

The Plural Subject Account of Group Beliefs Using Grounding Concept

Ja-Rok Koo *

Abstract

In this paper, we propose a plural subject account of group beliefs using grounding concept, which bridges the gap between the two main approaches of ACLs, the mentalistic accounts and the social commitment accounts. The key idea of this Gilbert's plural subject account of group beliefs is to extend the grounding logic into the common ground framework for the semantics of ACLs which is fully verifiable, fully formalized and easily applicable. Thus, we formalize the proper group belief concept using common ground framework and we define the semantics of the primitive speech acts of FIPA-ACL such as inform, request and confirm as case studies. Also, we illustrate our framework on an e-commerce agent purchase negotiation and compare this proposed framework with two traditional semantics for ACLs.

▶ Keyword : collective intentionality, common grounds, FIPA-ACL, group beliefs, joint commitments, plural subjects, speech acts

I. Introduction

지식(knowledge), 믿음(belief)과 같은 개념들은 컴퓨터 인공지능의 한 분야인 에이전트(agent)와 다중 에이전트 시스템(multi-agent systems)의 행위를 분석하는 데 있어서 매우 중요한 요소들이다. 양상논리(modal logics)는 이러한 개념들을 모델링하고 연구하는 하나의 자연스럽고 직관적인 이론적 프레임워크를 성공적으로 제시하고 있다[1, 2]. 최근 들어 에이전트들의 집단적 지식과 믿음 또한 중요한 이슈가 되고 있다. 예를 들면, 대화의 장, 물건을 흥정하는 시장(전자상거래), 또는 분산 시스템에서 프로세스들에 의한 프로토콜 수행의 경우 이러한 에이전트들 사이의 상호작용이 집단적 지식과 믿음을 중심으로 이뤄지고 있음을 알 수 있다[3].

집단적 지식과 믿음의 추론을 공식화하는 시도는 사회과학 이론에서 출발하였는데, 특히 선호도(preferences) 및 판단(judgements)과 같은 개인적 성향들(individual attitudes)을 결합하여 집단적 성향(collective attitudes)을 연구하는 사회적

선택이론이 그것이다. 또한 한동안 개인적 성향과 공유믿음(shared beliefs), 상호믿음(mutual beliefs), 분산지식(distributed knowledge), 그리고 공통지식(common knowledge) 등으로 정의될 수 있는 누적 집단적 성향(summative collective attitudes)에 연구의 초점이 맞춰져 있었는데, 최근 들어 집단적 믿음(group beliefs)과 같은 비누적 집단적 성향(non-summative collective attitudes)이 주목을 받고 있다[4-7].

집단적 믿음은 집단의 개별 에이전트들에게 구속력을 갖게 하여, 예를 들면, '집단 A는 유전자 조작 음식이 안전하여 금지해서는 안 된다고 믿는다'의 경우, 집단 A를 구성하는 모든 에이전트들이 이 믿음을 마치 개인적인 믿음으로 여기고 행동하도록 하고 있다. 이는 집단 A의 하나의 에이전트가 집단 A의 다른 구성원들과는 별개로 어떤 이유로 믿음을 달리 할 경우 이러한 집단적 믿음은 누적 집단적 성향으로는 설명할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 비누적 집단적 지향성(collective intentionality)의 하나인 집단적 믿음(group beliefs)에 대한 논리적인 공식을 양상논리의 가능세계 의미론(possible world

• First Author: Ja-Rok Koo, Corresponding Author: Ja-Rok Koo

*Ja-Rok Koo(koork@ulsan.ac.kr), School of Electrical Engineering, University of Ulsan

• Received: 2015. 09. 07, Revised: 2015. 10. 15, Accepted: 2015. 11. 12.

semantics)을 이용하여 제시하고자 한다. 우선 집단적 믿음에 대한 정의를 비누적 집단적 성향을 잘 설명하는 Gilbert의 복수주어(plural subject) 개념으로 재해석하고, 복수주어 개념을 공통근거(common ground)논리를 기반으로 하는 새로운 프레임워크를 제안하고자 한다. 그리고 이 프레임워크를 FIPA-ACL[8]의 언화행위(speech acts) 중 대표적인 inform, request, confirm 행위에 대해 적용한다. 마지막으로 본 프레임워크를 적용한 대표적인 응용 사례로 전자상거래(e-commerce) 에이전트 물건 구매협상(agent purchase negotiation)의 예를 예시하고, 본 논문에서 제안한 프레임워크를 ACL의 대표적인 의미론인 개인의 정신적 성향 프레임워크(mentalistic attitude framework)와 사회적 책임이행 프레임워크(social commitment framework)와 비교한다.

II. Preliminaries

1. 집단적 지향성(집단적 믿음)과 복수주어 개념

지향성(intentionality)이란 수많은 정신적인 상태와 사건의 속성으로서, 그로 말미암아 그런 상태나 사건이 일상의 대상이나 상황을 의미하거나 그들에 대한 속성을 말한다[9]. 지식, 믿음과 같은 지향적인 상태(intentional states)는 개인의 생각과 두뇌에 관한 하나의 개인적 특징이라면, 초기의 회의론에도 불구하고 집단적 지향성(collective intentionality)에 대한 문제에 수많은 학자들이 관심을 기울이기 시작하였다. 이러한 논의의 핵심은 집단적 지향성의 하나인 집단적 믿음에 관한 개념인데, 개인의 지향성만으로는 집단행동을 설명하지 못하며, 집단행동은 집단적 지향성을 필요로 한다고 믿게 되었다[10].

집단적 지향성의 하나인 집단적 믿음은 집단의 구성원들이 해당 집단의 믿음으로 수용하는 것에 기반을 두는 집단적으로 의도된 성향으로 간주되고 있다[11, 12]. 따라서 집단적 믿음은 개인적인 믿음으로 축소될 수 없고, 진정한 집단성(true collective attitudes)에 기인하는데, 즉 모든 집단의 에이전트들이 A를 믿는다는 사실은 A의 집단적 믿음에 대한 필요충분조건이 아니다. 집단적 믿음은 그 집단의 에이전트들이 집단의 문맥(group context) 내에서 행동을 할 때, A를 참이라고 수용하는 것을 필요로 한다.

집단적인 성향에 대한 추론을 공식화하기 위해, 우선 개인적 믿음의 양상 연산자, $Bel_i A$ 를 정의하면 "에이전트 i 는 A가 참임을 믿는다"고 말한다. 에이전트 i 와 가능한 세계(possible world) w 에 대해, 가능한 세계들의 집합 $\mathcal{B}_i(w)$ 는 i 의 믿음과 일관성이 있는 세계들의 집합을 연관 짓는다. 함수 \mathcal{B}_i 는 에이전트 i 에 대한 하나의 접근관계(accessibility relations)로 볼 수 있는데, Bel_i 에 대한 참일 조건은 w 에서 에이전트 i 가 A를 믿는다는 사실이 성립됨을 명시하고 있다[13]:

$$\bullet w \models Bel_i A \text{ iff } w' \models A \text{ for all } w' \in \mathcal{B}_i(w). \quad (1)$$

한편, Gilbert에 따르면 이러한 집단적 지향성은 사회 집단

(social group)의 개념과 밀접하게 연결되어 있다. 즉, 사회 집단의 일상적인 개념은 믿음 또는 행동의 복수주어적 개념이다. 하나의 복수주어(plural subject)는 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 공식화 할 수 있다[6, 14]:

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 X 에 대한 공동책임이행(joint commitment)을 형성한다면 행위 X 에 대한 하나의 복수주어(plural subject)를 형성한다.

즉, 하나의 개체로 행동하는 공동책임이행은 하나의 에이전트처럼 현재 또는 미래의 행동을 수행하는 에이전트들의 집합에 의해 만들어진 하나의 책임이행(commitment)이다. 하나의 개체로써 행동하기 위하여 공동책임이행을 형성하는 개념을 사용하여 집단적 믿음에 대해 복수주어 개념을 적용하면 다음과 같다[6, 15]:

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. 근거 논리(Grounding Logic)

근거(Grounding)의 주요 개념은 Traum의 논문에서 시작되었는데, 그는 대화 참가자들 사이의 공통근거(common grounds)에 추가하는 과정이라고 정의하였다[5]. 대화에 참가한 사람들이 서로를 이해하기 위하여 어느 정도의 공통근거를 대화에 가져올 필요가 있다는 것이다. 공통근거에 공통지식을 추가하는 과정을 근거 쌓기(grounding)라고 부른다.

공통근거는 일반적으로 대화 참가자들이 하나의 대화에서 전체로 하거나 당연하다고 생각하는 정보들이며, 대화 참가자들의 상호 공통지식과 믿음, 가정들의 합으로 정의한다[16, 17]. 하나의 집단에서의 근거를 위한 양상논리 연산을 정의하면 다음과 같다[4, 5, 13]:

$AGT = \{i, j, \dots\}$ 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 \mathcal{W} 와 모든 $w \in \mathcal{W}$ 에 대하여 평가 V_w 를 연계하는 하나의 사상 $V: \mathcal{W} \rightarrow (ATM \rightarrow \{0, 1\})$ 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 접근관계를 연계하는 다음의 사상으로 특징짓는다: $\mathcal{B}_I: 2^{AGT} \rightarrow (\mathcal{W} \rightarrow 2^{\mathcal{W}})$. $\mathcal{B}_I(w)$ 는 모든 근거가 있는 명제들이 적용되는 세계를 포함한다. $G_I \varphi$ 는 " φ 가 참이라는 사실이 집단 I 에 대해 공개적으로 근거가 있다"고 말한다. 집단 I 가 단 하나의 원소로 이뤄져 있다면, $G_{\{i\}} \varphi$ 는 앞 절에서 설명한 표준 믿음 연산자 $Bel_i \varphi$

와 동일시된다. 근거가 있는 명제들의 집합과 일관성이 있는 모든 집합에서 φ 가 성립한다면, $G_I\varphi$ 의 참 조건은 $w \models G_I\varphi$ 로 나타내고, φ 가 w 에서 근거가 있다는 사실을 명기한다:

$$\bullet w \models G_I\varphi \text{ iff } w' \models \varphi \text{ for all } w' \in \mathcal{E}(w). \quad (2)$$

III. The Proposed Scheme

Gilbert의 집단적 지향성(집단적 믿음)의 복수주어 개념에 대한 반대론자들은 이러한 개념이 하나의 믿음을 설명한다는 사실을 거부하고 있다[15, 18, 19]. K. Brad Wray는 Gilbert가 주장하는 복수주어 개념의 집단적 믿음은 믿음이 아니고 수용(acceptance)의 한 형태라고 말하고 있다[20]. 즉, 반대론자들은 집단적 믿음에 대한 비누적 접근법에 동의하고 나아가 집단적 지향성에 동의를 하지만, Gilbert의 집단적 믿음의 구현은 믿음의 한 종류가 아닌 집단적 수용(collective acceptances)의 한 종류라고 간주하고 있다[18, 21].

그런데, II.1에서 설명했듯이 집단적 믿음은 개인적인 믿음으로 축소될 수 없고, 진정한 집단성에 기인하는데, 집단적 믿음은 전체 에이전트들의 의도(intentions)에 달려 있지 않지만, 집단적 수용은 개별 에이전트들 전체가 자발적인 의도를 표현해야 한다는 점에서 차이가 있다[19, 21].

Gilbert의 집단적 믿음에 대한 복수주어 개념은 집단적 수용과는 달리, 개별 에이전트들 집합의 각각이 다른 집합과 더불어 공통의 조건아래 하나의 목표, 믿음, 행동원리 또는 다른 속성을 구성하고자 하는 의도를 나타낼 때 형성된다. 즉, 집단적 믿음에 대해 복수주어 개념을 적용한 Gilbert는 개별 에이전트들은 하나의 개체로써 그들이 믿고자 하는 바를 실현하기 위하여 그들의 역할을 다하는 의도를 표현하는데, 이러한 책임과 의도는 개별 에이전트들의 공통지식(common knowledge)에 해당한다.

한편, II.2에서 설명했듯이, 이러한 공통지식은 일반적으로 대화 참가 에이전트들이 하나의 대화에서 전제로 하거나 당연하다고 생각하는 정보들이며, 대화 참가 에이전트들의 상호 공유지식과 믿음, 가정들의 합으로 Traum과 Clark가 정의한 공통근거(common ground) 개념에 해당한다고 하겠다[16, 17].

따라서 본 논문에서는 Gilbert의 복수주어 개념에 기초한 집단적 믿음을 공통근거논리를 사용하여 개별 에이전트들의 공통지식을 구현하는 비누적 복수주어 기반의 집단적 믿음을 정의하고자 한다.

1. 공통근거이론에 기반을 둔 복수주어 관점의 프레임워크

공통근거와 근거 쌓기에 관한 Clark의 연구에 의하면, 공동행위에서 공동으로 작업하는 에이전트들은 그 행위를 성공적으로 수행하고, 공동으로 작업을 하는 동안 이러한 정보를 지속적으로 정리하고 증가시키기 위하여 공통근거로 알려진 그들의

공통지식에 의지하는데, 이러한 공통지식에는 하나의 행위에 참가하는 하나의 집단에 대한 공통근거와, 그리고 그러한 행위 이전에 공유한 공통근거 뿐만 아니라 해당 행위에 대한 개인적인 공통근거가 존재한다[16, 22].

먼저, 공통지식을 구현하는 비누적 복수주어 기반의 Gilbert의 집단적 믿음을 공통근거논리를 사용하여 구현하기 위한 양상논리 연산자를 정의하면, 문맥(context) c 에서 집단 G 에 대한 공통근거를 연산자 CG_G 로 나타낸다. 여기서 하나의 문맥은 특정 문맥의 공통근거를 나타내는 하나의 공동행동(joint action)이거나, 일반적인 공통근거(개인적이거나 집단들이 관련된 공통근거)를 나타내는 어떠한 공동행동과도 독립적인 조금도 제한받지 않는 문맥 중 하나이다.

공통근거 연산자들의 의미론은 양상논리의 가능한 세계의 집합 W 에서 접근관계(accessibility relations)를 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, $CG_G\varphi$ 가 참이 된다:

$$\bullet w \models CG_G\varphi \text{ iff } w' \models \varphi \text{ for all } w' \in \mathcal{E}_G^c(w). \quad (3)$$

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:

$$(D_{CG}) \quad CG_G\varphi \rightarrow \neg CG_G\neg\varphi$$

$$(K_{CG}) \quad CG_G(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (CG_G\varphi \rightarrow CG_G\psi)$$

$$(4_{CG}) \quad CG_{AGT}\varphi \rightarrow CG_G CG_{AGT}\varphi \text{ for all } G \subseteq AGT$$

$$(5_{CG}) \quad \neg CG_{AGT}\varphi \rightarrow CG_G \neg CG_{AGT}\varphi \text{ for all } G \subseteq AGT$$

$$(CG) \quad \bigwedge_{i \in G} CG_i CG_G\varphi \rightarrow CG_G\varphi$$

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.

2. 적용 사례

에이전트 소통언어(Agent Communication Language: ACL)의 설계와 ACL 언어의 공식화된 의미론(formal semantics)은 에이전트 및 다중 에이전트 시스템의 주요한 연구 분야 중의 하나가 되어왔다. 그러한 언어는 대부분 Searle와 Vanderveken의 언화행위(speech acts) 이론에 근거하고 있으며, 소프트웨어 에이전트 또는 로봇을 포함하는 응용뿐만 아니라, 웹서비스와 같은 소통(communications)을 필요로 하는 다른 소프트웨어 요소들에도 깊은 연관관계가 있다. 다양한 ACL 중에서도 FIPA-ACL[7]이 여전히 중요한 표준이 되고 있으며, 에이전트 상호작용 프로토콜에서 널리 사용되고 있다[23-26].

이 절에서는 앞 절의 공통근거 기반 복수주어 관점의 프레임워크를 사용하여 공식화한 의미론을 에이전트 소통언어의 하나인 FIPA-ACL의 언화행위 중 대표적인 inform, request, confirm 행위에 대해 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 경청하는 에이전트들의 집단이고, $J \subseteq K \setminus \{i\}$ 는 청자(addressee) 에이전트들의 집합이며, $FORCE$ 는 하나의 언화행위의 이유와 목표(의도)를 표시하는 언표내적인 힘(illocutionary force)을 나타내고, φ 는 명제를 나타내는 공식이다.

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 성공조건(success condition)은 J 에게만 적용되지만, 그 효과는 전체 집단 K 에 대해서도 얻을 수 있다는 것이다[21, 23, 24].

또한, FIPA-ACL 의미론에서는 의미론은 하나의 언화행위에 대하여 실행가능성 전제조건(FP: feasibility precondition)과 합리적인 효과(RE: rational effects)를 제공함으로써 나타난다. FP는 해당 언화행위를 실행하기 위해 만족시켜야 할 논리적인 조건을 나타내고, RE는 성공적인 언화행위의 수행 뒤 만족하는 조건을 나타낸다[8].

여기서는 FIPA-ACL 의미론에서와 달리, 공통근거이론에 기반을 둔 복수주어 관점의 프레임워크에서 개별 에이전트의 정신적인 성향에 대하여 언급하는 것이 아니라, 집단 K 의 공통근거(공적인 성향)를 사용하여 전제조건과 합리적인 효과를 나타내고자 한다[25].

먼저 inform의 의미론을 시작한다. inform은 청자 에이전트가 φ 를 이미 알고 있지 않다는 준비조건(preparatory condition)을 갖는 assert의 언표내적인 힘(illocutionary force)인데, 이는 화자 에이전트가 주어진 명제 φ 가 참임을 청자 에이전트들의 집합에게 알리고자 함이다[8, 24].

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

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

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

FP에서 $\neg CG_K CG_i \varphi$ 는 inform 행위가 실행되기 이전에 화자 에이전트가 φ 를 믿는다는 사실을 공지하지 않았음을 나타낸다. $\neg CG_K CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 inform된 것을 이미 믿고 있다는 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 나

타낸다. RE에서 $CG_K CG_i \varphi$ 는 언화행위의 성공적인 수행의 결과로 화자 에이전트가 φ 를 믿는다는 사실이 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타내고, $CG_K Int_i CG_J \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 믿도록 하는 화자 에이전트의 개인적인 의도가 공지되었음을 나타낸다.

다음은 request의 의미론을 공통근거를 사용하여 기술한다. request는 청자 에이전트들의 집합으로 하여금 어떤 행위를 수행해야 하는 화자 에이전트의 의도를 표현하도록 하는 준비조건(preparatory condition)을 갖는 direct의 언표내적인 힘에 해당한다[8, 24]. 여기서는 RequestEach에 대해서만 정의를 한다.

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

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

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

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 φ 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.

RE에서 $CG_K Int_i (\bigwedge_{j \in J} Done(j: a))$ 는 언화행위의 성공적인 수행의 결과로 화자 에이전트가 청 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 믿도록 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타내고, $CG_K Int_i Future (\bigwedge_{j \in J} Done(j: a))$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 미래에 어떤 행위를 하도록 화자 에이전트가 의도한다는 것이 K 에 대해 공통근거화 되었음을 나타낸다.

마지막으로 confirm의 의미론을 공통근거를 사용하여 기술한다. confirm은 청자 에이전트들의 집합이 φ 에 대해 확신이 없는 경우, 화자 에이전트가 청자 에이전트들의 집합에게 명제 φ 가 참임을 알리고자 함이다[8, 24].

$\langle i, J, K, \mathbf{confirm}, \varphi \rangle$

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

$$\text{RE: } CG_K^c CG_i^c \varphi \wedge CG_K^c Int_i CG_j^c \varphi \wedge CG_K^c G_i^c \neg CG_j^c \varphi$$

FP에서 $CG_K^c \neg CG_j^c \varphi$ 는 confirm 행위가 실행되기 이전에 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 에 대해 확신이 없는 경우를 나타낸다. $\neg CG_K^c CG_i^c \varphi$ 는 confirm 행위가 실행되기 이전에 화자 에이전트가 φ 를 믿는다는 사실을 공지하지 않았음을 나타낸다. $\neg CG_K^c \neg CG_i^c \varphi$ 는 confirm 행위가 실행되기 이전에 화자 에이전트가 φ 를 믿지 않는다는 사실을 공지하지 않았음을 나타낸다. RE에서 $CG_K^c CG_i^c \varphi$ 는 언화행위의 성공적인 수행의 결과로 화자 에이전트가 φ 를 믿는다는 사실이 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타내고, $CG_K^c Int_i CG_j^c \varphi$ 는 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 를 믿도록 하는 화자 에이전트의 개인적인 의도가 공지되었음을 나타낸다. $CG_K^c G_i^c \neg CG_j^c \varphi$ 는 화자 에이전트가 청자 에이전트들의 집합 J 가 φ 에 대해 확신이 없음을 알고 있음을 집단 K 에서 공통근거가 됨을 나타낸다.

3. 응용 및 타 프레임워크와의 비교

본 프레임워크를 적용한 대표적인 응용 사례로 전자상거래(e-commerce) 에이전트 물건 구매협상(agent purchase negotiation)의 예를 예시한다. 세 개의 에이전트로 구성된 $AGT = \{s_1, b_1, b_2\}$ 는 자동차 판매자와 잠재 고객을 나타낸다. 자동차 모델에는 θ_1 과 θ_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_1 $s_1 \rightarrow \{b_2\}$: 협상 시작

$\langle s_1, \{b_2\}, \{s_1, b_2\}, \text{request}, \theta_2 \rangle$

효과:

$CG^c \{s_1, b_2\} Int_{s_1} Done(b_2: \theta_2) \wedge$

$CG^c \{s_1, b_2\} Int_{s_1} FutureDone(b_2: \theta_2)$

U_{+1} $b_2 \rightarrow \{s_1\}$: 구매협상

$\langle b_2, \{s_1\}, \{s_1, b_2\}, \text{agree}, \theta_2 \rangle$

U_{+2} $s_1 \rightarrow \{b_1, b_2\}$: 할인 정보

$\langle s_1, \{b_1, b_2\}, \{s_1, b_1, b_2\}, \text{inform}, \text{discounts} \rangle$

효과:

$CG^c \{s_1, b_1, b_2\} CG^c s_1 \text{discounts} \wedge$

$CG^c \{s_1, b_1, b_2\} Int_{s_1} CG^c \{s_1, b_1, b_2\} \text{discounts}$

한편, 에이전트 소통언어의 공식화된 의미론(formal semantics)은 인공지능 에이전트 및 다중 에이전트 시스템의 유용성과 수용에 있어서 필수적인 사항에 해당한다. 다양한 ACL 중에서도 FIPA-ACL은 대화에 참여하는 에이전트들의 개인의 정신적 성향(mentalistic attitude)에 관하여 소통행위의

미론을 가지는 반면, 사회적 책임이행(social commitments)에 의미론의 기반을 둔 ACL이 존재한다.

우선, 개인의 정신적 성향(mentalistic attitude)의 프레임워크는 대화의 지향성(intentionality)이 주로 개인의 지향성에 기초하고 있고, 의미론 역시 개인의 정신적 성향에 달려 있다. 따라서 경우와 문맥에 따라 해석이 달라져 공식적인 검증이 불가능하다. 여기서 가설은 에이전트들에 대한 진실성 조건(sincerity condition)을 의미하는데, 개인의 정신적 성향의 프레임워크에서는 너무 강해서 에이전트 설계자들로 하여금 특별한 종류의 에이전트를 사용하도록 제한하고 있으며, 개방된 환경(open environment)에서는 다른 에이전트들에게 개인의 정신적 성향을 강요할 수 없다. 예를 들면, FIPA-ACL에 따르면, 에이전트 i 가 에이전트 j 에게 φ 를 알리고자 할 때($\langle i, j, \text{inform}, \varphi \rangle$), 합리적인 효과(rational effects)는 에이전트 j 가 φ 를 믿기 시작하는 것이다. 그러한 효과를 얻기 위해, 예를 들면 i 가 진실되고 수준이 만족하다고 j 가 믿도록 가설을 세우지만, 그러한 문맥에서조차도 j 는 자율적이고 φ 를 믿지 않을 수 있으며, 어떠한 경우에는 i 또는 다른 에이전트와 시스템 설계자가 이러한 것이 사실인지 아닌지조차 검증할 수 없다. 따라서 개인의 정신적 성향 프레임워크는 공식적인 검증을 할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

이에 반해, 사회적 책임이행(social commitments) 프레임워크에 기반을 둔 의미론은 대화의 지향성이 공공 및 사회적 관점에서 이뤄지고 있어서 개인의 정신적 성향 프레임워크의 문제점을 해결하지만, 에이전트들의 개인적인 성향과의 연관관계 뿐만 아니라, 사회적 책임의 의미에 대한 의견일치가 없어서 그 공식적인 의미론(formal semantics)은 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, $\varphi_1 \varphi_2$ 와 같은 하나의 명제적 책임이행(propositional commitment)이 φ_1 에 대한 책임이행을 암시하는지, 그리고 개인의 정신적 성향(mentalistic attitudes)이 이러한 책임이행에 고려되지 않았기 때문에 에이전트 구조의 책임이행에 대한 내적 관리가 명확하지 않다. 물론, 가설은 공공 및 사회적 지향성이 고려되기 때문에 강한 조건이 필요하지 않다[21].

반면, III장에서 살펴본 바와 같이 본 논문에서 제안한 공통근거(common ground) 기반의 복수주어 관점의 프레임워크는 ACL 의미론의 대표적인 이론인, 대화의 지향성이 사회적 책임이행의 공공성(social commitment attitudes)과 개인의 정신적 성향의 공적 지향성(public mentalistic attitudes)을 모두 포함하며, 해당 의미론은 공통근거이론에 기초하고 있다. 즉, 공통근거 기반의 프레임워크는 개인의 정신적 성향에 기초한 의미론과 사회적 책임이행에 기초한 의미론 사이의 가교역할을 한다고 할 수 있다. 가설은 역시 공공 및 개인의 공적 지향성이 고려되기 때문에 강한 조건이 필요하지 않다.

따라서 본 논문에서 제안한 공통근거이론에 기반을 둔 복수주어 관점의 프레임워크와 기존의 타 프레임워크와의 차이점을

비교, 정리하면 다음 표와 같다.

Table 1. Comparative Analysis of Frameworks

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

FW: FrameWork

A: Private mentalistic attitude based framework

B: Social commitment based framework

C: Common ground based framework

IV. Conclusions

집단적 믿음에 대한 해석을 Gilbert의 복수주어 개념으로 제시하고, 복수주어 개념을 구현하기 위하여 공통근거이론을 기반으로 한 프레임워크를 제안하였다. 또한 이 프레임워크를 사용하여 FIPA-ACL의 언화행위 중 대표적인 inform, request, confirm 행위에 대해 정의하였다. 이러한 프레임워크를 적용할 수 있는 FIPA-ACL의 언화행위의 대표적인 응용 사례로는, 에이전트 물건 구매협상뿐만 아니라, Walton&Krabbe 대화게임(dialogue games)[27], 그리고 FIPA Contract Net Protocol(CNP)[28] 등을 들 수 있다. 또한 ACL의 공식화된 의미론을 위한 기존의 다른 프레임워크와 비교를 하였으며, 본 논문에서 제안한 프레임워크가 공개 시스템(open system)에서 기존의 개인의 정신적 성향 기반의 의미론과 사회적 책임이행 기반의 의미론보다 더 적합함을 보였다. 이는 다중 에이전트시스템의 일반적인 사회적 환경을 고려함에 있어서 집단적인 성향에 대한 추론을 에이전트들의 개인적인 성향에서 벗어나 비누적 집단적 성향에 바탕을 둔 진정한 집단적 믿음을 구현하고자 함이다.

REFERENCES

[1] N. Bulling and W. Jamroga, "Agent, Beliefs, and Plausible Behaviour in a Temporal Setting," IFI Technical Report Series, pp.1-23, May 2007.

[2] Jee-Hyun Kim, Young-Im Cho, "A Multi-Agent MicroBlog Behavior based User Preference Profile Construction Approach," J. of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 20, No. 1, pp.21-28, Jan. 2015.

[3] R. Fagin, et. al., "Reasoning about Knowledge," The MIT Press, pp.1-4, 1995.

[4] 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.211-219, AAAI Press, March 2006.

[5] 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.

[6] R. Hakli and S. Negri, "Reasoning about collectively accepted group beliefs," Journal of Philosophy Logic, Vol. 40, pp.531-555, April 2011.

[7] E. Lorini, D. Longin, B. Gaudou, and A. Herzig, "The logic of acceptance: Grounding institutions on agents' attitudes," Journal of Logic and Computation 19(6), pp.901-940, Feb. 2009.

[8] FIPA, "FIPA Communicative Act Library Specification," <http://www.fipa.org>, Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002.

[9] J. R. Searle, "Intentionality: An Essay in the Philosophy of Mind," Cambridge University Press, pp.1-13, 1983.

[10] "Collective Intentionality", Internet Encyclopedia of Philosophy, <http://www.iep.utm.edu/coll-int/print>

[11] M. Gilbert, "Modelling collective belief," Synthese 73, pp.185-204, 1987.

[12] Tuomela, R. "Group beliefs," Syntheses 91, pp.285-318, 1992.

[13] B. Gaudou, A. Herzig, and D. Longin, "A logical framework for grounding-based dialogue analysis," Electronic Notes in Theoretical Computer Science 157, 4, pp.117-137, 2006.

[14] M. Gilbert, "On Social Facts," Princeton University Press, pp.204-214, 1989.

[15] M. Gilbert, "Collective Epistemology," Episteme, Vol. 1, Issue 02, pp.95-107, Oct. 2004.

[16] J. Pfau, L. Sonenberg, 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.

[17] D. R. Traum, "Computational theory of grounding in natural language conversation," PhD. thesis, Computer Science Department, University of Rochester, pp.1-175, 1994.

[18] Tuomela, R. "Belief versus acceptance," Philosophical Explorations 2, pp.122-137, 2000.

[19] M. Gilbert, "Belief and acceptance as features of groups," Protosociology 16, pp.35-69, 2002.

[20] Wray, K. Brad, "Collective belief and acceptance,"

Synthese 3(129), pp.319-333, 2001.

- [21] B. Gaudou, "Formalizing social attitudes in modal logic," PhD. Dissertation, 2008.
- [22] H. H. Clark and E. F. Schaefer, "Contributing to Discourse," *Cognitive Science*, 13: pp.259-94, 1989.
- [23] J. R. Searle, "*Speech acts: An essay in the philosophy of language*," Cambridge University Press, pp.54-71, 1969.
- [24] Daniel Vanderveken, "*Meaning and Speech Acts Volume 1 Principles of language use*," Cambridge University Press, pp.169-189, 1990.
- [25] 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.
- [26] Hans Madsen Pedersen, "Speech Acts and Agents-A Semantic Analysis," PhD. Dissertation, 2002.
- [27] Douglas N. Walton, Erik C. W. Krabbe, "*Commitment in Dialogue: Basic Concepts of Interpersonal Reasoning*," State University of New-York Press, NY, 1995.
- [28] FIPA, "FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification," <http://www.fipa.org>, Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002.

Authors



Ja-Rok Koo received the B.S. and M.S. degrees in Dept. of Computer Science & Statistics from Seoul National University, Korea, in 1985 and 1987, respectively. He is currently an associate professor in School of Electrical Engineering, University of Ulsan.