

시간제한적 협상 구조에 근거한 전자상거래 에이전트를 위한 프로토콜의 비교와 실험

이경전* · 장용식**

Comparison and Experiments on the Electronic Commerce Agent Protocols under Time-Bounded Negotiation Framework

Kyoung-Jun Lee* · Yong-Sik Chang**

요 약

본 논문은 시간 기반의 약속 방법을 강조하는 시간제한적 협상구조를 소개한다. 에이전트들이 보내는 메시지에 약속기간을 첨부함으로써, 기존의 Contract Net Protocol(CNP)을 시간이 제약되어 있는 환경에서 효과적으로 사용될 수 있도록 확장할 수 있으며, 그로부터 시간제한적 협상 구조(TBNF: Time-Bounded Negotiation Framework)를 만들 수 있다. 이 논문에서는 약속기간을 가진 메시지를 의미론적으로 해석하고, 세가지 프로토콜 - 무보장 프로토콜, 승인보장 프로토콜, 그리고 유한 시간 보장 프로토콜을 비교하는데, 이것들은 시간제한적 협상구조에 모두 포함될 수 있다. 제안된 협상 구조는 약속 기간 연장 요청이라는 새로운 메시지 유형과 부정적 약속(Negative Commitment)이라는 새로운 약속 개념을 가지고 있다. 시간제한적 협상 구조(TBNF)는 각 에이전트의 적응적 협상 전략을 수용하면서 효율적이며 효과적인 전자상거래 협상에 대한 구조를 제공할 것으로 예상되며, 이의 유용성을 평가하기 위해 실험결과를 비교 분석하였다.

Key Words: 에이전트 협상 프로토콜, 에이전트 기반의 전자상거래

* 한국과학기술원 테크노경영대학원 국제전자상거래연구센터

** 한국과학기술원 테크노경영대학원 국제전자상거래연구센터

1. 서 론

전자상거래환경에서의 자동협상시스템의 중요성이 점점 증가하고 있다 (Beam and Segev, 1997). 예를 들어, 사이버쇼핑몰이 고객으로부터 상품주문을 받을 때, 쇼핑몰은 인간의 개입없이 자동적으로 상품배달에 대한 주문을 요청하고, 제안요청서(Request For Proposal: RFP)를 만들어 여러 배달회사에 공고하면, 쇼핑몰과 배달회사는 특정 배달서비스에 대한 가격과 품질(예를 들면, 배달일 등)에 대하여 협상을 통해 계약을 체결하는 환경을 생각할 수 있다. 이러한 경우에 쇼핑몰과 배달회사를 각각 대표하는 소프트웨어 에이전트는 자신의 이익을 추구하고 (self-interested), 계약 에이전트(예를 들면 배달회사)는 자원이 제한되어 있으며, 에이전트의 자원 활용 상황은 빠르게 변화한다. 이러한 전자상거래 환경에서, 멀티에이전트의 효율적인 조정은 각 에이전트와 전체 시스템의 작업 성과에 있어 매우 중요하다.

Contract Net Protocol(Smith, 1980)은 계약과정에서 에이전트를 조정하기 위해 통상적으로 가장 많이 사용되어 왔으며, 분산된 문제 해결자(Davis and Smith 1983)들간의 통신과 통제에 대하여 명시하고 있는데, 구체적으로 계약관리자(Contract manager)는 다른 에이전트에게 어떻게 공고(announcement)하고, 잠재적인 계약자(Potential contractor)는 그 관리자 에이전트에게 어떻게 입찰(bid)하며, 그리고 관리자 에이전트는 그 입찰에 대하여 어떻게 수락(award)하는지 등을 설명한다. 이러한 프로토콜에서의 기본적인 단계는 다음 내용을 포함하고 있다.

- 관리자 에이전트(manager)는 수행될 작업

과 입찰 기준을 기술하는 공고를 발행한다.

- 계약자 에이전트(contractor)들은 그 작업을 수행하고자 하는 의지와 능력을 알리는 입찰 메시지를 보낸다.
- 관리자 에이전트는 계약자 에이전트를 선정하여 수락 메시지를 보낸다.
- 계약자 에이전트는 그 판정을 받아들여거나, 거절하는 승인(acknowledgement) 메시지를 보낸다.

기존의 Contract Net Protocol은 특정 목적에 사용되기에는 너무 단순한 측면이 있고, 여러 시스템 요구사항들을 만족하고 작업 성과를 향상시키기 위하여 수정될 필요가 있었기 때문에, 이 프로토콜의 확장에 대한 다음과 같은 연구들이 진행되어 왔다.

- 작업들이 에이전트의 능력을 초과할 경우를 위하여, 임시 승인(temporal grant), 임시 거절(temporal reject), 확정적 승인(definitive grant), 확정적 거절(definitive reject)과 같은 새로운 메시지를 도입하는 연구(Fisher et al. 1995).
- 다음 공고와 최적의 입찰을 결정하기 위한 퍼지이론적 방법론 연구(Vojdani, 1997).
- 통신 부하를 줄이기 위하여 사례 기반 추론을 이용한 연구(Takuya et al. 1996).
- 지속적인 작업 할당 협상을 위하여 에이전트가 동적으로 약속(commitment)수준을 선택하게 하는 연구(Sandholm and Lesser, 1995).

이 논문에서는 각 메시지에 첨부된 약속¹ 기

1 약속(commitment)이란 미래에 어떤 일을 하겠다는 동의 또는 다짐이다(Sen & Durfee 1994).

한을 강조하는 협상구조를 제안한다. 이러한 시간 제한을 갖는 구조는, 요구되는 작업과 유용한 자원들의 상황이 시스템이 작업을 실행함에 따라 동적으로 변하는 환경에서 적절한 협상 프로토콜을 선택하기 위한 틀을 제공한다. 다음은 본 연구를 위한 사이버 쇼핑몰에서의 배달문제에 관한 시나리오이다.

사이버 쇼핑몰의 배달문제 시나리오

- 1) 쇼핑몰 에이전트(Shopping Mall Agent) SMA1은 배달회사 에이전트(Delivery Company Agent) DCA에게 상품 PA를 3일 내에 구매 고객에게 배달할 수 있는지를 묻는다.
- 2) DCA는 상품 PA의 배달을 위해 자신의 시설들(예: 트럭들)이 가용한지 계획해 보고 SMA1에게 예(가능하다) 라고 대답한다.
- 3) 그러나, SMA1은 아직 DCA의 입찰에 대해 수락을 하지 않은 상태이다.
- 4) 그 사이에, 다른 쇼핑몰 에이전트 SMA2가 배달회사 에이전트(DCA)에게 상품 PB를 3일내에 구매 고객에게 배달할 수 있는지를 묻는다.
- 5) DCA는 상품 PB의 배달을 위해 자신의 시설이 가용한지 일정계획해 보고 SMA1을 위한 자원 예약을 취소하지 않고는 제 시간에 SMA2를 위해 PB를 배달할 수 없음을 알게 된다.

이 경우, DCA가 어떻게 행동할 수 있는가? 우리는 이러한 문제에 대처하기 위하여 1) 무보장 프로토콜(Nothing-guaranteed Protocol), 2) 승인 보장 프로토콜(Acceptance-guaranteed Protocol), 그리고 3) 유한시간 보장 프로토콜(Finite-time Guaranteed Protocol) 의 세가지 프로토콜 대안들을 생각할 수 있다. 다음 절에서는 이들 각각에 대하여 간

략히 설명한다.

2. 3가지 후보 프로토콜들

2.1. 무보장프로토콜

전통적인 Contract Net Protocol에 기반을 둔 대부분의 프로토콜이 이를 가정하고 있다 (Malone, 1988, Van Dyke Parunak, 1985, Shaw and Winston, 1987, Lin and Solberg, 1992). 이 프로토콜에서는 작업에 대하여 쌍방간에 동의가 있기 전에는 아무도 어떤 책임을 질 필요가 없다. 앞의 시나리오에 이를 적용하면, DCA는 SMA2에게 자유롭게 긍정적인 답을 할 수 있으며, SMA1이나 SMA2로부터 올 확인 메시지를 기다리게 된다. 이 프로토콜은 최종 동의 전에는 약속이나 책임이 없기 때문에 메시지들이 시간적인 개념을 가질 필요가 없다. 따라서, 각 에이전트는 다른 에이전트에게 자유스럽게 메시지를 보낼 수 있다. 그러나, 쌍방간에 동의가 있기 전에는 아무것도 보장된 것이 없기 때문에, 어떤 에이전트는 신경을 곤두세우게 되고 결과적으로 전체적인 시스템의 성과가 떨어질 수 있다.

예를 들어, SMA1이 DCA로부터 입찰을 제출 받고 DCA에게 입찰을 수락하고자 결정하는 동안 DCA는 SMA2와 계약할 수 있다. 이 경우, DCA는 SMA1으로부터 수락된 입찰을 받아들일 수 없게 된다. 이 경우 SMA1은 처음부터 협상을 다시 시작해야 한다. 이와 같이, 전통적인 Contract Net Protocol은 이렇게 최종 동의 전에는 아무것도 보장하지 않는 프로토콜이다. 관리자가 입찰을 제출받은 후 즉시 수락하더라도, 계약자의 거절 가능성은 내재하고 있고, 이로 인하여 비효율적인 계약처리가 될 수도 있다.

게다가 각 에이전트는 최종 동의 전까지는 더 이상의 정보가 없기 때문에 불안할 수 있다.

2.2. 승인보장 프로토콜

이 프로토콜에서는, 작업을 공고한 에이전트가 입찰에 대한 수락을 보장한다. 즉, 작업을 공고한 에이전트는 의뢰된 입찰이 초기에 공고한 조건들을 만족하는 경우 자동적으로 수락한다. 또한, 계약자 에이전트가 관리자 에이전트로부터 수락된 입찰을 무조건 보장하는 경우도 승인보장프로토콜에 해당한다. 이 프로토콜은 작업을 공고한 에이전트가 단 하나의 입찰자와 계약하거나 어떤 입찰자가 한 관리자 에이전트만 상대할 때 유용할 수 있다. 앞의 예에서는, DCA가 이미 SMA1에게 입찰 수락을 의뢰하면서 승인보장을 했다면, DCA는 SMA2에게 아니오라고 대답해야 한다. 이 프로토콜의 장점 중 하나는 통신 노력을 경감시킨다는 것이다. 이 프로토콜은 상위의 에이전트와 하위의 에이전트 사이에 계층적(수직적) 조정을 위해 사용되는 경우에 적합하다.

2.3. 유한시간 보장 프로토콜

이 프로토콜에서는 각 메시지가 유효한 기간이 있는 토큰을 가질 수 있다. 토큰을 가진 메시지는 주어진 기간동안 유효하며, 토큰은 응답 메시지는 물론 요구 메시지에도 첨부될 수 있다. 이 프로토콜을 사용하면, 앞의 시나리오를 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

- 1) SMA1은 DCA에게 상품 PA를 구매 고객에게 3일내에 배달할 수 있는지를 묻는다.

- 2) DCA는 상품 PA의 배달을 위해 자신의 시설을 일정 계획해보고, SMA1에게 30분 동안 유효한 시간 토큰으로 예라고 대답한다.
- 3) SMA1은 아직 DCA에게 수락 판정(award)을 하지 않은 상태이다.
- 4) 그 사이에, 다른 쇼핑몰 에이전트 SMA2가 DCA에게 상품 PB를 구매 고객에게 3일내에 배달할 수 있는지를 묻는다.
- 5) DCA는 현재 시간을 확인한다.
 - (a) 만일 30분이 지났다면, DCA는 SMA1을 위해 자원을 더 이상 예약하지 않고 상품 PB 배달을 위해 자신의 시설 일정계획을 해보고, SMA2에게 30분 동안 유효한 토큰으로 예라고 대답한다. DCA는 SMA1에 대해 어떤 책임을 느낄 필요가 없다.
 - (b) 만일 약속 시간 만료(예를 들어, SMA1이 응답한 후 20분이 경과) 전이라면, DCA는 SMA1을 위해 시설의 사용을 예약한 상태에서 상품 PB의 배달을 위해 자신의 시설을 일정계획한다. 그 결과, DCA는 SMA1을 위한 시설 사용 예약을 취소하지 않고는, SMA2를 위해 제 시간에 PB를 배달할 수 없음을 알게 된다. DCA는 SMA2에게 아니오라고 응답하지만 SMA2가 10분뒤에 주문 요청을 다시 시도하든지, 아니면 확인을 10분 기다릴 것을 요청한다.

3. 시간제한적 협상 구조

위의 3가지 프로토콜을 하나의 구조로 통합하기 위하여, 우리는 Contract Net Protocol의 각 계

약 메시지에 첨부된 약속 기간을 강조하는 메타 모형인 시간제한적 협상 구조(TBNF: Time-Bounded Negotiation Framework)를 제안한다.

3.1. 시간제한적 협상 구조의 정의

시간제한 협상구조는 에이전트들이 약속기간(T)을 가진 메시지들을 가지고 서로 협상하는 구조로 정의된다. 어떤 메시지가 영($T = 0$)의 약속기간을 가질 경우, 그 메시지는 그 안에 어떤 약속도 없다는 의미가 되고 (영시간 약속: Zero-time commitment), 반면에 어떤 메시지가 무한대($T = \infty$)의 약속기간을 가진다면, 그 메시지는 그 에이전트의 약속에 의해서 영원히 유효한 메시지로 해석된다(무한 시간 약속: Infinite-time commitment). 만약, 어떤 메시지가 유한 시간의 약속기간을 가진다면, 그 메시지는 그 기간 동안만 유효하다(유한시간 약속: Finite-time commitment).

3.2. 효율적 계약위한 새 메시지 유형

약속기간의 사용은 효율적인 계약을 위한 새로운 메시지를 필요로 하게 된다. 만일 에이전트가 진행중인 협상에 대한 의사결정을 위해 그 자원을 계산하고 있는 도중에 상대방에 의해 주어진 약속 기한이 거의 만기가 되어 간다면, 에이전트는 상대방에게 약속기간 연장을 요청하는 메시지를 보낼 필요가 있다. 다음과 같은 유형의 메시지가 없다면, 계약은 양쪽 에이전트가 계약을 계속 진행하려고 하더라도 종료될 수밖에 없을 것이다.

- 1) 약속기간 연장 요청: 상대방으로부터 온 특정 메시지에 대한 약속 기간 T의 연장

을 요청

- 2) 약속기간 연장 요청에 대한 답변

3.3. 약속기간을 사용, 요구하는 동기

시간제한적 협상구조의 유용성을 정당화하기 위해서는, 약속기간을 사용하거나 요구하게 되는 각 에이전트의 동기를 확인할 필요가 있다. 예를 들어, 상호 협동적인 환경에서 중앙의 에이전트는 약속기간의 사용을 강제함으로써 전체적인 효율성을 높일 수 있을 것이다. 한편, 각자의 이익추구 환경에서 각 에이전트는 자신의 이익을 위해 다음과 같이 약속기간을 갖는 메시지를 발행할 수 있다.

약속된 공고: 관리자는 계약자를 순차적으로 접촉하면서 선정하기 위해 약속된 작업 공고를 사용할 수 있다.

약속된 입찰 제출: 관리자는 약속된 입찰 대안들 중에 안전한 선택을 하기 위해 계약자에게 약속된 입찰을 요구할 수 있다. 한편, 계약자는 1)관리자로부터 수락 판정을 촉진하기 위하여 또는 2)스스로 일관성을 유지할 필요에서 약속된 입찰 승인을 사용할 수 있다.

약속된 입찰 수락: 입찰 수락은 약속이 내재되어 있는 행위이다. 관리자는 계약자 에이전트와 순차적으로 접촉하거나 계약자의 승인을 빨리 유도하기 위하여 입찰 수락 메시지에 유한기간이 있는 약속을 사용할 수 있다.

4. 약속기간 가진 메시지의 의미 해석

약속기간의 의미를 정확히 분석함으로써, 협

상 메시지의 의미가 정확하게 해석될 수 있다. 사실상 메시지에 약속기간이라는 것을 사용하지 않으면, 각 메시지는 보장이나 약속이 없는 하나의 선언에 불과하다. 시간제한적 협상 구조(TBNF)하에서의 모든 메시지는 어떤 작업에 대해 약속을 할 것인지 아닌지에 대한 선택을 할 수 있으며, 부정적 약속(Negative Commitment)이라는 새로운 약속 개념이 제안된다. 다음은 각 메시지들의 의미론적 해석이다.

4.1. 작업공고(관리자 → 계약자)

공통적 의미: "시간 T내에 이 작업에 관하여 입찰을 제출하라. T 시간내에 입찰을 제출하면, 수락 판정을 할 것이다."

무한시간 약속($T = \infty$): 이것은 계약자 에이전트가 아무 때나 입찰을 제출해도 된다는 것을 말한다. 즉, 수락은 보장된다.

유한시간 약속($T = \alpha, 0 < \alpha < \infty$): 이것은 계약자 에이전트가 α 이전에 입찰을 제출하면, 계약자 에이전트에게 수락 판정되어 진다는 것을 의미한다.

영시간 약속($T = 0$): 이것은 계약자 에이전트가 입찰을 관리자 에이전트에게 제출할 지라도, 수락 판정해 줄 보장이 없다는 것을 의미한다.

흥미롭게도 작업공고 메시지(Smith, 1980)에 마감시간을 사용하는 경우도 이 경우($T = 0$)에 해당한다. 이 때의 마감시간은 관리자 에이전트의 약속과는 의미적으로 무관하기 때문이다. 즉, 작업공고에서의 약속기간이 입찰을 받기 위한 마감시간과 같지 않다는 점을 주의해야 한다. 또한, $T > 0$ 일 때는, 같은 작업의 집합이 다수 에이전트들에게 동시에 수락 판정되어 질 수 없으므로 작업공고 메시지에 대한 수신자 수는 하

나이어야 한다(Sandholm and Lesser, 1995)는 것 역시 주의할 필요가 있다.

4.2. 입찰 제출(계약자 → 관리자)

공통적 의미: 지금 입찰을 제출하고 있으며, 시간 T 동안 자원을 예약하고 있을 것이다.

무한시간 약속($T = \infty$): 관리자는 계약자가 이미 입찰을 위해 자원을 예약하였기 때문에 사실상 계약자에게 입찰 수락 판정 메시지를 보낼 필요가 없다.

유한시간 약속($T = \alpha, 0 < \alpha < \infty$): 만일 관리자가 시간 α 내에 입찰을 수락하면, 계약자는 그 작업을 위해 자신의 자원을 사용할 수 있다.

영시간 약속($T = 0$): 관리자가 입찰 제출을 받고 바로 수락 판정을 할 지라도 실질적으로 계약자가 입찰을 위해 자원을 점하고 있으리라는 보장은 없다.

4.3. 입찰 거절(계약자 → 관리자)

입찰 거절이 약속의 개념을 가지고 있다는 것은 흥미로운 사실이다. 여기에서는 이를 부정적 약속(Negative Commitment)이라고 부른다.

무한시간 약속($T = \infty$): 현재의 자원 용량 분석에 의하면, 계약자는 공고된 작업에 대해 영원히 입찰을 제출할 수 없을 것이다.

유한시간 약속($T = \alpha, 0 < \alpha < \infty$): 현재는 입찰을 제출할 수 없으나, α 시간 후에 계약자는 입찰을 제출할 수 있을 수도 있다.

영시간 약속($T = 0$): 전통적인 Contract Net Protocol과 같다. 계약자는 지금 입찰을 제출할 수 없지만, 곧 입찰을 제출하게 될 수도 있다.

4.4. 수락 판정(관리자 -) 계약자)

무한시간 약속($T = \infty$): 계약은 완성되고 계약자는 이에 대해 응답해 줄 필요가 없다.

유한시간 약속($T = \alpha, 0 < \alpha < \infty$): 최종 동의를 위해, 계약자는 α 시간내에 승인을 보내야 한다. 그렇지 않으면, 수락 판정은 취소될 수 있다.

영시간 약속($T = 0$): 입찰 수락 판정 메시지는 의미적으로 약속기간이 0일 수가 없다.

4.5. 승인(판정 수락/거절)

최종 확정 메시지는 의미상으로 무한대의 약속기간 ($T = \infty$)을 가진다.

5. 시간제한적 협상 구조하의 세 가지 프로토콜의 비교

시간제한적 협상 구조(TBNF)의 약속기간 길이를 이용하여, 2장에서 설명한 세 가지의 전형적 협상 프로토콜을 정식으로 정의할 수가 있다. 무보장 프로토콜(NGP: Nothing-guaranteed Protocol)은 작업공고 메시지와 입찰 제출 메시지가 영($T = 0$)의 약속길이를 가지는 프로토콜이다. 승인보장 프로토콜(AGP: Acceptance-guaranteed Protocol)은 작업 공고 메시지나 입찰 제출 메시지가 무한대의 약속기간을 가지는($T = \infty$) 프로토콜로 정의된다. 그리고, 유한시간보장 프로토콜(FGP: Finite-time guaranteed Protocol)은 작업 공고 메시지나 입찰 제출 메시지가 유한기간($T = \alpha$)의 약속기간을 가지는 프로토콜이다. 이들 3가지 프로토콜에 대한 전체적인 비교가 <표 1>에 나와 있다.

<표 1> 프로토콜 비교 요약

| 프로토콜 | NGP | AGP | FGP |
|-------------|-----------------|-----|----------------|
| 계약과정 복잡성 | 단순 | 단순 | 복잡 |
| 협상 효율성 | 자원 제약 심할 때 비효율적 | 효과적 | 자원 제약 심할 때 효과적 |
| 예측가능성 정보제공성 | 낮음 | 높음 | 높음 |
| 대안 가용성 | 높음 | 낮음 | 높음 |
| 통신 비용 | 자원 제약 심할 때 높음 | 낮음 | 최적화되지 않으면 높음 |
| 구현복잡성 | 단순 | 단순 | 복잡 |
| 전략다양성 | 낮음 | 낮음 | 높음 |

계약과정의 복잡성: 계약과정의 복잡성면에서, FGP는 부정적 약속 개념과 약속 기간 연장 요청과 같은 새로운 메시지들을 취급하기 때문에 가장 복잡하다.

계약 효율성: NGP에서의 에이전트는 최종 동의 전까지는 아무것도 보장하지 않기 때문에, 자원 제약이 심할 때 계약과정이 비효율적일 수 있다. 한편, FGP는 앞에서 제시한 시나리오에서 보듯이 자원 제약이 심한 상황에서 효과적일 수 있다. AGP는 계약과정이 단순하며 효율적일 수 있으나, 계층적 또는 협동적으로 에이전트의 조정이 필요한 특별한 상황에서만 사용될 수 있다는 제한점이 있다.

예측가능성과 정보제공성: FGP에서는 에이전트의 예측가능성이 좋아진다.(예를 들면, 관리자 에이전트는 사전에 약속된 입찰을 선택할 수 있다). FGP는 3가지 프로토콜 중에서 가장 정보 제공성이 좋아서, 참여하고 있는 에이전트 사이에 동의를 빨리 진행시킬 수 있다. NGP를 사용하는 경우의 에이전트는 다른 에이전트 상태에 대해 충분한 정보를 가질 수 없어서, 계약상 비

효율성을 초래할 수 있다.

대안 가용성: AGP에서는 계약동의를 보장하는 에이전트와 통신해야 하기 때문에, 계약 당사자를 위한 대안들이 감소된다. 한편, FGP에서는 더 많은 대안을 이용할 수 있다. 관리자 에이전트는 순차적으로 작업 공고를 보내면서 후보들을 선택하기 위해 유한시간 약속을 사용할 수 있다. 또한, 관리자 에이전트는 유한시간 입찰판정을 사용하여, 입찰을 보내는 계약자들과 순차적으로 접촉할 수 있다.

통신 비용: 자원 제약이 심하고 동적인 환경에서의 통신비용은 NGP의 경우 매우 높다. FGP에서 너무 짧은 시간의 토큰을 사용할 경우에는 수행가능성 확인을 위한 확인과 계산을 위해 불필요한 통신을 초래할 수 있기 때문에, 실험을 통하여 특정 문제영역에 알맞은 최적의 메시지 수명주기를 결정할 필요가 있다. 메시지의 최적 수명 주기는 각 에이전트의 수행 성과 또는 전체적인 수행 성과를 고려하여 결정될 수 있다. 한편, 에이전트의 계산 시간 예측이 어려운 경우, 에이전트는 많은 약속 기간 연장 요청 메시지를 보내야 하는데, 이것은 통신량을 증가시키게 된다. 이렇게, FGP에서의 통신량은 적절히 최적화되지 않았을 때 매우 클 수 있다.

구현 복잡성: FGP에서는, 메시지 전송과 자신의 자원을 관리하기 위하여 각 에이전트는 Decker(1995)의 일정계획과 같은 세련된 행위 일정 계획 메커니즘과 메시지 관리절차를 가지고 있어야 한다. 이러한 시간제약적인 상황에서 반응하기 위하여, 각 에이전트는 일종의 anytime 알고리즘을 필요로 할 수 있다(Boddy와 Dean 1989). 또한, 시간 의존적 구조를 갖는 FGP는 메시지를 주고 받는 시간이 양측에 의해 확인될 필요가 있다(Sandholm and Lesser, 1995). 즉, 모

든 에이전트가 메시지 도착시간에 동의할 수 있는 메커니즘이 필요하다.

전략적 다양성: FGP는 다른 두 프로토콜에 대하여 더 전략적인 다양성을 가지고 있다. 예를 들면, 계약자 에이전트는 관리자 에이전트로부터 올 입찰 수락 판정을 촉진하기 위해 유한시간 약속을 사용할 수 있다.

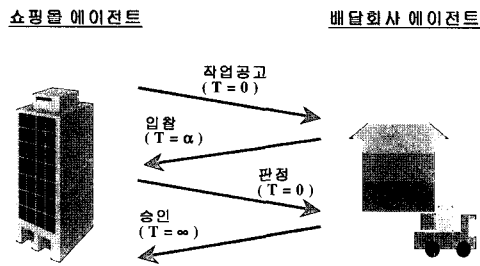
6. 시간제한적 협상 구조 유용성 평가

시간제한적 협상 구조(TBNF)는 여러 멀티에이전트 환경에 적합한 프로토콜을 제시하고, 그 프로토콜의 파라미터들을 최적화할 수 있는 틀을 제공한다고 하는 데에 그 의의가 있다. 본 연구에서는 계약자(예: 배달회사)의 자원이 매우 제약되어 있는 환경에서 계약자 에이전트가 유한 기간 동안 약속된 입찰을 제출하는 경우에 최적의 약속 시간을 찾아내는 실험을 통해 시간제한적 협상 구조(TBNF)의 유용성을 확인하고자 한다.

6.1. 실험 환경의 설정

실험은 3개의 관리자(쇼핑몰) 에이전트와 2개의 계약자(배달회사) 에이전트가 있는 것으로 가정하였으며, 계약자는 하나의 자원을 가지고 있는데, 계약이 성립되면 일정기간 자원을 사용하고, 그 시간이 지나면 자원이 다시 가용해지는 모형을 가진다.

계약과정은 [그림 1]과 같은데, 작업공고의 약속기간은 0으로 하고, 입찰 메시지는 약속기간이 있는 상황을 가정한다.



(그림 1) 입찰제출시 유한시간 약속

두 에이전트간의 계약을 위한 협상이 시작되면 <표 2>에서 보는 바와 같이 최종계약(Y)이 이루어지거나, 입찰거절(B), 수락거절(Q), 승인거절(X)이 일어난다. .

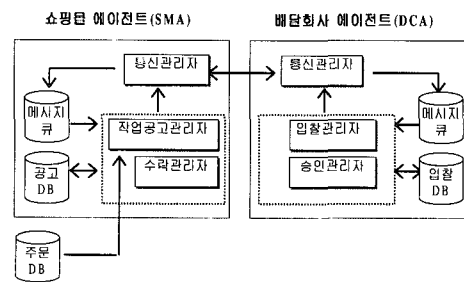
<표 2> 에이전트간 계약 및 협상 중단 유형

| 계약유형 | B | | Q | | X | | Y | |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | S | D | S | D | S | D | S | D |
| 에이전트 | S | D | S | D | S | D | S | D |
| 작업공고 | OK | | OK | | OK | | OK | |
| 입찰 | | No | | OK | | OK | | OK |
| 수락 | | | No | | OK | | OK | |
| 승인 | | | | | | No | | OK |

- S : 쇼핑몰 에이전트, D : 배달회사 에이전트
- Y : 계약성립.
- B : 계약자(배달회사)의 입찰 거절
- Q : 입찰 후 관리자(쇼핑몰)의 수락 거절
- X : 수락 후 계약자(배달회사)의 승인 거절
- OK : 성공, No : 실패

이 실험을 위한 에이전트 테스트베드를 UNIX 환경에서 Oracle DB와 C언어를 이용하여 구현하였고, 실험을 위한 사용자 인터페이스는 WWW를 이용하였다. 현재의 구조는 실험을 위해 단순화된 형태이나 실제 에이전트 시스템으로 확장 가능한 기본 구조를 가지고 있다. 현재의 구조(그림 2)는 각 에이전트가, 타 에이전트의 메시지를 받아들이고 자신의 메시지를 보내는 통신관리자와 외부로 들어오는 메시지를 저장하는

메시지 큐(Message Queue)를 공통적으로 가지고 있으며, 쇼핑몰 에이전트는 고객으로부터 들어온 주문 정보가 있는 주문 DB로부터 작업 공고를 만들어내는 작업 공고 관리자, 만들어진 작업 공고의 현황을 저장하는 공고 DB, 그리고 배달회사 에이전트로부터 받은 입찰 메시지에 대해 수락 판정을 내리는 수락관리자로 이루어져있다. 한편 배달회사 에이전트는 쇼핑몰 에이전트로부터 작업 공고 메시지들을 받아 이를 근거로 입찰 메시지를 만드는 입찰 관리자, 만들어진 입찰 메시지의 현황을 저장하는 입찰 DB, 쇼핑몰 에이전트로부터 받은 수락 메시지를 통해 최종 승인 결정을 내리는 승인관리자로 이루어져있다. 이러한 구조를 기반으로 실제 전자상거래 환경에서 성공적으로 작동하는 에이전트 시스템을 구현하려면, 각 에이전트가 자신의 의사결정을 위한 시간과 자원을 최적으로 분배할 수 있는 일종의 행위 일정계획(action scheduling) 모듈이 필요하다. 즉, 메시지의 처리 순서의 최적 결정 방법, 한 메시지를 처리하는 도중에 새로 들어온 다른 메시지를 위해 의사결정 자원을 최적으로 할당하는 방법 등은 시간제한이 있는 협상구조의 에이전트의 성과를 올리기 위해서 중요한 부분이나, 본 실험에서는 각 에이전트가 메시지 큐에 들어온 메시지를 FIFO(First-In First Out) 방식으로 처리하는 형태로 구현하였다.



(그림 2) 실험을 위한 에이전트 구조

6.2. 실험을 위한 에이전트의 지식

실험을 위한 에이전트들은 통신 언어로 KQML을 사용하고 있으며, 내부 추론을 위한 지식 표현과 추론 방법은 KAIST에서 개발한 UNIK-OBJECT를 사용하고 있다. 다음은 작업 공고 메시지와 입찰 불가 메시지의 KQML 형태를 보여주고 있다.

```

● Announcement
(evaluate
:sender      SHOPPING MALL AGENT
:receiver    DELIVERY AGENT
:reply-with  msg_981119_O1
:ontology    Agent-Based Commerce
:language    UNIK-OBJECT
:content
  ((title      RFP)
   (order
    (product
     (item_no    01)
     (product_id CD-ROM 32X)
     (quantity   100))
    (delivery
     (recipient
      (name      SHOPPING MALL)
      (address   Seoul, Korea))
      (delivery_date 10:00 NOV 23, 1998)
      (delivery_method truck))))))

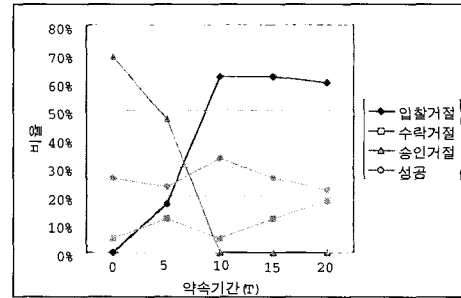
● Bid: Negative commitment
(reply
:sender      DELIVERY AGENT
:receiver    SHOPPING MALL AGENT
:in-reply-to msg_981119_O1
:ontology    Agent-Based Commerce
:language    UNIK-OBJECT
:content
  ((title      BID)
   (bid
    (product
     (item_no    01)
     (product_id CD-ROM 32X))
    (Y/N      No)
    (Committed_Until B:00 NOV 20, 1998 )))
    
```

관리자 에이전트가 자율성을 가지기 위한 지식은 에이전트의 응용 분야에 따라 달라질 수 있으나, 이 논문에서 예로 하는 사이버 쇼핑물의 배달문제의 경우, 관리자 에이전트에 해당하는 쇼핑물 에이전트와 계약자 에이전트에 해당하는 배달회사 에이전트가 필요한 지식들을 정리하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 각 에이전트의 필요 지식

| 메시지 | 지식 종류 | 지식의 설명 |
|-----------|-------------|---|
| 모든 에이전트 | | |
| 모든 메시지 | 약속 기간 결정 | 상대 에이전트에 보내는 메시지의 약속 기간을 결정하는 지식 |
| | 약속 기간 연장 요청 | 상대 에이전트로부터 온 메시지의 약속기간의 연장을 요청할 것을 결정하는 지식 |
| | 연장 요청 응답 결정 | 상대 에이전트로부터 약속기간의 연장 요청이 들어왔을 경우 이의 수락/거부 여부를 결정하는 지식 |
| 쇼핑물 에이전트 | | |
| 작업 공고 | 주문 군집화 | 고객의 주문을 배달지, 창고 위치, 배달 요구일 등 고려하여 군집화 (clustering)하는 지식 |
| | 회사 선정 | 군집화된 작업에 적합한 배달회사의 집합을 선정하는 지식 |
| 수락 판정 | 입찰 조합 결정 | 배달회사들로부터 들어온 입찰 결과 중 최적의 입찰 조합을 판단하는 지식(Gomber et al. 1998) |
| 배달회사 에이전트 | | |
| 입찰 제출 | 배달 일정 계획 수립 | 쇼핑물 에이전트들로부터 들어온 작업 공고들을 가지고 배달회사의 자원을 일정 계획하는 지식(Fisher et al. 1995) |
| | 입찰 제출 대상 결정 | 일정 계획 이전에 또는 그 결과로 입찰을 제출할 작업 공고 대상을 결정하는 지식 |
| 승인 | 승인 여부 결정 | 쇼핑물 에이전트로부터의 수락 메시지의 최종 승인 여부를 결정하는 지식 |

위의 표에서 참고 문헌이 표시된 부분들은 해당 지식을 구성하기 위한 연구들이며, 그 외의 지식들 중 주문 군집화 지식, 입찰 제출 대상 결정 지식 등은 응용 분야에 따라 그 복잡성이 달라진다. 본 실험은 시간제한적 협상 구조(TBNF)하에서의 협상 프로토콜의 유용성을 검증하기 위한 것이므로, 이들 에이전트의 지식들을 단순화하여 실험을 수행하였다.



(그림 3) 약속시간에 따른 협상 결과별 추이

6.3. 실험결과

실험에서의 변수는 입찰메시지의 약속시간(T)만을 사용하여, 기간이 0에서 증가될 때, 계약과 협상 중단이 어떠한 추이로 일어나는지를 관찰하였다. <표 4>는 약속시간(T)이 0, 5, 10, 15, 20의 다섯 가지의 값을 가지는 경우 실험결과를 요약한 것이며, [그림 3]은 <표 4>의 결과를 협상 결과별 추이로 나타낸 것이다.

<표 4> 실험결과

| 약속기간 | B | Q | X | Y | 총계 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| T=0 | 0% (0) | 5% (1) | 69% (13) | 26% (5) | (19) |
| T=5 | 17% (3) | 12% (2) | 47% (8) | 23% (4) | (17) |
| T=10 | 62% (49) | 5% (4) | 0% (0) | 33% (26) | (79) |
| T=15 | 62% (50) | 12% (10) | 0% (0) | 26% (22) | (82) |
| T=20 | 60% (24) | 18% (7) | 0% (0) | 22% (9) | (40) |

(괄호안은 빈도수를 표시함.)

- Y : 계약성립
- B : 계약자(배달회사)의 입찰 거절
- Q : 입찰 후 관리자(쇼핑몰)의 수락 거절
- X : 수락 후 계약자(배달회사)의 승인 거절

[그림 3]에서 보는 바와 같이 협상 성공률은 입찰 약속시간이 너무 짧아도 너무 길어도 좋지 않다는 것을 알 수 있다. 즉, 적절한 입찰 약속기간은 기존에 많이 사용되어온 무보장 프로토콜보다 좋은 성과를 가져올 수 있으며, 최적의 입찰 약속기간이 존재할 수 있다는 점을 알 수 있다. 입찰거절의 추이를 살펴보면, 약속기간이 길수록 입찰 승인에 대해 보수적일 수밖에 없으므로, 입찰거절이 증가하는 추세를 보이며, 승인거절의 경우는 반대로 약속기간이 길수록 감소하는 추세를 보인다.

6.4. 실험 가능한 변수들

이 논문에서의 실험은 자원이 매우 제약되어 있는 상태에서, 입찰 메시지의 약속기간을 변수로 하는 실험을 실시하였다. 향후의 실험에는 이들 외에 다음과 같은 변수들을 사용할 수 있는데, 예상되는 결과는 다음과 같다.

자원의 제약 정도: 자원의 제약 정도가 심할수록 전체 시스템의 최적 약속 기간은 늘어가는 경향을 가질 것이다.

자원의 가용성을 판단하는 데에 걸리는 시간: 이 시간이 불안정할 경우에 FGP의 성과는 떨어지는 현상을 보일 것이며, 이 시간이 길어질수

록 최적 약속 기간은 길어질 것으로 예상된다.

각 메시지(작업 공고, 입찰, 수락 판정)에서의 약속 기간 사용 여부와 약속기간의 길이: 이 변수는 전체 시스템의 성과의 측면이 아니고, 개별 에이전트가 취하는 전략에 따른 에이전트 각각의 성과의 차이를 보는 것이다.

에이전트들간의 협상 구조의 모양(communication topology): 이 논문의 실험은 3개의 관리자 에이전트와 2개의 계약자 에이전트로 구성된 환경에서 실험을 하였는데, 관리자 에이전트가 계약자보다 많게 한 이유는 계약자가 관리자보다 상대적으로 부하가 많이 걸리도록 하여, 실험의 결과가 더 명확히 나올 수 있도록 한 것이다. 일반적으로, 한 계약자가 많은 수의 관리자와 동시에 협상하게 될수록, 최적의 입찰 약속기간은 증가할 것으로 예상되나, 이는 관리자의 의사결정 전략과 의사 결정 소요시간과 함께 같이 실험되어야 한다.

7. 관련 연구

Sandholm과 Lesser(1995)는 Contract Net Protocol (Smith, 1980)의 확장 연구를 통해서 본 논문의 약속 기간과 유사한 분야의 필드를 제시하였다. 이 필드는 한 제안이 얼마나 오랫동안 유효한지를 기술하는데, 만일 계약 상대자가 그 시간까지 응답이 없다면, 메시지 송신자는 계약을 종료시킨다. 그러나, 약속기간의 도입은 이 논문에서 설명한 바와 같이, 약속 기간 연장 요청 메시지와 같은 새로운 메시지 유형을 요구하며, 입찰 거절에서 부정적 약속(Negative commitment)이라는 새로운 약속 개념을 필요하게 한다.

Sen과 Durfee(1994)는 약속을 전략적인 수준에서 취급했지만, 시간제한적 협상 구조(TBNF)는

구조와 프로토콜 수준에서 취급한다. 그들이 두 극단치($T = 0$ 과 $T = \infty$) 사이를 진동하는 적응 전략을 사용한 반면, 시간제한적 협상 구조(TBNF)는 중간 값을 가지는 대안 사이에 적응적인 전략을 쓸 기회를 제공한다. 이러한 중용적 전략은 많은 상황에서 극단적인 전략보다 뛰어나므로 예상된다.

Collins 등(1997)은 Contract Net Protocol에서의 시간 전략을 연구하고, 프로토콜내에서의 적절한 시간 요소의 선택이 어떻게 계약에 관련된 에이전트의 행위에 영향을 주는지를 보였다. 그러나, 이 경우 에이전트의 시간 전략은 약속이 없는 선언에 불과하며, 두 에이전트 사이의 계약에 대한 어떠한 강제적인 메커니즘이 없다. 따라서, 이러한 경우에는 거짓말 하는 에이전트가 다른 정직한 에이전트에 대해 이익을 취할 가능성이 생긴다.

8. 결론

우리는 시간제한적 협상 구조(TBNF)가 동적인 환경에서 자신의 이익을 추구하고 자원 제약적인 에이전트들이 계약을 위한 협상을 하는 상황에 적합할 것이라고 믿는다. 이 구조는 에이전트의 적응성 있는 협상 전략을 수용하면서 능률적이며 효과적인 멀티 에이전트에 대한 계약 방법론을 제공한다. 시간제한적 협상 구조(TBNF)의 장점은 다음과 같다.

- 1) 시간제한적 협상 구조(TBNF)는 보다 풍부한 의미론을 가지며 정보 제공성이 높은 구조를 제공한다.
- 2) 시간제한적 협상 구조(TBNF)는 에이전트에게 더욱 전략적인 대안들을 제시함으로써

계약과정을 촉진하는 구조를 제공한다.

- 3) 시간제한적 협상 구조(TBNF)는 특정 문제 영역과 상황에 대하여 적당한 구조와 프로토콜을 찾을 수 있는 배경을 제공한다.

감사의 글

이 연구는 한국학술진흥재단의 지원을 받아 이루어졌습니다

참고 문헌

- Beam, C. and A. Segev, Automated Negotiations: A Survey of the State of the Art, CITM Working Paper 97-WP-1022, Haas School of Business, UC Berkeley, 1997.
- Boddy, M. and T. Dean, Solving Time-Dependent Planning Problems, Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI-89), 1989.
- Collins, J., S. Jamison, M. Gini, and B. Mobasher, Temporal Strategies in a Multi-Agent Contracting Protocol, Proceedings of AAAI-97 Workshop on Using AI in Electronic Commerce, Virtual Organizations, and Enterprise Knowledge Management to Reengineer the Corporation, 1997.
- Davis, R. and R. Smith, Negotiation as a metaphor for distributed problem solving, Artificial Intelligence, Vol.20, No.1, 63-109, 1983.
- Decker, K, Environment Centered Analysis & Design of Coordination Mechanisms, Ph.D. Dissertation. University of Massachusetts at Amherst, Department of Computer Science (Advisor: Dr. Victor R. Lesser), 1995.
- Fisher, K., J. Muller, M. Pischel, and D. Schier, A Model for Cooperative Transportation Scheduling, Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems(ICMAS-95), 1995.
- Gomber, P., C. Schmidt, and C. Weinhardt, Auctions in Electronic Commerce - Efficiency versus Computational Tractability, Proceedings of the '98 International Conference on Electronic Commerce, 1998.
- Lin, G. and J. Solberg, Integrated Shop Floor Control Using Autonomous Agents, IIE Transactions, Vol.24, No.3, 1992, 57-71, 1992.
- Malone, T., R. Fikes, K. Grant, and M. Howard, Enterprise: A Market-like Task Scheduler for Distributed Computing Environments, The Ecology of Computation, North-Holland, 1988.
- Sandholm, T. and V. Lesser, Issues in Automated Negotiation and Electronic Commerce: Extending the Contract Net Framework, Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems(ICMAS-95), 1995.
- Sen, S. and E. Durfee, The Role of Commitment in Cooperative Negotiation, International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems, 3(1):67-81, 1994.
- Shaw, M. and A. Whinston, Task Bidding and Distributed Planning in Flexible Manufacturing, Proceedings of the Second IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications, Miami, 1985.
- Smith, R., The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver, IEEE Transactions on Computer, Vol.29, 1104-1113, 1980.
- Takuya, O., H. Kazuo, and A. Yuichiro, Reducing

- Communication Load on Contract Net by Case-Based Reasoning -- Extension with Directed Contract and Forgetting --, ICMAS-96, Dec.10-13, 1996.
- Van Dyke Parunak, H., Manufacturing experience with the contract net. In Proceedings of the Distributed Artificial Intelligence Workshop, 67-91, December, 1985.
- Vojdani, N., Distributed Manufacturing Control Using Fuzzy Contract Net, Applications of Fuzzy Logic(M. Jamshidi and L. Zadeh eds.), Prentice Hall Canada, 1997.