

멀티에이전트시스템에서의 협력을 위한 분산인공지능 조정모형

정동길*

A DAI Coordination Model for Cooperation in Multiagent Systems

Donggill Jung

Abstract

In this paper, the concept of coordination under the setting of cooperative multiagent systems is examined. Based on the concept, a computational model in which the key constructs of coordination can be precisely defined is developed. This model can serve as a basis for developing software systems designed to support coordination in Electronic Commerce. Coordination is viewed as management of conflicting demands on finite resources by actors or activities. The model views coordination as a cycle of four phases: the definition phase, the conflict resolution phase, the action phase, and the adaptation phase. Then, a formal model of coordination, both as a phenomenon and as a process is developed. Within the context of this model, important concepts such as decomposability, informational privacy, informational decentralization, and informational efficiency are examined.

Key Word: Multiagent systems, Distributed decision makings, Coordination

* 명지대학교 경영정보학과

1. 서 론

조정(coordination)이란 단어는 경영관리에서 가장 핵심적인 개념들중의 하나를 나타내면서 정의하기가 매우 어려운 복합적인 것이다. 조정에 대한 연구는 조직이론, 경제학, 최적제어론 (Optimal Control Theories), 분산인공지능(Distributed AI), 분산 및 병렬컴퓨터처리 (Distribute and Parallel Computing)과 같은 여러 학문 분야에서 지속적인 관심을 가지고 연구되어 왔다. 이들 여러분야에서 이루어진 조정에 대한 공통적인 연구주제는, 떨어져 있으면서 스스로의 의사결정 능력이 있는 실체들이 서로 상반되는 이해와 국지적인 정보와 견해만을 가지면서도 전체적인 목표(global goal)를 달성하기 위해 그 활동과 자원의 사용을 제어하는 데에 적용할 수있는 기본적인 원리의 탐구이다 [Malone et al., 1990].

컴퓨터과학과 그 응용차원에서 특히 조정의 개념과 원리의 이론적인 탐구가 현실적인 응용으로 많이 시도 되는 분야가 "컴퓨터 지원에 의한 협동 작업 (Computer-Supported Cooperative Work)" 또는 그룹웨어(Groupware) 분야이다. 이러한 그룹웨어로서 현재 시중에 상업적인 제품들이 많이 나오있고 많이 사용되기도 하지만 조정의 이론적인 원리의 연구결과를 반영한 제품은 거의 없는 것으로 보인다 [Grudin,

1988]. 반면에 대학의 연구실에서 만든 실험적 제품들 중에는 이론적인 원리의 연구결과를 반영한 것들이 있으나 상업화의 성공으로 이어지지는 못하고 있는 실정이다. 이 들 연구실 제품으로 잘 알려져있는 것은 Coordinator [Flores et al., 1988], COLAB [Grudin., 1988], OBJECT LENS[Malone et al., 1988] 등이 있다.

조정 의 원리에 대한 기본적인 이론의 개발은 다수의 연구자들이 다양한 시각에서 이루어졌다. 이들을 정리하면 다음과 같다.

- 패트리 넷을 이용한 분석적 접근 [Wang et al., 1990]
- 컴퓨터 언어와 오토마타이론으로부터의 접근 [Winograd, 1987]
- 분산인공지능 이론적인 접근 [Sardis et al., 1988]
- 경제학과 게임이론적인 접근 [Kurose et al., 1989] [Ledyard, 1991]
- 조직이론적인 접근 [Malone, 1987] [Flores et al., 1988] [Malone et al., 1990]

그러나 이들 이론적인 접근법들은 앞에서 언급했듯이 오늘날 광범위한 지역의 통신네트워크로 연결된 분산정보시스템 환경에서 발생하고 있는 전자상거래와 가상기업의 실행주체들인 전자상거래 에이전트들의 전자상거래 활동에 필요한 협상, 협동

과 조정에 관해 체계적이고 신축성있는 이론적 기초를 제공해 주지 못하고 있다 [정동길, 정철용, 1996]. 상기의 접근법들은 컴퓨터과학적인 접근에 치우쳐 분산컴퓨팅 시스템의 시각만을 강조하고 있거나, 게임이론과 경제학적 접근법과 같이 최소 자원의 배분과 시장의 균형에만 초점을 두고 있든가, 조직이론적 접근에서는 사회유기체로서 조직을 전체로한 조정에 대해서 접근을 하기때문에 컴퓨터와 분산네트웍, 전자상거래, 소프트웨어 에이전트들의 복합체인 전자상업이나 가상기업시스템을 모델링하기에 적합하지 않다.

이 연구논문의 목적은 정보통신 네트워크상의 소프트웨어 에이전트들이 전자상거래나 가상기업상의 활동을 수행할 때 에이전트들간의 조정과정에 대한 공식적 모형을 제시하고, 이 모형이 전자상거래나 가상기업의 에이전트의 조정행위를 나타내는데 있어 일반성과 신축성을 가진다는 것을 보이고자 한다. 이 목적을 위해 컴퓨터과학의 분산인공지능(Distributed AI)과 분산컴퓨팅(Distributed computing)이론, 일반인공지능분야에서의 지식기반시스템의 지식베이스(knowledge base)의 구조와 지식개정(Belief revision/update)에 관한 이론, 그리고 집단 의사결정(Group decision making)분야에서의 조정에 단계적 모형에 관한 이론을 결합한 종합학문적인 접근을 하기로 한다.

이에따라 이 논문은 제 2 절에서 전자상

거래 에이전트등의 조정행위를 4 단계의 단계적 과정으로 파악하고 이에 대한 몇가지 특성에 대하여 설명하고, 제 3 절에서는 이 단계적 과정을 공식적 모형으로 나타낸다. 제 4 절에서는 제시된 공식적 모형을 전자상거래와 가상기업적 환경에 적용하는 것에 대해 설명하고 제 5 절에서는 결론과 향후의 연구과제에 대해 기술한다.

2. 조정의 과정

2.1 조정의 내용

조정에 대한 정의는 여러 관점에서 내려질 수 있지만 본 논문에서는 전자상거래 에이전트들간의 조정이라는 측면에서 보기로 하고, 이에 대한 정의를, 지리적으로 떨어져 있고 자주적인 의사결정과 행위능력을 가지는 전자상거래 에이전트들이 유한한 자원을 놓고 서로 상충되는 이해와 요구사항을 충족시키고자 하는 일련의 상거래 과정에서 서로 통신하고 메시지를 주고받음으로서 행동 경로(course of action)을 수정하는 분산컴퓨팅의 한 형태로서 파악하고자 한다. 전자상거래의 장에서 조정이 일어나는 과정에 개입되어 있는 에이전트의 행동을 살펴보면 그 과정에서 측정되는 것은 통신하는, 즉 메시지를 주고 받는 행위이다. 다시말해서, 조정이란 한 에이전트가 다른 에이전트와 메시지를 교환하는 통신행위를 통해서 이루어진다. 그리고 이 통

신(메시지의 교환)은 에이전트의 의사결정과 실행으로 이어지고 의사결정과 실행은 다시 다른 에이전트와의 메시지 교환, 즉 조정을 유발하게 된다.

이 연구에서 조정을 포괄적으로 파악하여 공동문제의 정의에서부터 시작하여, 행동경로에 대한 의견상충의 해결, 집단 의사결정, 그리고 피드백에 이르는 문제해결의 전 과정을 지칭하는 것으로 이해하고자 한다. 그러나 조정을 이러한 포괄적인 개념으로 이해하고자 하는 것은 여기서 제시하고자 하는 조정의 이론모형이 일반성을 가지고 가능한 신축성을 갖고 적용되도록 하기 위함이다.

여기서 파악하는 조정의 또 하나의 특성은, 조정과정의 세부적인 활동에서 또한 조정이 발생하는 (또는 조정을 필요로 하는) 현상이 발생하는 것이 일반적이다. 그리고 이와 같은 조정활동의 수준은 분석목적에 따라 필요한 대로 정할 수 있다. 이와 같이 조정은 하나의 再歸的 現象이다. 따라서 조정을 큰 視覺(높은 수준)에서 분석할 수도 있고, 필요에 따라 낮은 수준(작은 시각)에서도 분석할 수 있다. 예를 들어 조직이론에서 조정은 조직전체의 차원 (또는 최고경영자의 시각)에서도 분석할 수 있고, 단위조직의 차원 (단위 부서장의 시각)에서도 분석할 수 있다. 이러한 조정의 상대적인 개념을 지칭하기 위해 “큰 시각에서의 조정 (Coordination in the large)” 대 “작은

시각에서의 조정 (coordination in the small)” 이라고 부르기로 한다.

이에 따라 본 연구에서 제시하고자 하는 조정은 전자상거래시스템에서 자주적인 의사결정과 조정활동에 참여할 수 있는 소프트웨어 에이전트간의 조정으로서 조직과 상거래 전체의 시각에서 조정활동을 수행하는 것은 현재의 컴퓨터 기술로서는 매우 어려운 과제이다. 따라서 여기에서는 작은 시각에서의 조정을 그 대상으로 하기로 한다.

2.2 이론의 기초

본 연구에서 제시하는 조정이론의 기초는 분산컴퓨팅(Distributed computing)이론과 모델, 인공지능에서의 知識狀態改定시스템 (Belief revision system), 그리고 그롭의사결정론에서의 위상전이모델 (Phase transition model) 이다. 특히 여기서 제시되는 조정모델은 엔슬로우에 의해 제시된 분산컴퓨팅모형 [Enslow, 1987], 가든포의 지식상태개정시스템 [Gardenfors, 1988], 멀로운의 위상전이모델에 기초를 두고 있다 [Malone, 1987]. 이들 이론에 대한 설명이 다음에 주어진다.

분산컴퓨팅모형: 엔슬로우는 분산컴퓨팅시스템의 특성을 다음과 같이 정의하고 있다:

- 분산된, 동시에 행하는 (distributed,

concurrent) 컴퓨팅 실체들이 複數개가 존재할 것

- 이 들 컴퓨팅실체가 물리적으로 (공간적으로) 분산, 격리되어 있을 것
- 이 들 분산컴퓨팅 실체들의 행동과 상태를 하나로 통일시켜주는 어떤 바탕이 되는 메커니즘과 철학의 존재
- 이 들 실체들간에 메시지의 교환으로 이루어지는 통신

따라서 본연구에서는 전자상거래 에이전트들간의 조정을, 지리적으로 떨어져 있고 자주적인 의사결정과 행위능력을 가지는 전자상거래 에이전트들이 유한한 자원을 놓고 서로 상충되는 이해와 요구사항을 충족시키고자하는 일련의 상거래 과정에서 서로 통신하고 메시지를 주고 받음으로서 행동 경로 (course of action)을 수정하는 분산컴퓨팅의 한 형태로서 파악하고자 한다.

知識狀態改定시스템: 분산인공지능시스템에서 지식개정은 에이전트가 새로운 정보를 획득함에 따라 그의 지식베이스의 지식상태를 개정하는 메커니즘에 관한 것이다. 분산 컴퓨팅시스템에서 컴퓨팅 실체들은 메시지를 교환함으로써 새로운 정보를 얻는데, 이 정보는 항상 그 에이전트가 가지는 기존 지식베이스의 지식상태와 논리적으로 부합하는 것은 아니다. 이 정보는 때때로 서로 모순 되기도하고 (conflicting), 불완전하기도하며 (incomplete), 또한 불확

실한 (uncertain) 경우도 있다 [Jung et al., 1993]. 그러나 여기에서는 메시지의 형태로 주어지는 정보가 불완전하거나 불확실하거나 또는 애매한 경우는 배제하도록 한다.

에이전트가 메시지를 수신할 경우, 이는 에이전트의 지식베이스에 입력으로 작용한다. 이 경우 에이전트는 자신이 가진 지식베이스의 지식상태를 어떻게 개정할 것인가 하는 문제에 부딪힌다. 가든포는 에이전트가 새로운 정보의 획득에 의해 지식베이스의 지식상태를 개정하는 메커니즘을 제시하고 있다 [Gardenfors, 1988]. 가든포에 의하면 에이전트의 지식상태개정시스템은 다음과 같은 컴포넌트를 가지는 "Cognitive or Conceptual Structure"이다.

- 지식베이스의 지식상태에 관한 모델의 집합. 이것은 에이전트에게 주어진 문제 (또는 타스크)에 관한 지식상태의 여러가지 가능한 지식베이스의 구조를 의미한다. 휴잇이 말하는 "Micro theories"와 같은 의미이다 [Hewitt, 1988].

- 지식상태를 나타내는 규칙(rules)이나 사실(facts)에 대한 평가함수들의 집합

- 지식베이스에 대한 입력의 집합. 지식베이스에 대한 입력은 지식획득 (Knowledge acquisition) 또는 학습에 의한 기존지식의 수정을 의미한다.

그룹의사결정에 있어서 조정의 위상전이모델(Phase transition model): 멀로우과 크

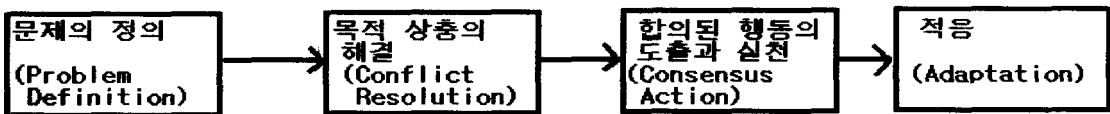
라우스틴은 그룹웨어의 설계에 대한 연구에서 집단의사결정과정에서 발생하는 조정을 4 단계의 단계적 과정으로 파악하고 이를 이용하여 설계된 그룹의사결정시스템이 더욱 그룹의 의사결정을 지원하는데 효과적임을 보였다 [Malone et al., 1990] [Malone, 1987]. 이 단계적 모형은 본 연구에서 제시하는 공식적 모델의 뼈대를 구성하는 것으로서 다음에 자세히 설명된다.

2.3 조정의 과정

멀로운에 의하면 조정은 <그림 1>에서 보여주는 바와 같이 서로 중복될 수 있는 4 개의 단계로 구성되어 있다. 이들 단계로

구성되는 조정과정은 앞에서 언급한 바와 같이 재귀적인 과정이다. 이들 각 단계를 설명하면 다음과 같다.

- 문제의 정의: 이 단계에서는 전자상거래 과정에 참여하는 에이전트가 새로운 정보를 획득하여 (특히 다른 에이전트로부터의 메시지로서) 가지고 있는 지식베이스의 현재의 지식상태를 새로운 지식상태로 개정하는 단계이다. 이 경우, 외부로부터의 정보는 불완전할 수도 있고, 여러 소스로부터의 메시지와 정보는 서로간에 상충되는 경우도 있을 수 있고, 또한 불확실하거나 하거나 애매할 수도 있다.



< 그림 1 > 조정의 단계 모형

그러나 이 모든 논리적 불일치성 중에서도 가장 해결하기 어려운 것은 에이전트간의 지식베이스의 논리적 불일치성이다. 서로 다른 에이전트간의 지식베이스의 지식상태의 논리적 일치는 시스템을 구축할 때부터 의도적으로 그렇게 하지 않는 한 매우 기대하기 어렵다.

그룹의사결정모델이나 시스템에서 문제의 정의 단계를 지원하기 위해 흔히 쓰이는 테크닉중의 하나가 “assumption-surfacing”이다. 또다른 예로는 MCC에서 개발한 gIBIS에서는 에이전트간의 서로 다른 지식베이스 모델을 공통적인 모델링언어를 사용하여 메타모델(의 인스턴스)로 변환하여 에이전트간의 공통적인 문제의 형태로 정의하도록 하는 방법을 사용하고 있다 [Conklin et al., 1989].

- 목표상충의 해결: 이 앞의 단계에서 에이전트간에 공통적인 문제의 정의에 이르면 문제의 해결을 위한 행동경로의 결정에 합의해야 한다. 그러나 공통적인 문제의 정의에는 합의했다 하더라도 에이전트가 속해 있는 시스템이 다름에 따라 그 목표도 다를 수밖에 없다. 만일 상거래에 참여하는 에이전트 당사자들이 각자의 원래 목표만을 고집한다면 공통적인 해에 이르는 것이 불가능할 것이다. 따라서 에이전트들간에 합의된 해에 이르기 위해서는 목표의 수정이 어떤 방식으로든지 수반되어야 한

다.

고전적인 게임이론의 관점에서 보면, 첫번째 단계인 문제의 정의에서는 게임의 정의에 이르는 것인데 반해, 두번째 단계는 게임의 (균형)해에 이르는 단계에 해당한다. 반면 분산인공지능이나 분산컴퓨팅이론에서는 첫째 단계와 둘째 단계를 한 단계로 묶어서 “협상(Negotiation)” 단계로 부른다.

- 합의에 의한 행동: 이 단계에서는 앞에서 합의 도출된 해 또는 의사결정을 실천에 옮기는 단계이다. 전자상거래에 참여하는 에이전트의 관점에서 볼 때 이 단계는 단지 정보처리상의 과정으로 끝나는 경우도 있고, 실제로 어떤 형태의 서비스나 유행재화를 포함하는, 인풋을 아웃풋으로 전환하는 과정을 포함할 수도 있다.

- 적응 단계(Adaptation Phase): 이 단계에서는 앞 단계에서 취한 행동의 결과에서 피드백을 받는 단계이다. 다음 절의 공식적 모형에서 보게 되지만, 이러한 피드백은 다음에 다시 돌아오는 협상(문제의 정의와 상충의 해결) 단계에 대한 페러미터의 수정(학습에 의해)으로 나타난다.

3. 조정의 공식적 모형

3.1 조정모형의 기초

이 절에서는 먼저 조정의 공식적 모형을 제시하는데 사용되는 일차적 근간요소(primitives)에 대해서 설명하고, 앞 절에서 제시한 조정의 4 단계를 인컴패스하는 조정 모형의 틀을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 전자상거래에서 에이전트들간의 조정은 일종의 분산컴퓨팅 과정으로 보기 때문에 이에 맞추어 에이전트의 컴퓨팅 행위상의 특성을 설명하기로 한다. 허윳즈에 의하면 [Hurwicz, 1977], 전자상거래 과정의 조정에 참여하는 에이전트는 컴퓨팅 실체임과 동시에 경제적 의사결정 실체임을 이해해야 한다.

조정 of 첫째 단계인 문제의 정의에서는 에이전트들간에 공통적인 문제의 정의에 이르기까지 메시지 교환이 이루어 진다. 이 단계에서 에이전트의 상태는 에이전트가 가지는 지식베이스의 현재의 지식상태로 주어진다. 이 단계의 끝은 에이전트간의 메시지 교환이 어느 에이전트의 지식상태도 더 이상 변화를 야기하지 않는 "fixed point equilibrium"에 도달하는 시점이 된다.

두번째 단계인 목적상충의 해결 단계에서는 에이전트간에 합의된 행동을 위한 해에 이르는 이르는 단계이다. 합의된 해에

이르는 의사결정과정에 있어서 에이전트는 자기에게 주어진 자원(이것을 "endowment vector"라고 부르자)과 endowment vector 공간에서 그 에이전트의 효용함수(utility function)에 의해 그의 의사결정을 나타낼 수 있다. 에이전트는 조정과 의사결정의 장에서 그의 endowment vector 를 최적화하는 방향으로 움직이는 과정에서 다른 에이전트의 메시지는 효용극대화에 대한 제약조건 또는 입력 패러미터로서 작용한다.

세번째 단계와 네번째단계는 합의된 해를 실천에 옮기고, 이 결과를 피드백하여 에이전트의 패러미터값의 변화를 일으키게 한다. 이 결과 에이전트는 다음에 반복되는 문제의 정의 단계와 상충해결 단계에서의 의사결정 행위의 패턴을 변화하게 된다.

3.2 조정모형의 일차적 근간요소

조정과정의 처음 두 단계는 본질적으로 반복적인 속성을 지닌다. 이러한 반복성은 메시지가 교환되는 시점마다 발생하는 현상을 보이게 된다. 따라서 에이전트의 조정과정의 모형은 먼저 에이전트간의 메시지 교환을 기술하는 언어의 설정으로부터 구축될 수 있다.

본 연구에서 제시되는 모델에는 두 개의 공식언어 (formal language) L 과 M 이 있다. L 은 문제의 정의를 위해 사용되는 메시지를 나타낸다. M 은 두번째 단계인 합

의된 해에 이르기 위해 교환되는 메시지를 나타낸다. 현재 상거래에 참여하는 에이전트는 N 개가 있고 이들은 각각 $1, 2, \dots, n$ 으로 나타내기로 한다. 이에 따라 조정과정의 첫째 단계와 두번째 단계에서 시점 t 에 교환되는 메시지 터플(tuple) 은 각각 $l_t = (l_{1t}, l_{2t}, \dots, l_{nt})$ 와 $m_t = (m_{1t}, m_{2t}, \dots, m_{nt})$ 로 나타내진다 (이 과정에 적용되는 통신 프로토콜은 중요하지 않다. 아주 단순한 시리얼 통신 프로토콜을 가정해도 관계 없다). 이에 더하여 앤슬로우의 분산컴퓨팅모델에 따라 다음을 정의한다:

R_i : 에이전트 i 의 endowment vector. 이 벡터의 엘리먼트 r_{ij} 는 에이전트 i 의 j ($j = 1, 2, \dots, p$) 번째 자원에 대한 endowment 를 나타낸다.

K_i : 에이전트 i 의 지식상태를 나타내는 벡터 (지식상태벡터). 이 벡터의 엘리먼트 k_{ij} 는 에이전트 i 의 j ($j = 1, 2, \dots, p$) 번째 자원에 대한 지식상태를 나타낸다.

S_i : 에이전트 i 의 지식상태를 나타내는 벡터 (지식상태벡터). 이 벡터의 엘리먼트 k_{ij} 는 에이전트 i 의 j ($j = 1, 2, \dots, p$) 번째 자원에 대한 지식상태를 나타낸다.

3.3 조정의 공식적 모형

앞에서 공식적 모형을 제시하기위한 언어와 기본요소들을 정의하였다. 이 절에서

는 조정의 각 단계가 이들 언어와 기본요소들을 가지고 어떻게 기술되는지를 보여준다.

3.3.1 문제의 정의 단계

문제의 정의 단계에서 각 에이전트는 다른 에이전트의 지식상태에 영향을 주기 위해 메시지를 보내게 된다. 에이전트 i 가 시점 t 에 메시지 $l_t = (l_{1t}, l_{2t}, \dots, l_{nt})$ 를 수신함에 따라 두 가지의 반응을 나타낸다. 하나는 인풋메시지에 반응하여 문제의 정의에 대한 내부 지식상태의 개정이고 (입력반응 지식상태 개정 함수), 다른 하나는 문제의 정의에 대한 개정된 지식상태를 메시지의 형태로 (다른 에이전트들에게) 내 보내는 것이다 (출력반응 지식상태 개정 함수).

• 입력반응 지식상태개정 함수: 이것은 다음과 같이 표현된다.

$$g_i^m ::= L^p \times \{p_i\} \times K_i \rightarrow K_i$$

• 출력반응 지식상태 개정 함수: 이것은 다음과 같이 표현된다

$$g_i^o ::= K_i \rightarrow L$$

만일 t 시점에서의 메시지와 $t+1$ 시점에서의 메시지를 연결시키면, 이 두가지 함수

는 결합되어 다음과 같은 메시지입출력반응 지식상태 개정함수로 표현될 수 있을 것이다.

$$g_i ::= L^n \times \{p_i\} \times K_i \rightarrow L$$

모든 에이전트 1,2,...,n 에 대해서는 다음과 같은 메시지입출력반응 지식상태 개정함수의 벡터 \mathbf{G} 를 정의할 수 있다.

$$\mathbf{G} ::= L^n \times \{p\} \times \mathbf{K} \rightarrow L^n \times \mathbf{K}$$

\mathbf{L} 과 \mathbf{G} 가 주어지면 t 시점과 $t+1$ 시점에서의 조정시스템의 상태의 트랜지션을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$(l_{t+1}, k_{t+1}) = \mathbf{G}(l_t, k_t; e)$$

문제의 정의가 완료되는 것은 \mathbf{G} 가 고정적인 균형해에 도달하는 시점, 즉 메시지의 교환으로 어느 에이전트의 지식상태도 더 이상 변화가 일어나지 않는 시점 t_e 이 된다.

$$(l_{t+1}, k_{t+1}) = \mathbf{G}(l_t, k_t; e), \text{ where } l_{t+1} = l_t \text{ and } k_{t+1} = k_t \text{ for all } t \geq t_e$$

3.3.2 상충해결단계

상충해결단계에서 에이전트는 첫째단계에서 정의된 문제에 대한 해로서 메시지를 보내게 된다. 최종 합의된 해에 이르기까지

의 메시지형태로 내보내는 해를 제안 (proposal)이라고 부르기로 한다. 에이전트 i 가 시점 t 에 메시지 $m_t = (m_{t0}, m_{t1}, \dots, m_{tn})$ 를 수신함에 따라 두 가지의 반응을 나타낸다. 하나는 입력메시지에 반응하여 해에 대한 내부 메모리상태의 개정이고 (입력반응 제안함수), 다른 하나는 해에 대한 개정된 메모리상태를 제안의 형태로 (다른 에이전트들에게) 내 보내는 것이다 (출력반응 제안함수).

• 입력반응 제안함수: 이것은 다음과 같이 표현된다.

$$f_i^m ::= M^n \times \{p_i\} \times H_i \rightarrow H_i$$

• 출력반응 제안함수: 이것은 다음과 같이 표현된다

$$f_i^o ::= H_i \rightarrow M$$

만일 t 시점에서의 메시지와 $t+1$ 시점에서의 메시지를 연결시키면, 이 두가지 함수는 결합되어 다음과 같은 에이전트 i 의 협상행위함수(Negotiation or Bargaining function)로 표현될 수 있을 것이다.

$$f_i ::= M^n \times \{p_i\} \times H_i \rightarrow M$$

모든 에이전트 1,2,...,n 에 대해서는 다음과

같은 협상행위함수의 벡터 F 를 정의할 수 있다.

$$F ::= M^n \times \{p\} \times H \rightarrow M^n \times H$$

M 과 F 가 주어지면 t 시점과 $t+1$ 시점에서의 조정시스템의 상태의 트랜지션을 다음과 같이 정의할 수있다.

$$(m_{t+1}, h_{t+1}) = F(m_t, h_t; e)$$

상충의 해결이 완료되는 것은 F 가 고정적인 균형해에 도달하는 시점, 즉 메시지의 교환으로 어느 에이전트의 제안도 더 이상 변하지 않는 시점 t_e 이 된다.

$$(m_{t+1}, h_{t+1}) = G(m_t, h_t; e), \text{ where } m_{t+1} = m_t \text{ and } h_{t+1} = h_t \text{ for all } t \geq t_e$$

이 단계에서 균형상태에 도달한 메시지, 즉 m_{t_e} 를 m 로 표시하기로 한다. 이 m 이 바로 이 단계에서 합의된 해에 해당되고, 다음의 합의된 행동 단계에서는 이 해의 실천(implementation)에 이르게 된다.

3.3.3 합의행동 단계

이 단계에서는 앞 단계에서 도출된 합의된 해 m 을 실천행동으로 옮기는 단계이

다. 이 단계의 행위함수는 다음과 같은 행동함수 $A(m)$ 에 의해 주어진다.

$$A(m) = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

에이전트 i 의 행동벡터 $A_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 라 하면, A_i 에 의한 그의 endowment vector의 변화는 다음과 같이 나타내진다.

$$X_i^{new} = T_i(X_i^{old}, A_i)$$

모든 에이전트 $1, 2, \dots, n$ 에 대해서는

$$X^{new} = T(X^{old}, A)$$

여기서 $T = (T_1, T_2, \dots, T_n)$ 이고 다음과 같이 정의 된다.

$$T ::= X^n \times A^n \rightarrow X^n$$

3.3.4 적응단계

이 마지막 단계에서는 에이전트는 앞에서 발생한 endowment vector 값의 변화에 대응하여 각자의 adaptation 패라미터의 값을 변화시킨다. 따라서 에이전트 i 의 adaptation 함수는 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$U_i ::= X_i \times X_i \rightarrow C_i$$

여기서 C_i 는 앞에서 설명한 바와 같이 에이전트 i 의 특성을 나타내는 페러미터들의 집합이다. 함수 U_i 는 endowment vector 값의 변화에 따른 에이전트 i 의 특성의 변화를 나타내는 함수이다.

4. 모델의 적용

4.1 모델이 함의하는 몇가지 사항

앞에서 제시된 조정의 공식 모형을 이용하여 전자상거래와 가상기업의 설계와 구축에 등장하는 몇가지 중요한 개념을 설명해 보기로 하자. 이들 개념들은 특히 소프트웨어 에이전트의 행위 연구에 관련된 필요한 기초가 되는 것들이다. 에이전트의 행위는 특히 그의 협상행위함수에 의해 결정된다. 앞의 절에서 고찰된 에이전트의 협상행위함수는 임의의 에이전트가 무제한의 메시지와 제안을 저장할 수있고 처리할 수있다는 것을 전제로한 것이었다 (Unlimited computing power). 반면에 한 시점에서의 메시지와 제안이 다른 모든 시점에서의 메시지와 제안에 독립적이지 않고, 그 이전 시점에서의 메시지와 제안에 의해 결정될 경우 이것을 일차 협상행위함수 (first-order negotiation function)라고 부른다. 일차 협상함수는 다음과 같이 기술될 수있다.

$$(m_{i,t+1}, h_{i,t+1}) = f_i(m_t, h_t; e)$$

만일 에이전트가 원래의 모델에서 가정된 것처럼 무한한 컴퓨팅능력을 가진다면 이 에이전트는 다른 에이전트에 관한 정보를 계속 축적하여 이들의 특성과 행동을 예측할 수있게 된다. 이것은 조정시스템에 참여하는 에이전트들의 "informational privacy"와 "informational decentralization"을 깨트리게 된다 [Enslow, 1987].

여기에서 제시된 조정의 공식적 모형에서는 에이전트간에 교환되는 메시지의 형태나 속성에 대한 특별한 제약을 두지 않았다. 그러나 현실적으로 보면, 모든 메시지가 항상 확정적이고, 완전한 것은 아니다. 메시지는 그 의미나 형식에 있어서 불확실하거나, 불분명할 수있고, 불완전하거나 서로 상충될 수도 있다. 이에 대한 연구는 기존의 인공지능분야에서 많이 이루어 졌다. 이러한 연구 결과를 본 연구의 조정 모형과 결합하여 확장시키는 것도 또 하나의 연구 과제이다 [Jung et al., 1993].

4.2 전자상거래와 가상기업의 에이전트

여기서 제시된 조정의 공식적 모형을 적용시켜 컴퓨터 시스템으로 구현할 수있는 구조를 제시한다. 이 시스템은 다음과 같은 세 개의 블록구조로 되어 있다.

- (n 개의) 상거래 또는 가상기업 에이전트: 각 에이전트는 케이스-기반 추론 (Case-based reasoning)을 할 수 있는 능력을 가진다.
- (하나이상의) 블랙보드: 이 블랙보드는 에이전트들이 메시지를 교환하는 장소이다.
- 전자상거래와 가상기업을 위한 조정과정의 단계별 기능들을 수행하기 위한 프로그램 모듈

이 절의 나머지 부분에서는 에이전트를 구현할 수있는 기술에 대해 설명하고 이를 이용한 전자상거래와 가상기업 아키텍처로서 대표적인 NIIP (National Industrial Information Infrastructure Protocol)에 대해서 설명하기로 한다.

4.2.1 에이전트 기술

최근 에이전트 기술은 차세대 사용자 인터페이스에서부터 광대역 네트워크, 그리고 개인 조수(personal assistants)에 이르기까지 광범위한 영역에서 각광을 받고 있다. 특히 계획, 분산 문제해결, 기계학습, 상식 추론, 자연어 처리 등을 할 수 있는 지능적 에이전트에 대해 많은 연구가 행해지고 있다. 예를 들어 전자상거래나 가상기업에서 일어나는 제반 사건들에 대해 모니터하는 프로그램은 바로 전자상거래와 가상기업을 대신하여 행동하는 에이전트이다.

기능적으로 전자상거래와 가상기업의 에이전트는 다른 엔타티를 대신하여 활동함으로써 전자상거래와 가상기업의 운영관리에 일조를 소프트웨어로서 사용자 에이전트, 작업 지향적 에이전트, 서비스 에이전트, 자원 에이전트, 정보 에이전트, 그룹 에이전트 등이 있다. 특히 장기적인 그룹 협력을 지원해야 하는 분야에 에이전트 기술이 많이 활용될 것으로 기대되고 있다. 구조적으로 보면 에이전트는 확장된 객체로서 표준 객체가 갖는 속성들과 오퍼레이션에 더하여 이벤트를 처리하거나 스크립트 해석기 혹은 규칙 관리 장치를 갖고 활동적 행위를 결정할 수 있는 등의 자치능력(autonomy)을 갖고 있으며, 또한 ACL (agent communication language)을 이용한 다른 에이전트와의 상호운영성(interoperability)을 갖는다.

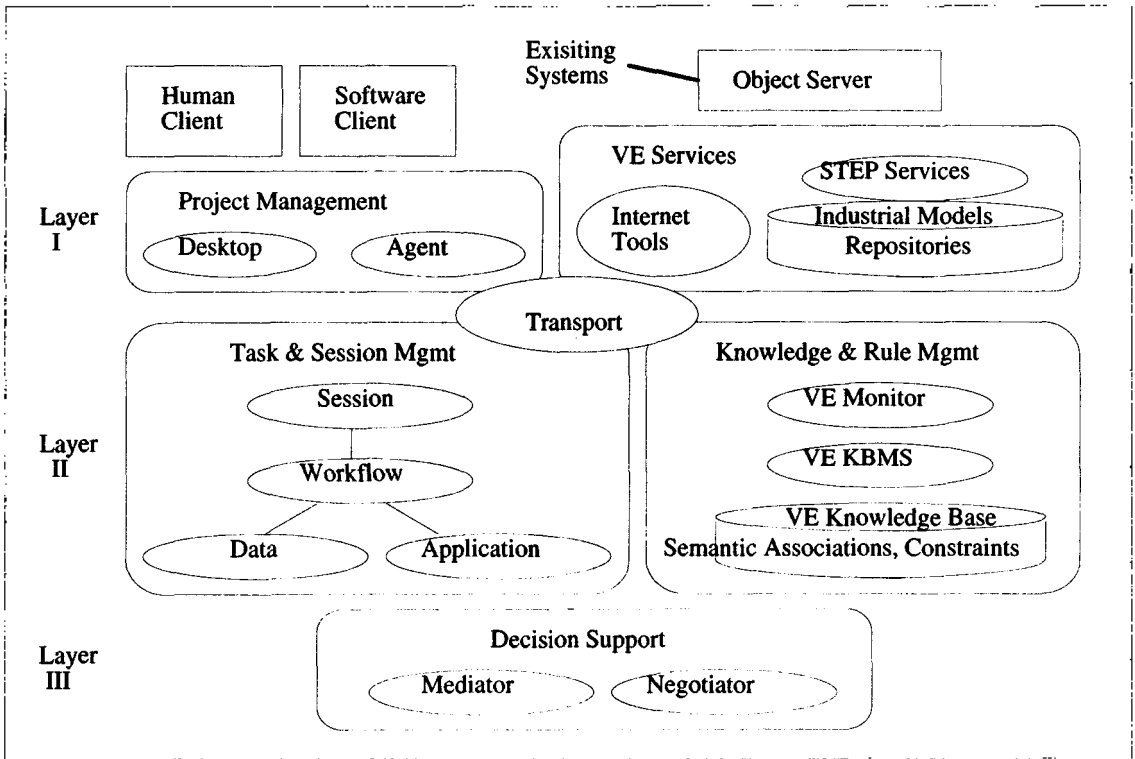
4.2.2 전자상거래와 가상기업 참조아키텍처

전자상거래와 가상기업 참조 아키텍처의 목표는 전자상거래와 가상기업의 연결성(connectivity), 산업 정보모형화와 교환, 그리고 전자상거래와 가상기업 프로젝트와 작업 관리에 대한 표준 해결안을 제공해주는 것이다. 인터넷, ISO의 STEP, WfMC의 표준, OMG의 기본 객체서비스 표준은 이러한 분야에서의 해결책을 상당 부분 제공해 주고 있으며, 이러한 기술위에 요구되

는 새로운 기술들이 개발, 통합되어야 한다.

NIIP의 전자상거래와 가상기업 참조모형은 13개의 구성요소로 이루어져 있으며,

이들은 다시 독립적인 5개의 서브시스템으로 구분되고 3개의 통제계층으로 나뉘어져 있다 [Goldschmidt, 96] (<그림2>의 NIIP 아키텍처 그림 참조).



<그림 2> NIIP 기반구조

첫번째 계층은 사용자 계층으로 최종사용자 응용시스템과 NIIP환경이 만나는 계층이다. 두번째 계층은 미들웨어 혹은 협력 서비스 계층으로 사용자 계층의 응용시스템에게 서비스를 제공한다. 세번째 계층은 중재 서비스 계층으로 다른 두계층에 대해 서비스를 제공한다.

프로젝트 관리 서브시스템은 최종 사용자에게 대한 통제기능을 나타내는 것으로 Desktop과 Agent로 구성되어 있다. 전자상거래와 가상기업 서비스 서브시스템은 설계 및 협업 톨로서 최종사용자에 대한 데이터 기능을 나타낸다. 작업 및 세션관리 서브시스템은 전자상거래와 가상기업내에서의 작업을 통제하는 것으로 여러 조직에 분산되어 있는 자원을 공유할 수 있다. 지식 및 규칙관리 서브시스템은 기업간의 자원공유를 허용하는 전자상거래와 가상기업의 규칙들을 탐지한다. 마지막으로 의사결정 서브시스템은 잘못된 요청을 해결하거나 용어나 events 등 새로운 지식 획득을 지원하며 에이전트 간의 분쟁을 협상하여 중재한다.

각 구성요소의 서비스 인터페이스는 CORBA IDL로 표현되며, 데이터 모형과 정보내용은 STEP 데이터 모델언어인 EXPRESS로 표현되고 있다. NCL(NIIP Common Language)은 IDL과 EXPRESS를 포함하는 언어로서 작업흐름과 액티브 객체

에서 요구되는 제약조건, 규칙, 관계 등을 표현할 수 있다. 각 구성요소의 서비스 내용은 <표 1>에 요약되어 있다.

NIIP의 구성요소는 CORBA 서비스 상에 구축되며 CORBA Facilities로 제안되었다. 그러나 CORBA는 여러가지의 전송 버스 가운데 하나로 TCP/IP, HTTP, SHTTP, SNA, DECNet 등도 사용될 수 있으며 이 경우 Transport 구성요소에 의해 CORBA로의 맵핑이 이루어진다.

5. 결론

이 연구에서 조정의 공식적 모형을 제시하고 이 모형이 정보네트워크상의 전자상거래나 가상기업의 주요 의사결정주체인 에이전트의 행위가 이 공식적 모형에 의해 설명될 수 있는가를 보였다. 조정과정에 대한 연구는 조직이론이나 경제학과 게임이론, 컴퓨터과학의 분산컴퓨팅이론이나 인공지능분야 등 다양한 관점에서 여러가지 접근법을 가지고 이루어져 왔다. 그러나 오늘날 전세계를 연결하는 정보통신네트워크에서 발생하고 있는 전자상거래나 가상기업상의 소프트웨어 에이전트들간의 조정에 대한 일반적이고 신축성 있는 이론의 틀이 제시된 적이 없다.

<표 1> NIIP 구성요소

구성요소	서비스 내용
Desktop	전자상거래와 가상기업에 대한 사용자 인터페이스 제공.
Transport	ORB가 아닌 통신환경에 대해 일반적인 인터페이스를 제공.
Agent	NIIP 지식베이스에 정의된 에이전트간의 통신을 관리.
STEP Services	NIIP 환경하에서의 STEP 툴 사용을 가능케 함.
Data Management	사용자 데이터 객체를 관리. 정보의 의미는 고려되지 않음.
Workflow	사용자 작업의 실행을 관리.
Session	사용자의 작업환경을 관리.
Application/Tool	툴의 호출, 응용시스템과의 데이터 이동 등을 관리하여 기존 시스템과의 통합을 가능하게 하는 서비스임.
Mediator	클라이언트들이 각기 자신의 용어를 사용할 수 있는 환경을 제공.
Negotiator	클라이언트와 서버간의 암묵적 협상으로 모든 NIIP 트랜잭션은 서비스 요청, 서비스 수행 동의, 결과의 전달, 수용이라는 4단계를 거침.
KBMS	규칙, 제약조건, Trigger 관리.
Internet Tools	NIIP환경하에서의 인터넷 툴 사용을 가능케 함.
VE Monitor	ORB 요청을 찾아내고, 이 요청이 유효한가를 검증하며, 요청을 다른 전자상거래와 가상기업 구성요소로 보내며 요청과 관련된 규칙이나 제약조건 확인 등을 실행.

본 논문에서 제시된 조정의 공식적 모형은 조정을 좀 더 포괄적인 과정으로 파악하여, 문제의 정의, 상충의 해결, 합의된 해의 실천, 적응의 네 단계로 구성되는 것으로 가정하였다. 이 네단계중 문제의 정의와 상충해결 단계는 흔히 협상 단계로 불리운다. 전체적으로 조정과정의 핵심을 이

루는 활동은 통신, 즉 메시지의 교환이다. 여기에서 제시된 조정모형에서 단계별 메시지의 교환행위를 모형화하기위해 메시지의 구송하는 언어를 먼저 도입하였다. 이 언어에 따라 문제의 정의 단계에서의 메시지의 교환은 에이전트의 지식상태 개정함수로 표현되었고, 상충 해결단계에서의 메

시지 교환은 협상행위함수로 표현되었다.

이 연구에서 제시된 조정모형을 전자상거래와 가상기업에 적용시키는 시도가 이루어 졌다. 전자상거래나 가상기업의 전체적인 구조와 과정에 대해서 아직까지는 확고한 이론으로 굳어져 있는 것은 아니지만 전자상거래와 가상기업에서 가장 핵심적인 구성요소 중의 하나인 (지능적) 에이전트의 행위는 본 논문에서 제시한 조정 모형이 가장 잘 부합되는 분야로 보인다. 전자상거래의 에이전트는 사람을 대신하여 상거래 과정에서 발생하는 문제의 정의와 대안의 생성 및 선택, 그리고 선택결과를 행동으로 옮기고 이에 대한 피드백으로서 자신의 문제해결과 조정과정에서 부여된 여러가지 패러미터들을 학습을 통해 수정할 수 있는 능력을 보유해야 하는데, 에이전트간의 전자상거래 실현과정에서의 조정현상은 이 연구에서 제시한 조정모형이 잘 표현하고 있다.

여기서 제시된 조정 모형은 몇 가지 관점에서 더 확장되거나 세련화 될 수있다고 보여진다. 첫째는, 문제의 정의 단계와 상충해결 단계에서 에이전트의 메시지 저장과 처리능력을 무한하다고 가정한 부분을 현실에 맞게 고쳐, 지식상태 개정함수와 협상행위함수의 형태에 제약을 두는 것이다 (일차 또는 N차 함수로). 이 경우 특정 조정과정에서 에이전트의 조정행위를 현실적으로 가장 잘 표현할 수있는 제약조건이

무엇인가 또는 어떤 형태의 함수이어야 하는가에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 둘째로, 제시된 모형에서는 에이전트간에 교환되는 메시지의 형태나 속성에 대한 특별한 제약을 두지 않았다. 그러나 현실적으로 보면, 모든 메시지가 항상 확정적이고, 완전한 것은 아니다. 메시지는 그 의미나 형식에 있어서 불확실하거나, 불분명할 수 있고, 불완전하거나 서로 상충될 수도 있다. 이에 대한 연구는 기존의 인공지능분야에서 많이 이루어 졌다. 이러한 연구 결과를 본 연구의 조정 모형과 결합하여 확장시키는 것도 또 하나의 연구 과제이다.

본 연구의 관점은 전자상거래나 가상기업에 참여하는 의사결정 주체의 개별적인 입장, 즉 미시적인 접근을 취하고 있다. 그러나 전자상거래나 가상기업이 일반화되는 사회에서 사회전체적 관점에서의 여러가지 문제와 이슈에 대한 연구, 즉 거시적 접근에 의한 여러가지 연구도 물론 활발히 이루어져야 할 분야이다.

참고문헌

- [정동길, 정철용, 1996] 정동길, 정철용, "가상기업의 구축전략," 한국 CALS/EC 학회지, 제 1 권 제 1 호, pp. 27-50, 1996.
- [Enslow, 1987] P. H Enslow Jr., "What is a distributed computing system? " Computer, vol. 11, no 1, pp. 13-21, 1987.
- [Flores et al., 1988] F.Flores, M. Graves, B. Hartfield and T. Winograd, "Computer systems and the design of organizational interaction, "ACM Trans. Office Inform. Syst., vol.6. no. 2, pp.153-172, Apr. 1988
- [Gardenfors, 1988] P. Gardenfors, Knowledge in Flux: Dynamics of Changes in Epistemic States. Cambridge, MA : MIT Press, 1988.
- [Goldschmidt, 1996] T. Goldschmidt, "Report on NIIP," Communications of the ACM, Vol. 39, No. 3, pp. 21-50, 1996.
- [Grudin, 1988] J. Grudin, "Why CSCW applications fail : problems in the design and evaluation of organization interfaces," in Proc. Conf. Computer Supported Cooperative Work, Sept. 26-28, pp. 85-93, 1988.
- [Hewitt, 1988] C.Hewitt, "Offices are open systems," ACM Trans. Office Inform. Sust., vol.6, no. 3, pp. 271-287, 1988.
- [Hurwicz, 1977] L. Hurwicz, "Optimality and informational efficiency in resource allocation processes", in Studies in Resource Allocation Processes, K. Arrow and L. Hurwicz, Eds. New York : Cambridge University Press, 1977.
- [Jung et al., 1993] Jung, Donggill and J.Burns, "Inexact Reasoning and Learning Systems for Executive and Decision Support: A Conceptual Study," Decision Support Systems, No. 10, 1993.
- [Kurose et al., 1989] J.F.Kurose and R. Simha, "A microeconomic approach to optimal resource allocation in distributed computer systems", IEEE Trans. Computers, vol. 38, no. 5, pp.705-717, 1989.
- [Ledyard, 1991] J.O.Ledyard, "Coordination in shared facilities", Journal of Organizational Computing, vol. 1, no. 1, 1991.

- [Malone, 1987] T.W.Malone, "Modeling coordination in organization and markets", *Management Science*, vol. 33, pp.1317-1332, 1987.
- [Malone et al., 1988] T.Malone and K.Y.Lai, "Object Lens : A 'Spread-sheet' for cooperative work", in *Proceedings of Conference on Computer Supported Cooperative Work*, Sept. 26-28, pp.115-124, 1988.
- [Malone et al., 1990] T.W.Malone and K.Crowston, "What is coordination theory and how can it help design cooperative work systems?" in *Proceedings of Conference on Computer supported Cooperative Work*, pp.357-370, 1990.
- [Pan et al., 1995] J.Pan and J.Tenenbaum, "An Intelligent Agent Framework for Electronic Commerce," *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 21, No. 6, pp.1391-1408, 1995.
- [Saridis et al., 1988] G.N.Saridis and K.P.Valavanis, "Analytical design of intelligent machines", *Automatica*, vol. 24, pp.123-133, 1988.
- [Wang et al., 1990] F.Y.Wang and G.N.Saridis, "A Coordination theory for intelligent machines", *Automatica*, vol. 26, pp.833-844, 1990.
- [Winograd, 1987] T.Winograd, "A Language/Action perspective on the design of cooperative work", *Human Computer Interaction*, vol.3, pp.3-30, 1987.

저자소개

정동길

명지대학교 경영정보학과의 교수로 재직중이다. 1977년 서울대 경제학과, 1979년 서울대 대학원 경영학과, 1981년 한국과학기술원 산업공학과를 거쳐 1981년부터 1985년까지 (주)대우조선, 데이콤, 성균관대 산업공학과에 재직하였으며 1990년 미국 텍사스 텍 대학교에서 경영정보학으로 박사학위 취득하여 귀국한 후 한국전산원에서 컴퓨터통신망과 EDI 전자문서 표준화분야에서 일한 후 1993년 명지대 경영정보학과로 옮겼다. 현재 관심분야는 전자상거래와 가상기업, 그리고 그 관련분야이다. 특히 전자상거래과정에서 지능적인 에이전트간의 상거래 협상과 가상기업의 형성과 운영에 필요한 여러가지 프로토콜과 그 구조의 연구에 초점을 두고 있다.