

Study on the Illocutionary Effect-Based FIPA-ACL Semantics

Ja Rok Koo[†]

ABSTRACT

One of the most important aspects of the research on multi-agent systems is the definition of agent communication languages(ACLs) and the specification of a proper formal semantics of ACLs. In this paper, we propose an illocutionary effect-based FIPA-ACL semantics which overcomes the two traditional semantic approaches. The key idea of this new semantics is based on the semantic concepts of success and satisfaction conditions of illocutionary acts in speech act theory, and the common ground theory-based framework. As case studies using this new semantics, we define the primitive speech acts of FIPA-ACL such as inform and request. For the strengths of the proposed approach we illustrate our new semantics on an e-commerce agent purchase negotiation. Also, we compare this approach with two traditional semantic approaches for ACLs.

Keywords : Agent Communication Languages, Common Grounds, FIPA-ACL, Illocutionary Effect, Speech Act Theory

언표내적 효과 기반의 FIPA-ACL 의미론 연구

구 자 록[†]

요 약

다중에이전트 시스템에서 매우 중요한 연구 분야 중 하나는 에이전트소통언어(ACL)의 정의와 ACL의 적당한 공식적 의미론의 제시이다. 본 논문에서는 기존의 두 개의 의미론적 접근방식을 뛰어넘는 언표내적 효과 기반의 FIPA-ACL의 의미론을 제안한다. 제안한 의미론의 주요 개념은 언화행위이론의 언표내적 행위의 성공과 만족조건에 대한 의미론적 개념과 공통근거 기반의 프레임워크에 기초하고 있다. 제안한 의미론을 사용하여 사례연구로 inform과 request와 같은 FIPA-ACL의 대표적인 언화행위를 정의한다. 제안된 의미론의 강점을 보이기 위하여 자동차 판매자와 잠재 고객 간의 전자상거래 에이전트 구매협상을 응용 예로 제시한다. 그리고 기존의 의미론적 방식들과의 비교를 보인다.

키워드 : 에이전트소통언어, 공통근거, FIPA-ACL, 언표내적 효과, 언화행위이론

1. 서 론

에이전트소통언어(Agent Communication Language: ACL)의 설계와 ACL 언어의 공식화된 의미론(formal semantics)은 에이전트 및 다중 에이전트 시스템의 중요한 연구 분야 중의 하나가 되어왔다. 그러한 언어는 대부분 Searle과 Vanderveken의 언화행위이론(speech act theory)에 근거하고 있으며, 소프트웨어 에이전트 또는 로봇을 포함하는 응용뿐만 아니라, 웹서비스와 같은 소통을 필요로 하는 다른 소프트웨어 요소들에도 깊은 연관관계가 있다. 다양한 ACL 중에서도 FIPA-ACL이 여전히 중요한 표준이 되고 있으며, 에이전트 상호작용 프로토콜에서 널리 사용되고 있다[1-5].

그런데, FIPA-ACL은 논란의 대상이 되는 하나의 특징을 갖고 있는데, 즉 언화행위의 의미론이 개별 에이전트의 정신적인 상태(mental states)로 정의된다는 것이다. 예를 들어, FIPA-ACL에 따르면, 에이전트 i 가 에이전트 j 에게 명제 ϕ 를 알리고자 할 때($\langle i, j, \text{inform}, \phi \rangle$), 언화행위의 효과는 에이전트 j 가 ϕ 를 믿기 시작하는 것이다. 그러한 효과를 얻기 위해 예를 들면 i 가 진실되고 수준이 만족하다고 j 가 믿도록 가설을 세우지만, 해당 문맥에서 j 는 자율적이기 때문에 ϕ 를 믿지 않을 수 있으며, 어떤 경우에는 i 또는 다른 에이전트와 시스템 설계자가 j 가 ϕ 를 믿기 시작한 것이 사실인지 아닌지조차 검증할 수 없다. 따라서 개인의 정신적 성향 기반의 프레임워크(mentalistic attitude-based framework)는 공식적인 검증을 할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 여기서 가설은 에이전트들에 대한 진실성 조건(sincerity condition)을 의미하는데, 개인의 정신적 성향 기반의 프레임워크에서는 너무 강해서 에이전트 설계자들로 하여금 특별한 종류의

[†] 정 회 원 : 울산대학교 전기공학부 부교수
Manuscript Received : November 16, 2015
First Revision : December 7, 2015
Accepted : December 7, 2015
* Corresponding Author : Ja Rok Koo(koorok@ulsan.ac.kr)

에이전트를 사용하도록 제한하고 있으며, 개방된 환경(open environment)에서는 다른 에이전트들에게 개인의 정신적 성향을 강요할 수 없다.

이에 반해, 사회적 책임이행 기반의 프레임워크(social commitment-based framework)에 기초한 의미론은 대화의 지향성이 공공 및 사회적 관점에서 이뤄지고 있어서 개인의 정신적 성향 프레임워크의 문제점을 해결하지만, 에이전트들의 개인적인 성향과의 연관관계뿐만 아니라, 사회적 책임이행의 의미에 대한 의견일치가 없어서 그 공식적인 의미론은 명확하지 않다. 예를 들면, 하나의 에이전트가 언화행위 a_1 과 a_2 의 수행을 책임졌을 때, 그 에이전트는 반드시 a_1 을 책임지고 수행해야 하는지, 또는 $\varphi_1\varphi_2$ 와 같은 하나의 명제적 책임이행(propositional commitment)이 φ_1 에 대한 책임이행을 암시하는지, 그리고 개인의 정신적 성향이 이러한 책임이행에 고려되지 않았기 때문에 에이전트 구조의 책임이행에 대한 내적 관리가 명확하지 않다. 물론, 가설은 공공 및 사회적 지향성이 고려되기 때문에 정신적 성향의 의미론과는 달리 강한 조건이 필요하지 않다[4, 6].

본 논문에서는 대화의 지향성(communication intentionality)이 사회적 책임이행의 공공성(social commitment attitudes)과 개인의 정신적 성향의 공적 지향성(public mentalistic attitudes)을 모두 포함하며, 해당 의미론은 공통근거이론(common ground theory)에 기초하고 있는 공통근거 기반의 프레임워크를 ACL 의미론의 이론으로 제안하고자 한다. 가설은 역시 공공 및 개인의 공적 지향성이 고려되기 때문에 강한 조건이 필요하지 않다.

서론에 이어 2장에서 언화행위이론과 언화행위의 성공 및 만족 조건, 그리고 공통근거이론에 대해 살펴본다. 3장에서 공통근거이론 기반의 프레임워크와 언표내적 효과 기반의 의미론을 제안하고, 사례연구로 이 프레임워크를 FIPA-ACL의 대표적인 inform, request 언화행위(speech acts)에 대해 적용하며, 응용 예로 전자상거래(e-commerce) 에이전트 물건 구매협상(agent purchase negotiation)을 제시한다. 또한 본 논문에서 제안한 프레임워크를 ACL의 대표적인 주요 의미론인 개인의 정신적 성향 기반의 프레임워크와 사회적 책임이행 기반의 프레임워크와 비교분석한다.

2. 관련 연구

2.1 언화행위이론

언화행위이론은 단어들이 정보를 제공하는데 활용될 수 있을 뿐만 아니라 행위를 실행할 수 있는 방법에 관련이 있는 화용론(pragmatics)의 한 분야이다. 언화행위이론은 Searle이 발전시켰는데, 하나의 언화행위는 다음과 같은 행위들을 수행한다[7, 9]. 발화행위(locutionary acts)는 화자에 의한 물리적인 발화(음성)를, 언표내적 행위(illocutionary acts)는 화자에 의한 발언의 의도적인 의미(intended meaning)를, 언표외적 행위(perlocutionary acts)는 화자에 의한 발화행위의 결과를 말한다. 언표내적 행위의 중요한 요소인 언표내적

힘(illocutionary force)은 언화행위의 동기와 목표 또는 의도(intentions)를 나타낸다. 언표내적 힘은 6개의 요소로 구성되어 있는데, 언표내적 요점(illocutionary point), 언표내적 요점의 성취방식(mode of achievement of an illocutionary point), 명제내용(propositional content), 준비 및 성실성조건(preparatory and sincerity conditions), 그리고 강한 정도(degree of strength)이다. 그런데, 언표내적 힘의 6가지 유형의 구성요소, 기본적인 언화행위의 성공 및 만족조건(conditions of success and satisfaction), 그리고 언표내적 힘에 의한 언어학적 목적 사이에는 논리적인 연관관계가 존재한다. 다시 말해, 언표내적 힘의 서로 다른 구성요소들은 언화행위의 다양한 성공조건 또는 만족조건을 결정하는데, 이는 결과적으로 다양한 언어학적 목적, 예를 들면 본 논문의 근간을 이루는 의미론의 기초를 제공한다. 한편, Searle과 Vanderveken에 주장하는 바에 따르면, 언화행위에는 5가지 기본 언표내적 요점(illocutionary point)이 존재하는데, 주장하기(assertive point), 위임하기(commisive point), 명령하기(directive point), 선언하기(declarative point), 표현하기(expressive point)가 그것들이다[3, 5, 8].

2.2 언화행위의 성공 및 만족조건

먼저, 언표내적 힘의 구성요소 관점에서의 분석에 따라, 하나의 언화행위 $F(P)$ 는 언표내적 힘 F 와 명제내용 P 를 갖는데, 그 성공조건은 자연스럽게 다음과 같은 일반적인 의미론으로 정의된다[8].

- 화자는 F 의 성취방식으로 명제 P 에서 F 의 언표내적 요점을 성취하고, 그 문맥에서 F 의 명제내용조건을 만족시킨다.
- 화자는 F 의 준비조건에 의해 결정되는 명제 $K_i(P)$ 를 상정한다(presuppose).
- 화자는 성실성조건 F 에 의해 결정되는 심리적 방식(m)의 정신적 상태 $m(P)$ 를 F 의 강한 정도로 표현한다.

예를 들면, 화자가 청자에게 어떤 발언의 문맥에서 화자를 도와달라고 재촉을 하는 *urge*(명령하기 요점<directive point>)의 하나의 언화행위에 대해 의미론적 해석을 하면 다음과 같다.

- 화자의 발언의 요점은 청자에게 그를 돕도록 시도하는 것이다(언표내적 요점).
- 이러한 시도에서, 화자는 청자에게 거절할 수 있는 선택권을 남긴다(성취방식).
- 발언의 명제내용조건은 청자가 미래의 행위를 실행하는 것이다(명제내용조건).
- 화자는 그를 도울 수 있으며, 그를 도울 이유를 가지고 있음을 상정한다(준비조건).
- 마지막으로, 화자는 청자가 그를 돕기를 긍정적인 강한 정도로 표현한다(성실성조건과 강한 정도).

그런데, 화자는 거짓으로 밝혀진 명제를 상정할 수 있으며, 그가 갖고 있지 않은 심리적 상태를 표현할 수도 있다.

따라서 언표내적 행위의 성공적인 이행은 논리적인 관점에서 결함이 있을 수 있다. 일반적인 의미론에서, $F(P)$ 형태의 하나의 언표내적 행위는 어떤 발언의 문맥에서 성공적으로 수행되고, 또한 준비 및 성실성조건이 만족된다면 그 문맥에서 결함이 없이 수행된다고 말할 수 있으며, 이러한 모든 비결함 수행의 언표내적 행위들은 성공적이라고 할 수 있다.

다음은, $F(P)$ 형태의 하나의 기본적인 언표내적 행위의 만족조건은 그 행위의 명제내용의 진리조건(truth conditions)과 그 행위의 언표내적 힘의 적용방향(direction of fit)의 함수(function)로 표현할 수 있다. 이는 명제내용을 갖는 기본적인 언표내적 행위들은 그들의 명제내용이 언어세계에서 어떤 과거, 현재, 또는 미래의 시점을 정확히 나타낼 때 만족되기 때문이다[8].

첫째, 하나의 언표내적 행위가 단어-언어세계(word-to-world) 적용방향만을 가질 경우, 그 행위의 명제내용이 그 행위의 해석에 따른 문맥에서 참이면 발언의 문맥에서 만족된다. 예를 들면, 주장하기 언표내적 행위의 만족조건은 그들의 명제내용의 진리조건과 동일하다.

둘째, 하나의 언표내적 행위가 언어세계-단어(world-to-world) 적용방향만을 가질 경우, 화자 또는 청자가 그 행위를 만족시키기 위하여 그 행위의 문맥에서 명제내용을 참으로 만든다면, 발언의 문맥에서 만족된다. 예를 들면, 주장하기 행위와 달리 위임하기 및 명령하기 언표내적 행위들은 자기언급적 만족조건을 갖는다.

2.3 공통근거이론(common ground theory)

1) 복수주어(plural subject) 관점의 집단적 믿음(group belief)

Gilbert에 따르면 집단적 지향성은 사회 집단의 개념과 밀접하게 연결되어 있다. 즉, 사회 집단의 일상적인 개념은 믿음 또는 행동의 복수주어적 개념이다. 하나의 복수주어는 하나의 개체인데, 개별 에이전트들이 특별한 방법으로 묶거나 통합할 때 형성되는 독특한 합성으로 하나의 특별한 속성을 의미한다. 이러한 특별한 속성은 의도적인 행동과 심리적인 속성들이 기인하는 하나의 주체가 될 수 있다. 복수주어가 존재하기 위한 필요충분조건을 다음과 같이 공식화할 수 있다[9-11].

개별 에이전트들 A_1, \dots, A_n 은 어떤 행위 X 또는 심리적인 속성 X 에 대하여, A_1, \dots, A_n 이 하나의 개체로써 행위 또는 속성 X 에 대한 공동책임이행(joint commitment)을 형성한다면 행위 또는 속성 X 에 대한 하나의 복수주어를 형성한다.

또한, 하나의 개체로써 행동하기 위하여 공동책임이행을 형성하는 개념을 사용하여 집단적 믿음에 대해 복수주어 개념을 적용하면 다음과 같다:

개별 에이전트들 A_1, \dots, A_n 이 하나의 개체로써 p 를 믿는 공동책임이행을 형성한다면, 개별 에이전트들 A_1, \dots, A_n 은 p 를 믿는 집단적 믿음의 복수주어를 형성한다.

2) 공통근거이론

Traum의 논문에서 시작된 근거(grounding)의 주요 개념은 대화 참가자들 서로를 이해하기 위하여 어느 정도의 공통근거(common ground)를 대화에 가져올 필요가 있다는 것이다. 공통근거는 일반적으로 대화 참가자들이 하나의 대화에서 전제로 하거나 당연하다고 생각하는 정보들이며, 대화 참가자들의 상호 공통지식과 믿음, 가정들의 합으로 정의한다. 하나의 집단에서의 공통근거를 위한 양상논리 연산을 정의하면 다음과 같다[12-16].

$AGT=(i, j, \dots)$ 는 유한한 에이전트들의 집합이며, I, J, K, \dots 는 AGT 의 부분집합을 나타낸다. $ATM=(p, q, \dots)$ 는 명제들의 집합이며, 복잡한 공식은 ϕ, ψ, \dots 로 나타낸다. 근거 모델은 가능한 세계의 집합 W 와 모든 $w \in W$ 에 대하여 평가 V_w 를 연계하는 하나의 사상 $V: W \rightarrow (ATM \rightarrow \{0, 1\})$ 를 포함한다. 가능한 세계 w 와 비공집합 $I \subseteq AGT$ 에 대해, 집단 I 의 하나의 세계 w 에서 근거가 있는 모든 명제들과 일관성이 있는 가능한 세계의 집합을 연계한다. 이 집합은 AGT 의 각 부분집단에 접근관계(accessibility relations)를 연계하는 다음의 사상으로 특징짓는다: $\mathcal{E}: 2^{AGT} \rightarrow (W \rightarrow 2^W)$. $\mathcal{E}(w)$ 는 모든 근거가 있는 명제들이 적용되는 세계를 포함한다. $G_I\phi$ 는 " ϕ 가 참이라는 사실이 집단 I 에 대해 공개적으로 근거가 있다"고 말한다. 집단 I 가 단 하나의 원소로 이뤄져 있다면, $G_{\{i\}}\phi$ 는 앞 절에서 설명한 표준 믿음 연산자 $Bel_i\phi$ 와 동일시된다. 근거가 있는 명제들의 집합과 일관성이 있는 모든 집합에서 ϕ 가 성립한다면, $G_I\phi$ 의 참 조건은 $w \models G_I\phi$ 로 나타내고, ϕ 가 w 에서 근거가 있다는 사실을 명기한다.

$$w \models G_I\phi \text{ iff } w' \models \phi \text{ for all } w' \in \mathcal{E}(w) \quad (1)$$

3. 본론 및 사례연구

3.1 공통근거이론 기반의 프레임워크

먼저, 복수주어 관점의 집단적 믿음을 구현하는 공통근거 논리를 사용하여 FIPA-ACL의 의미론을 위한 양상논리 연산자를 정의하면, 발언의 문맥(context) c 에서 집단 G 에 대한 공통근거 연산자를 CG_G^c 로 나타낸다. 공통근거 연산자들의 의미론은 양상논리의 가능한 세계의 집합 W 에서 접근관계를 사용하여 정의하는데, 모든 집단 G 와 문맥 c 에 대해, 접근관계 $\mathcal{E}_G^c \subseteq W \times W$ 를 요구한다. ϕ 가 $\mathcal{E}_G^c(w)$ 에 있는 모든 세계에서 참이면, $CG_G^c\phi$ 가 참이 된다.

$$w \models CG_G^c\phi \text{ iff } w' \models \phi \text{ for all } w' \in \mathcal{E}_G^c(w) \quad (2)$$

여기서 $\mathcal{E}_G^c(w)$ 는 하나의 세계 w 에서 공통근거모델에 일관성 있는 세계들의 집합을 의미한다. 그러면 공통근거논리에 대한 공리(axioms)를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$(D_{CG}) \quad CG_G^c\phi \rightarrow \neg CG_G^c\neg\phi$$

$$(K_{CG}) \quad CG_G^c\phi \rightarrow \psi \rightarrow (CG_G^c\phi \rightarrow CG_G^c\psi)$$

$$\begin{aligned}
(4_{CG}) \quad & CG_{AGT}\varphi \rightarrow CG_G CG_{AGT}\varphi \text{ for all } G \subseteq AGT \\
(5_{CG}) \quad & \neg CG_{AGT}\varphi \rightarrow CG_G \neg CG_{AGT}\varphi \text{ for all } G \subseteq AGT \\
(CG) \quad & \bigwedge_{i \in G} CG_i CG_G \varphi \rightarrow CG_G \varphi
\end{aligned}$$

공리(D_{CG})는 하나의 집단에서 공통근거는 일관성이 있음을 나타내는데, φ 와 $\neg\varphi$ 이 동시에 공통근거가 될 수 없음을 말한다. 공리(K_{CG})는 임의의 표준 양상논리에서 성립한다. 공리(4_{CG})와 (5_{CG})는, 하나의 집단의 공통근거는 상위 집단의 공통근거에 대한 정보를 포함하고 있음을 나타낸다. 공리(CG)는 하나의 집단의 공통근거가 해당 집단의 에이전트들의 공통근거로부터 어떻게 생성되는지를 보여준다.

3.2 언표내적 효과 기반의 의미론

FIPA-ACL의 표준 의미론에서는 하나의 언화행위의 의미론은 그 언화행위에 대한 실행가능성 전제조건(FP: feasibility preconditions)과 합리적 효과(RE: rational effects)를 제공함으로써 나타낸다. FP는 해당 언화행위를 실행하기 위해 만족시켜야 할 논리적인 조건을 나타내고, RE는 성공적인 언화행위의 수행 뒤 만족하는 조건을 나타낸다. 다시 말해, FP는 언화행위를 수행하는 화자의 능력과 언화행위의 문맥 종속관계(context-dependent relevance)를 특징짓고, RE는 언화행위에 대해 바라는 바 합리적으로 기대할 수 있는 언표외적 효과(perlocutionary effects)를 나타낸다[1, 4].

본 논문에서는 FIPA-ACL의 표준 의미론과는 달리, FP와 IE(illocutionary effects: 언표내적 효과)는 공통근거이론에 기반을 둔 프레임워크에서 개별 에이전트의 정신적인 성향에 대하여 언급하는 것이 아니라, 집단적 믿음의 공적성향의 공통근거를 사용하여 FIPA-ACL의 전제조건(FP)과 합리적 효과(RE)를 나타낸다. 구체적으로 2.1, 2.2절에서 언급한 바와 같이, ACL의 기본적인 언표내적 행위 $F(P)$ 는 언화행위의 성공조건과 만족조건을 결정하도록 한다. 즉, 6개의 구성요소로 이뤄진 언표내적 힘에서 5가지의 기본 언표내적 요점과 언표내적 요점의 성취방식, 명제내용, 준비 및 성실성조건, 그리고 강한 정도를 고려한 다양한 논리적인 연관관계를 사용하여 FP와 IE를 나타내고, 공통근거이론에 기반을 둔 프레임워크로 FIPA-ACL의 의미론을 재구현 한다.

3.3 사례연구

에이전트소통언어의 하나인 FIPA-ACL의 언화행위 중 대표적인 inform, request 행위에 대해 3.1, 3.2절의 공통근거이론 기반의 프레임워크와 언표내적 효과 기반의 의미론을 적용해 본다. 먼저, FIPA-ACL에서와 달리 하나의 언화행위를 5개의 항목으로 이뤄진 다음의 형태로 정의한다.

$$\langle i, J, K, FORCE, \varphi \rangle$$

$i \in AGT$ 는 언화행위의 화자(speaker) 에이전트이고, $K \subseteq AGT$ 는 대화를 정청하는 에이전트들의 집단이고, $J \subseteq K \setminus \{i\}$ 는 청자(addressed) 에이전트들의 집합이며, $FORCE$ 는 하나의 언화행위의 동기와 목표 및 의도를 표시하는 언표내적

힘을 나타내고, φ 는 명제를 나타낸다.

여기서 언화행위의 청자 에이전트들의 집합 J 와 대화에 참여하고 있는 집단 K 의 구별은, 언화행위들의 FIPA-ACL과 유사한 특징, 즉 하나의 화자 에이전트가 K 의 부분집합 J 에게 대화를 할 때, 언화행위의 성공조건은 J 에게만 적용되지만, 그 효과는 전체 집단 K 에 대해서도 얻을 수 있다는 것이다[6, 8].

먼저 inform의 의미론을 시작한다. inform은 청자 에이전트가 φ 를 이미 알고 있지 않다는 준비조건을 갖는 assert의 언표내적 힘인데, 이를 화자 에이전트가 주어진 명제 φ 가 참임을 청자 에이전트들의 집합 J 에게 적용하면[6, 8],

$$\langle i, J, K, \text{inform}, \varphi \rangle$$

$$FP: \neg CG_K CG_i \varphi \wedge \neg CG_K CG_J \varphi \wedge$$

$$\neg CG_K \neg CG_J \varphi \wedge \neg CG_K Int_i CG_J \varphi$$

$$IE: CG_K CG_i \varphi \wedge CG_K Int_i CG_J \varphi \wedge CG_K CG_J \varphi$$

FP에서 $\neg CG_K CG_i \varphi$ 는 inform 행위가 실행되기 이전에 화자 에이전트가 φ 를 믿는다는 사실을 공지하지 않았음을 나타내고, $\neg CG_K CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 inform된 것을 이미 믿고 있다는 사실이 공지되지 않았음을, $\neg CG_K \neg CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 이미 알고 있지 않다는 사실이 공지되지 않았음을, $\neg CG_K Int_i CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 믿도록 하는 화자 에이전트의 개인적인 의도가 공지되지 않았음을 나타낸다. IE에서 $CG_K CG_i \varphi$ 는 언화행위의 성공적인 수행의 결과로 화자 에이전트가 φ 를 믿는다는 사실이 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타내는 준비조건이고, $CG_K Int_i CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 믿도록 하는 화자 에이전트의 개인적인 의도가 공지되었음을 나타내는 성실성조건이며, $CG_K CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 믿는다는 사실이 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타낸다.

다음은 request의 의미론을 공통근거를 사용하여 기술한다. request는 청자 에이전트들의 집합으로 하여금 어떤 행위를 수행해야 하는 화자 에이전트의 의도를 표현하도록 하는 준비조건을 갖는 direct의 언표내적 힘에 해당한다[6, 8]. 여기서는 RequestEach에 대해서만 정의를 한다.

$$\langle i, J, K, \text{request}, a \rangle$$

FP:

$$\neg CG_K Int_i \bigwedge_{j \in J} Done(j.a) \wedge (\neg CG_K \bigwedge_{j \in J} Int_j Done(j.a))$$

$$\wedge (\neg CG_K Int_i Future \bigwedge_{j \in J} Done(j.a))$$

IE:

$$CG_K Int_i (\bigwedge_{j \in J} Done(j.a)) \wedge CG_K Future (\bigwedge_{j \in J} Done(j.a))$$

FP의 $\neg CG_K Int_i \bigwedge_{j \in J} Done(j.a)$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 로 하여금 어떤 행위를 수행해야 하는 화자 에이전트의 의도를 표현하기 위해서는 공적인 정신적 성향(public mental

attitude)이 일관성을 유지해야 함을 나타낸다. $(\neg CG_K \bigwedge_{j \in J} Int_j Done(j.a))$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 a 를 의도한다는 것이 K 에 대해 공통근거화 되지 않음을 나타낸다. $(\neg CG_K Int_i Future \bigwedge_{j \in J} Done(j.a))$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 미래에 어떤 행위를 하도록 화자 에이전트가 의도한다는 것이 K 에 대해 공통근거화 되지 않음을 나타낸다.

IE에서 $CG_K Int_i (\bigwedge_{j \in J} Done(j.a))$ 는 언화행위의 성공적인 수행의 결과로 화자 에이전트가 청자 에이전트들의 집합 J 가 a 를 수행하도록 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타내는 성실성조건이고, $CG_K Future (\bigwedge_{j \in J} Done(j.a))$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 미래에 어떤 행위 a 를 하는 것이 K 에 대해 공통근거화 되었음을 나타낸다.

3.4 응용 예 및 비교분석

대표적인 응용 예로 전자상거래(e-commerce) 에이전트 물건 구매협상(agent purchase negotiation)의 예를 예시한다. 세 개의 에이전트로 구성된 $AGT = \{s_i, b_1, b_2\}$ 는 자동차 판매자와 잠재 고객을 나타낸다. 자동차 모델에는 β_1 과 β_2 이 있다. 구매협상을 위한 대화의 순차적인 과정을 다음의 형태로 표시한다.

대화번호 화자 → 청자: 언화행위 설명
 언화행위(message)
 효과(effect)

먼저 앞 절에서 정의한 5개의 항목으로 구성된 언화행위를 사용하여 구매협상의 일부분을 나타내면 다음과 같다.

$U_i \ s_i \rightarrow \{b_1, b_2\}$: 대화 시작
 $\langle s_i, \{b_1, b_2\}, \{s_i, b_1, b_2\}, request, enterDialogue(\beta_1) \rangle$
 효과:
 $CG^c \{s_i, b_1, b_2\} Int_{s_i} (Done(b_1: \beta_1) \wedge Done(b_2: \beta_1))$
 $\wedge CG^c \{s_i, b_1, b_2\} Future (Done(b_1: \beta_1) \wedge Done(b_2: \beta_1))$
 $U_{i+1} \ b_2 \rightarrow \{s_i\}$: 구매협상
 $\langle b_2, \{s_i\}, \{s_i, b_2\}, agree, \beta_1 \rangle$
 $U_{i+2} \ s_i \rightarrow \{b_1, b_2\}$: 할인정보
 $\langle s_i, \{b_1, b_2\}, \{s_i, b_1, b_2\}, inform, discounts \rangle$
 효과:
 $CG^c \{s_i, b_1, b_2\} CG^c s_i discounts \wedge$
 $CG^c \{s_i, b_1, b_2\} Int_{s_i} CG^c \{b_1, b_2\} discounts \wedge$
 $CG^c \{s_i, b_1, b_2\} CG^c \{b_1, b_2\} discounts$

여기서, 위의 예를 기존의 FIPA-ACL로 표현한다면, 우선 에이전트 s_i 가 에이전트들의 집합 $\{b_1, b_2\}$ 에게 할인정보 ($discounts$)를 알리고자 할 때 (U_{i+2}), $\langle s_i, b_1, b_2, inform, discounts \rangle$, $\langle s_i, b_2, inform, discounts \rangle$ 와 같이 연속된 2개의 언화행위로

표현할 수 있지만, 1장의 서론에서 설명한 바와 같이 기존의 FIPA-ACL 표기에 따른 의미론은 개별 에이전트들의 자율적인 정신적 성향에 종속되므로 공식적인 검증을 할 수 없으며, 또한 대화에 참여하는 에이전트들의 집합 $\{s_i, b_1, b_2\}$ 의 집단적 지향성(2.3절)을 구현할 수 없어서 사회적 책임이행의 공공성을 구현할 수 없다.

이에 반해, 본 논문에서 제안한 공통근거이론과 언표내적 효과에 기반을 둔 프레임워크는 응용 예에서와 같이 개인의 정신적 성향의 공적 지향성과 사회적 책임이행의 공공성을 모두 포함하고 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 프레임워크와 기존의 타 프레임워크와의 차이점을 비교, 정리하면 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Comparative Analysis of Frameworks

FW	Intentionality	Semantics	Verification	Hypothesis	address-ee
A	private	mentalist	no	strong	single
B	public/social	no formal	yes	weak	single
C	public/social	common ground logic	yes	weak	group

FW: FrameWork

A: Private mentalistic attitude-based framework

B: Social commitment based-framework

C: Common ground based-framework (proposed)

본 논문에서 제안한 새로운 의미론의 장점을 정리하면 다음과 같다.

- 검증가능하며, 자율적인 에이전트는 물론, 결함이 있는 에이전트들에게도 적합하다.
- 공식화가 충분히 가능하다.
- BDI(Belief, Desire, Intention)의 확장에 기초를 둔다.
- 단일 청자로부터 에이전트들의 집합까지 일반화 할 수 있으며, 대화를 결정하는 에이전트들의 집단과 구별이 가능하며, FIPA 언화행위를 재정의 한다.
- 마지막으로, 인간의 언화행위이론에 기반을 둔 의미론이기 때문에 인간-에이전트 사이의 소통언어로 활용가능하다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 의미론적 접근방식을 뛰어넘는 언표내적 효과 기반의 FIPA-ACL의 새로운 의미론을 제안하였다. 의미론의 주요 개념은 언화행위이론의 언표내적 행위의 성공과 만족조건에 대한 의미론적 개념과 공통근거 기반의 프레임워크에 기초하고 있다. 우선, 일반적인 언화행위이론과 언화행위의 의미론적 성공 및 만족 조건, 그리고 집단적 믿음에 대한 복수주어적 관점에서의 공통근거이론에 대해 살펴보았다. 본 논문에서 제안한 프레임워크는 대화의

지향성이 사회적 책임이행의 공공성과 개인의 정신적 성향의 공적 지향성을 모두 포함함으로써 다중에이전트의 공개 시스템에서 기존의 개인의 정신적 성향 기반의 의미론 접근법과 사회적 책임이행 기반의 의미론 접근법보다 더 우수함을 보였다. 사례연구로 이 프레임워크를 FIPA-ACL의 대표적인 inform, request 언화행위에 대해 적용하였고, 또한 이러한 프레임워크를 적용할 수 있는 FIPA-ACL의 언화행위의 대표적인 응용 예로는, 에이전트 물건 구매협상뿐만 아니라, Walton&Krabbe 대화게임(dialogue games)[17], 그리고 FIPA Contract Net Protocol(CNP)[18] 등을 들 수 있다. 마지막으로, ACL의 기존의 대표적인 주요 의미론인 개인의 정신적 성향 기반의 프레임워크와 사회적 책임이행 기반의 프레임워크와 비교분석하였으며, 제한한 의미론의 장점을 정리하였다.

References

- [1] FIPA, "FIPA Communicative Act Library Specification," <http://www.fipa.org>, Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002.
- [2] J. R. Searle, "Speech acts: An essay in the philosophy of language," Cambridge University Press, pp.54-71, 1969.
- [3] J. R. Searle, D. Vanderveken, *Foundations of illocutionary logic*, Cambridge University Press, pp.1-26, 1985.
- [4] B. Gaudou, A. Herzig, and D. Longin, M. Nickles, "A New Semantics for the FIPA Agent Communication Language based on Social Attitudes," *17th European Conf. on Artificial Intelligence*, pp.245-249, 2006.
- [5] Hans Madsen Pedersen, "Speech Acts and Agents-A Semantic Analysis," PhD. Dissertation, 2002.
- [6] B. Gaudou, "Formalizing social attitudes in modal logic," PhD. Dissertation, 2008.
- [7] J. R. Austin, "How to Do Things With Words," Oxford, UK, 1962.
- [8] D. Vanderveken, "Principles of language use, Vol.1 of Meaning and Speech Acts," Cambridge University Press, pp.103-227, 1990.
- [9] R. Hakli and S. Negri, "Reasoning about collectively accepted group beliefs," *Journal of Philosophy Logic*, Vol.40, pp.531-555, 2011.
- [10] M. Gilbert, "On Social Facts," Princeton University Press, pp.204-214, 1989.
- [11] M. Gilbert, "Collective Epistemology," *Episteme*, Vol.1, Issue 02, pp.95-107, Oct., 2004.
- [12] B. Gaudou, A. Herzig, and D. Longin, "Group belief and grounding in conversation," A. Trognon et al.(ed.), *Language, Cognition, Interaction*, pp.1-31, 2008.
- [13] B. Gaudou, A. Herzig, and D. Longin, "Grounding and the expression of belief," *Proceedings of the Tenth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pp.221-229, AAAI Press, 2006.
- [14] B. Gaudou, A. Herzig, and D. Longin, "A logical framework for grounding-based dialogue analysis," *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Vol.157, No.4, pp.117-137, 2006.
- [15] J. Pfau, L. Sonenberg, and Y. Kashima, "Towards a computational formalism for a grounding model of cultural transmission," *Proceedings of the 2012 ASE/IEEE International Conference on Social Computing*, pp.383-391, 2012.
- [16] D. R. Traum, "Computational theory of grounding in natural language conversation," PhD. thesis, Computer Science Department, University of Rochester, pp.1-175, 1994.
- [17] Douglas N. Walton, Erik C. W. Krabbe, "Commitment in Dialogue: Basic Concepts of Interpersonal Reasoning," State University of New-York Press, NY, 1995.
- [18] FIPA, "FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification," <http://www.fipa.org>, Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002.



구 자 록

e-mail : koorok@ulsan.ac.kr

1985년 서울대학교 계산통계학과(학사)

1987년 서울대학교 계산통계학과(석사)

1989년 서울대학교 전산과학과 박사수료

1989년~현 재 울산대학교 전기공학부

부교수

관심분야: Multi-agent Systems & Artificial Intelligence