2 메시지의 생성

메시지의 해석은 협상상태 전이를 구현하고 메시지의 생성은 특별한 상황에서 취할 메시지를 결정한다. 그러나 이러한 과정은 에이전트가 속한 영역과 에이전트의 내부 구조에 크게 의존한다.

정의 2. 에이전트 $a1$ 으로부터 메시지를 받은 에이전트 $a2$ 를 가정하고 (정의 1)의 통신언어를 가정하면, 에이전트 $a2$ 가 사용할 메시지 생성함수를 다음과 같이 정의할 수 있다:

If goal g satisfies the conditions of unacceptability and there exists an alternative to achieving g , $G(request(a1, a2, g, r)) = alternative(a2, a1, g, subgoals)$

If g satisfies the conditions of unacceptability and there does not exist an alternative, $G(request(a1, a2, g, r)) = reject(a2, a1, g', r)$ or make a counter-request

If g does not satisfy the conditions of unacceptability, $G(request(a1, a2, g, r)) = give(a2, a1, r)$ — ①

If $a2$ has received an alternative, $G(alternative(a1, a2, g, subgoals)) = make\ a\ replanning$ — ②

If $a2$ has received resources r ,

$G(give(a1, a2, r)) = continue\ planning - ③$

If a request was rejected by $a1$,

$G(reject(a1, a2, g, r)) = search\ an\ alternative$

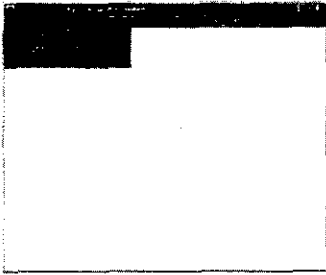
If $a1$ has notified its goal achievement,

$G(achieved_goal(a1, a2)) = make\ a\ replanning - ④$

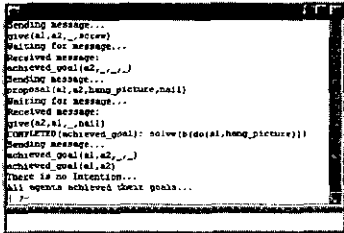
추가적으로 ①, ②, ③, ④인 경우에 에이전트 $a2$ 는 자신의 지식베이스를 수정하여야 한다.

3.3 협상 프로토콜의 구현 및 비교

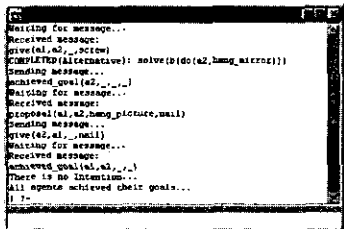
<그림 2>에서 예제 에이전트 $a1$ 과 $a2$ 를 생성한다. $a1$ 은 그림을 걸려고 하지만($it(do(a1, hang_picture))$) 못을 갖고 있지 않다. 한편 $a2$ 는 거울을 걸려고 하지만 망치를 갖고 있지 않다. $a1$ 은 자신의 목표를 달성하기 위해 먼저 질의어 $?-solve(b(do(a1, hang_picture)))$ 를 해결하려 한다. 이제 목표 충돌을 일으키는 두 에이전트들은 서로 협상을 진행한다. <그림 3>과 <그림 4>는 이러한 협상 과정은 나타내며 결국 $a1$ 과 $a2$ 는 협상을 통해 상호 수용 가능한 합의 상황에 도달하고 각자의 목표를 달성하게 된다.



<그림 2: 예제 에이전트의 생성>



<그림 3: a1의 협상과정>



<그림 4: a2의 협상과정>

CNP는 에이전트들의 목표 충돌을 허용하지 않으며, 매니저 에이전트가 모든 협상을 담당하게 된다. 여기서의 BDI 에이전트 협상 프로토콜은 CNP와는 달리 목표가 충돌하는 에이전트들을 가정하고, 매니저 역할을 담당하는 에이전트를 통하지 않고 에이전트 사이의 협상이 가능함을 보였다. Argumentation 시스템은 수신한 메시지에 포함된 상대방 에이전트의 argument를 자신의 입장에서 평가하는 과정을 거치게 되는데, 이 과정을 통해 argumentation 시스템은 수신한 argument에 찬성 혹은 반대하는 argument를 만들어 수신한 argument를 평가한다. 따라서 argumentation 시스템은 메시지의 해석과 생성 작업에 많은 시간을 소비한다. 그리고 자신이 만든 argument를 메시지에 추가하여 전송하기 때문에 통신의 부담이 커지게 된다. 본 논문에서의 BDI 에이전트 협상 프로토콜은 argument를 사용하지 않고도 에이전트 사이의 협상이 가능함을 보였고, 따라서 통신의 부담 역시 argumentation 시스템과 비교할 때 훨씬 줄어든다.

4. 결론

에이전트의 협상 프로토콜은 그가 속해있는 환경에 따라 다양하게 변화해야 한다. 본 연구에서는 공동의 목표 달성과 부족한 자원의 할당에 대해 협상하는 환경을 가정하였지만, 여러 형태의 전문화된 에이전트와 협상 프로토콜이 필요할 것으로 본다. 예를 들어 부족한 자원의 할당을 요구하는 에이전트, 소매 상거래 에이전트, 그리고 경매 에이전트의 협상 프로토콜들은 완전히 달라야 할 것이다. 또한 전자상거래에서의 협상 프로토콜로 이용할 수 있는 BDI 에이전트의 협상 프로토콜을 개발해야 할 것이고, 컴퓨터 네트워크에서의 에이전트의 활동성과 작업 균형을 위해 모빌 멀티에이전트 BDI 시스템을 고려해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Davis, R., and Smith, R. G., Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving, Readings in Distributed Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann, 1980.
- [2] FIPA ACL Message Structure Specification, <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/>, 2000.
- [3] FIPA Communicative Act Library Specification, <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/>, 2000.
- [4] FIPA Interaction Protocol Library Specification, <http://www.fipa.org/specs/fipa00025/>, 2000.
- [5] Muller, H. J., Negotiation Principles, Foundations of Distributed Artificial Intelligence, Wiley & Sons, 1996.
- [6] Parsons, S., Sierra, C., and Jennings, N. R., Agents that Reason and Negotiate by Arguing, Journal of Logic and Computation 8(3), 1998.
- [7] Wooldridge, M., and Parsons, S., Languages for Negotiation, Proceedings of the Fourteenth European Conference on Artificial Intelligence, 2000.