

■ 技術研究 ■

교통시스템분석시 에이젠트기반모형기법의 적용

Application of Agent-based Modelling on Transport Systems Analysis

이 종 호

(경기대학교 도시·교통공학전공 부교수)

목 차

- I. 서론
- II. 교통분석에 새로운 개념의 도입 필요
- III. 에이젠트기반모형의 구성
 - 1. 에이젠트의 구조
- IV. 에이젠트기반모형의 적용사례
 - 1. 컴퓨터공학
 - 2. 생물학
 - 3. 사회학
- V. 교통분야에 에이젠트기반모형의 적용
 - 1. 교통류 모형
 - 2. 교통운영
 - 3. 공항관제
- VI. 적용 가능성 및 한계성
- VII. 결론
- 참고문헌

Key Words : 에이젠트(agent), 에이젠트시스템(agent system), 에이젠트기반모형(agent-based modelling), 복잡계(complex system), 다중에이젠트시스템(multi-agent system)

요 약

교통문제는 사회시스템이 복잡해짐에 따라 더욱 대처하기 어려운 국면으로 가고 있다. 따라서 교통시스템의 변화 예측도 용이하지 않다. 복잡계(complex system)의 하나로 볼 수 있는 교통시스템을 대처하는데 있어, 전통적인 상의하달(上意下達) 접근에 한계가 있음을 부인할 수 없다. 지난 10여년 동안 물리학, 시스템공학, 컴퓨터공학 분야 등 다양한 분야에서 복잡계에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 복잡계의 해석을 위한 새로운 개념과 접근기법들이 도입되고 있는데, 그들 중 에이젠트기반모형(agent-based modelling)은 교통분야에 적용 가능한 매우 흥미를 있는 기법으로 보인다. 본 글에서는 에이젠트기반모형이 무엇이며, 어떻게 사용되고 있으며, 교통분야에서의 적용가능성을 검토하였다.

본 글에서 제시한 에이젠트기반접근은 기존 방법과는 다른 하의상달(下意上達) 방식의 기법이다. 이는 시스템의 개별 구성원인 에이젠트의 행태와 에이젠트간의 상호작용에 초점을 둔다. 에이젠트의 행태와 상호작용의 규칙이 변함에 따라 전 에이젠트시스템에 나타나는 변화를 추적할 수 있다.

오늘날 교통문제의 복잡성은 교통시스템의 더욱 세분화된 하부시스템의 다양화와 상호작용, 그리고 개별 차량 또는 운전자의 행태와 상호작용에서 기인된다고 볼 수 있다. 따라서 에이젠트기반의 접근은 아직 연구는 미흡하지만 복잡한 교통시스템의 운영과 분석에 적용잠재력이 큰 기법으로 판단된다.

I. 서론

지난 수십년 동안 교통문제를 파악하고 해결하려는 각종 방법들이 강구되어왔다. 그러나 교통문제는 공학에 국한되지 않고 정치, 경제 등 관련분야가 확대됨에 따라 더욱 복잡한 양상을 띠고 있다. 이로 인하여 대부분의 교통전문가들은 교통시스템을 복잡한 사회시스템, 특히 도시시스템의 일부로 본다. 이 때문에 통행을 도시시스템에서 외부로 나타나는 하나의 현상으로 이해하고 교통문제를 시스템적으로 접근한다. 교통시스템을 일련의 사회 목표를 성취하기 위해 수많은 요소들이 상호 연결되어 움직이는 사회시스템의 일부로 보고 교통문제를 해결하고자 하는 것이다.

교통문제의 해결과정은 여러 제약조건들 하에서 최적의 목표에 도달하기 위한 방안모색의 과정으로 이해될 수 있다. 그러나 대부분의 경우에 이들 목표나 제약조건들이 제대로 이해되지 못하고 있으며 애매(fuzzy)한 경우가 많다. 더구나 교통문제 자체도 집단마다 이해의 정도가 다르기 때문에 관련 이해집단들이 모두 만족하는 대안을 찾기가 용이하지 않다. 이러한 교통문제를 상의하달(上意下達)식 전통적인 교통분석기법만으로는 대처하기 역부족인 것으로 판단된다.

지난 10여년 동안 물리학, 시스템공학, 컴퓨터공학 분야 등 다양한 분야에서 복잡계(複雜系, Complex System)에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 이 복잡계의 해석을 위한 새로운 개념과 접근기법들이 도입되고 있는데, 그들 중 에이전트기반모형(agent-based modelling)은 하나의 복잡계로 볼 수 있는 교통시스템분석에 적용 가능한 매우 흥미있는 기법으로 보인다. 먼저 대상 시스템이 에이전트들로 구성된다. 여기서 각 에이전트는 시스템 전체와 관련된 자료나 지식(global knowledge)은 가지고 있지 않은 반면, 개별 자료나 지식(localized knowledge)만 가지고 다른 에이전트들과 상호 교류한다. 이 개념을 교통분야에 적용한다면, 작게는 보행자, 운전자, 신호시스템 등이 도시교통시스템의 에이전트들이 될 수 있으며, 크게는 도로, 철도, 공항, 항만시스템을 지역간교통시스템의 에이전트들로 가정할 수 있다. 또한 이들 시스템의 전반적인 효율성은 에이전트간의 상호 교류 및 반응의 결과로 볼 수가 있다.

본 글에서는 에이전트기반모형이 무엇이며, 어떻게

사용되고 있으며, 교통분야에서의 적용가능성을 검토해보기로 한다. 먼저 작금의 교통문제의 특징과 새로운 접근 방법의 필요성을 논한다. 그리고 현재 부각되고 있는 에이전트기반모형의 기본 개념을 제시하고, 타 분야에서 적용 사례를 살펴본다. 또한 에이전트기반모형의 교통분야에서 현재 적용사례와 가능성 그리고 한계성을 논한다.

II. 교통분석에 새로운 개념의 도입 필요

전통적 교통분석은 대상 시스템을 지배하는 규칙 또는 성향(선형관계, 정규분포 등)을 가정한다. 이러한 접근방법은 경제학, 물리학, 수학분야의 분석방법에서 많이 볼 수 있다. 즉, 규칙을 가정한 후 실험이나 조사를 통해 증명하고, 특정 상황을 위한 모형개발에 적용한다. 개발된 모형들은 각종 의사결정과정에서 필요한 예측, 진단, 그리고 제어에 사용되기도 한다. 이와 같은 분석방법은 상의하달(top-down)식 접근방법이다.

그러나 교통분석의 정도(精度)가 매우 높아졌으며, 토지이용, 환경, 에너지, 삶의 질을 동시에 고려하게 되었다. 이로 인해 분석방법이 더욱 복잡하게 되었으며 다차원적(multi-dimensional)으로 변했다. 이러한 상황을 정리해 보면 다음과 같다.

- 교통시스템과 관련된 이해집단이 증가되었다. 교통시스템의 사용자, 비사용자(사용하지 않지만 간접 영향을 받는 집단), 시스템의 민간공급자, 공공공급자 등으로 매우 다변화되었다.
- 교통문제의 해결방안이 한 개가 아닌 복수방안이 요구된다. 이는 해결의 목표가 하나가 아닌 복수가 될 수도 있으며, 경우 따라 목표간에 상충이 되기도 한다. 결국 의사결정자는 대안들의 우선순위결정시 방향을 하기도 한다. 즉, 시스템에 관한 불확실성(uncertainty)이 더욱 높아진 것이다.
- 컴퓨터, 통신기술이 발달하여, 엄청난 양의 교통시스템 관련 정보를 사용할 수 있게 되었다. 따라서 정보에 걸맞은 분석의 깊이가 요구된다.
- 기존 교통시스템에 첨단기술로 개발된 새로운 요소(subsystem)가 도입되는 등 지속적으로 하부구조가 급변하고 있다. 그 결과 시스템 구성요소간 기술수준이 현저히 차이를 보이는 등 시스템 내부에

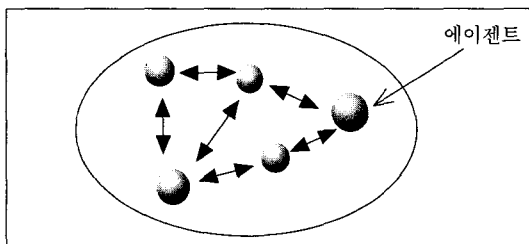
이질성이 발생하게 되었다. ITS의 통신 및 정보체계가 그 좋은 예가 된다.(Kikuchi 외, 2002)
 - 결국 교통시스템은 하나의 복잡계로 가정되어 접근되어야 한다.

따라서 전통적인 접근방법으로서는 이와 같이 복잡하며 다차원적인 교통문제를 대처하기에는 한계가 있음을 부정할 수 없다. 본 글에서 논의되는 새로운 접근은 시스템 전체의 규칙을 가정한 후 증명하기보다는 시스템의 개별 구성요소들의 규칙과 구성요소들간의 상호작용(interaction)을 이해하고 시뮬레이션함으로써 시스템 전체의 규칙과 성격을 규명해 보고자 하는 하의상달(bottom-up)식 방법이다. 예를 들면 교통류에서 개별 운전자는 차량의 가속, 감속, 차선변경과 몇가지 규칙을 따르는 운전행태를 보이지만, 이들 운전행태의 집합은 전체 교통류의 다양한 변화를 초래한다.

III. 에이전트기반모형의 구성

에이전트기반모형은 일반 수학적 알고리즘과는 거리가 멀다. 대신 에이전트기반시스템(agent-based system)¹⁾을 기본 환경(platform)으로 채택한다. 에이전트기반시스템은 시스템 내에 에이전트가 존재하며, 이 에이전트는 주어진 시스템 환경 하에서 주어진 규칙(임무) 또는 지시를 따라 행동한다. 물론 여기서 규칙이나 지시란 시스템의 운영자가 결정한다. 이때 에이전트가 복수가 되면 다중에이전트시스템(multi-agent system)으로 불리며(〈그림 1〉), 에이전트간의 교신, 협동, 정보 및 지식교환이 가능해진다.

에이전트(agent)는 매우 다양하게 정의되고 있다.



〈그림 1〉 다중에이전트시스템의 개념도

Hewitt(1997)는 지시를 받아, 주어진 임무를 수행할 수 있는 개체로 정의하였다. Jeenings와 Wooldrige(1998)는 주어진 임무를 혼자 수행(autonomy)할 수 있는 개체로 표현하였다. 여기서 혼자 수행할 수 있다는 의미는 다른 에이전트나 운영자(인간)에 의해 방해받지 않고(경우에 따라서는 새로운 지시를 받을 수 있음) 주어진 규칙에 따라 알아서 임무를 수행함을 말한다. 또한 Jeenings와 Wooldrige(1998)는 에이전트는 환경의 변화에도 적절히 대처하며, 목표(운영자가 명령한)지향적인 행동을 하며, 임무수행에 도움이 된다면 다른 에이전트들이나 인간(시스템의 운영자 및 자연인)과도 정보교환이 가능하여야 한다고 주장한다.

한편 Moulin 외(1996)는 에이전트는 추론기능과 지식취득 기능을 보유한 혼자 임무를 수행할 수 있는 합리적인 개체(autonomous rational entity)라고 정의하였으며, 구조적으로는 다른 에이전트와의 관계, 역할분담, 협동이 가능한 개체(object)로 설명하고 있다. Nwana(1992,1996)는 사용자를 위하여 주어진 임무를 수행할 수 있는 소프트웨어나 하드웨어라고 정의하고 있는데, 인간사회의 각종 에이전트(여행사, 국가정보기관 등의 에이전트)와 차이점이 없다. 이와 같이 에이전트의 정의가 아직 정립이 되지 않았지만, 여러 관련 연구를 바탕으로 에이전트의 속성을 요약하면 다음과 같다.

- 인식능력을 가지고 있을 것(cognitive ability), 인식능력은 각 에이전트는 주어진 임무의 목표를 인지하여 임무 수행시 필요 또는 불필요한 과정과 절차를 구별 판단한다. 고속도로상의 각 차량 또는 운전자(에이전트)는 주변에 주행차량이 매우 적어도 일정한 속도(임무 또는 목표)를 유지하는 인식능력을 가진다.
- 반응능력을 가질 것(reactive ability), 반응능력은 과거의 경험이나 선택 가능한 행동으로부터가 아닌 자극에 의한 대응으로서 행동하는 능력을 의미한다. 지체되고 있는 도로구간에서 각 차량 또는 운전자(에이전트)는 단순히 앞차의 움직임에 따라 가다 섰다(반응)를 반복한다.
- 혼자 주어진 임무를 수행할 수 있을 것(autonomy),

1) 에이전트기반시스템(agent-based system)을 에이전트시스템(agent system), 인텔리전트시스템(intelligent system) 등의 용어로도 사용되고 있음.

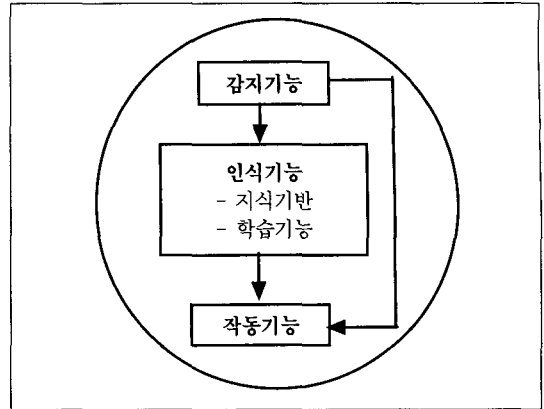
즉, 인간의 개입 없이도 주어진 임무를 수행할 수 있는 능력이 있을 것.

- 사회성이 있을 것(social ability). 즉, 임무를 성공적으로 수행하기 위해 다른 에이전트들과도 의사 또는 정보교환(interface)이 가능한 협동(collaborative) 능력이 있을 것. 예를 들어, 항공관제사의 경우 각 관제사(에이전트)는 할당된 항공기를 유도하되 타 관제사와 협력하여 전체 관제시스템의 효율과 안전 목표를 추구한다. 또한 도시의 개별 교차로의 신호등을 에이전트로 가정할 경우, 이들은 각 교차로에서 용량을 최대함과 동시에 타 교차로의 신호등과 협력하여 전체 도시신호시스템의 용량을 최대화하려고 한다.
- 변화하는 환경을 받아들이며(responsiveness) 적극적으로 대처(pro-activeness)를 할 수 있을 것. 즉, 임무수행을 위해 변화하는 환경에 적절히 대처할 수 있는 능력이 있을 것.
- 지식습득능력이 있을 것(learning ability). 즉, 임무를 보다 효과적으로 수행하기 위해 관련 지식을 지속적으로 습득할 수 있을 것. 지식습득능력으로 각 에이전트는 과거의 경험으로부터 지식을 습득하며 타 에이전트와의 지식의 교환을 통해 자기개발을 해나간다. 즉, 시간이 지날수록 지식기반(knowledge base)이 확장되어 임무수행시 오차가 감소하게 된다.

교통분야에서 신호시스템, 항공관제, 버스, 철도교통시스템 등도 위의 속성을 가지면 하나의 에이전트시스템으로 볼 수 있으며, 특히 운전자는 위의 속성을 다 가지는 에이전트이며 운전자가 속해 있는 도로교통시스템은 다중에이전트시스템으로 볼 수 있다.

1. 에이전트의 구조

앞의 속성을 가지는 에이전트는 감지기능(sensor), 인식기능(cognition), 작동기능(actuator), 3개의 전형적인 모듈로 구성된다(〈그림 2〉). 감지기능은 주변 환경과 다른 에이전트의 존재를 확인하는 기능을 말하며, 인식기능은 에이전트 개인의 정보교환, 상호 협력 등을 통하여 임무 수행을 제어하며, 학습과 지식기반이 이를 뒷받침한다. 이때 에이전트는 주변 환경을 감지하고, 주어진 임무의 목표와 목표를 향한 수행계획을 수립할 수 있다. 그리고 작동기능은 수행계



〈그림 2〉 에이전트의 구조

획을 집행하는 기능으로 목표를 향한 일련의 행위를 수행하는 기능을 말한다.

IV. 에이전트기반모형의 적용사례

현재 컴퓨터공학, 생물학, 그리고 사회학 등에서 에이전트기반모형기법이 적용되고 있다. 그 중 몇 가지의 사례를 살펴보기로 한다.

1. 컴퓨터공학

이미 10여전부터 컴퓨터공학, 특히 AI(인공지능) 분야에서는 에이전트기반모형의 적용이 인터넷의 발달과 더불어 활발히 연구되고 있으며 실생활에 적용되고 있다. 그 중 소프트웨어에이전트시스템(software agent system)(Franskin과 Graesser, 1996)은 이미 실용화되고 있다. 예를 들어 인터넷상에서 특정 정보를 찾기 위한 에이전트시스템(예, 검색엔진), 워드프로세서의 자동오타정정 에이전트시스템(예, spell checker) 등의 단순한 에이전트시스템은 이미 폭넓게 응용되고 있다. 이들 소프트웨어 에이전트시스템들은 다음에 소개될 생물학, 사회학, 그리고 교통분야에서 연구되고 있는 에이전트시스템들과는 차이가 있다. 즉, 소프트웨어 에이전트의 경우는 에이전트시스템의 운영자는 에이전트들의 임무수행의 결과(검색결과, 오타수정 등)에 관심이 있는 반면, 각 에이전트의 임무수행의 결과로 나타나는 시스템 전체의 변화에 대해서는 관심이 없다. 또한 소프트웨어 에이전트시스템의 연구자들 간에는 에이전트와 일반 프로그램과의

차이에 대해 논쟁을 계속하고 있다. 지금까지의 공통된 의견은 앞장에서 정의한 에이전트의 속성들을 다 만족하지 못하는 에이전트는 일반 프로그램으로 분류하여야 한다고 주장하고 있다(Ndumu와 Nwana, 1997).

이와 같은 소프트웨어 에이전트시스템을 구축하기 위해서 개발된 프로그래밍언어(agent language)들이 속속 등장하고 있다. General Magic 회사의 TELESRIPT, Santa Fe 연구소의 SWARM Intelligent, Automation 회사의 CYBELE 등이 대표적인 것들이다. 물론 JAVA나 C++와 같은 목적기반(object-oriented) 프로그래밍언어가 사용되기도 한다.

2. 생물학

또한 에이전트기반모형은 행동과학이나 생물학 분야의 복잡계와 연관되어 연구되고 있다. 새떼, 메뚜기떼와 물고기떼 등의 복잡계를 에이전트시스템으로 가정한다. 예를 들어 메뚜기떼를 보면 각 메뚜기는 바로 옆 메뚜기의 움직임에 따라 움직일 뿐(local interaction among decentralized components) 메뚜기 전체의 움직임은 관심도 없고 알지도 못한다. 그렇다고 메뚜기떼를 인도하는 메뚜기 중의 대장(organizer 또는 coordinator)이나 그 무엇이 있는 것(아직 밝혀지지 않음)도 아니다. 그러나 각 메뚜기의 이러한 행동으로 전 메뚜기떼의 매우 정교한 집단움직임(synchronized movements)을 볼 수 있다.(Resnik, 1997) 여기서 각 메뚜기는 에이전트로 가정되며 메뚜기떼는 에이전트시스템으로 볼 수 있다.

지구상에서 이미 수백 만년을 진화해 온 벌, 흰개미(termite) 등의 군집생활을 하는 곤충들은 벌집이나 개미집 등 복잡한 구조물을 손쉽게 만드는 모습을 볼 수 있다.(벌 또는 개미의 머리 속에 집 전체의 설계도면에 관한 지식이 있을 수 없다²⁾는 가정 하에서는 놀라운 사실이 아닐 수 없다.) 이들은 상호의사소통과 역할분담을 하여 변하는 환경에 유연하게 대처한다. 그들의 집이 자연재해에 의해 파손이 되어도 쉽게 복구하는 모습을 볼 수 있다. 여기서 벌, 개미집

단을 에이전트시스템으로 볼 수 있으며 각 벌과 개미들은 앞장의 속성을 가지는 에이전트가 된다.³⁾

인공생물시스템으로 잘 알려진 연구로서 개미의 지점간 최단 거리를 찾는 습성을 이용한 개미시스템(Ant System)을 들 수 있다. 여기도 각 개미는 에이전트로 개미시스템은 에이전트시스템으로 가정된다. 개미시스템(Dorgio, 1992, Dorgio 외, 1996, 1997, Bullnheimer 외, 1998, 1999)은 외판원문제(Traveling Salesman Problem)와 같이 방문지점(N)수가 증가함에 따라 계산시간이 기하급수적((N-1)!)으로 증가하는 최적화문제의 발견적기법(meta-heuristic)으로 연구되고 있다. 또한 Lucic 외 (2001)는 벌의 사회성을 이용한 벌시스템(Bee System)을 제안하였다. 이때 개별 벌이 에이전트가 된다. 벌시스템의 주목적은 개미시스템과 같이 노선의 최적해를 구하기보다는 벌떼의 집단적인 사회성(collective bee's intelligence)을 복잡계에 적용해 보려는 시도로 볼 수 있다. 즉, 벌떼의 집단행동(먹이사냥, 적으로부터의 방어, 일의 분담 등)이 어떻게 정교한 벌집을 만들며, 벌꿀을 조달하는지에 대한 의문이 연구의 시작이 되었다.⁴⁾

3. 사회학

Drogoul과 Ferber(1994)는 다중에이전트기반모형기법을 생태학과 사회(sociological) 시스템에 적용하였다. 이들이 제안한 MANTA라는 모형은 개미사회의 변화 과정을 모의실험(시뮬레이션)하였다. MANTA는 에이전트시스템으로서 환경에이전트, 감시에이전트, 알부화담당에이전트, 여왕벌 에이전트로 구성되었다. 각 에이전트에 역할과 에이전트간의 상호반응의 규칙을 부여한 후 개미사회의 변화를 실험하였다.

Dean 외(2000)는 Anasazi(미국 콜로라도 고원의 Pueblo 문화를 이뤘던 고대 사람들)의 문명의 변천 과정을 에이전트기반모형으로 설명하였다. 에이전트로 는 이 사회에 거주하는 인간뿐 아니라 주변 여건(토지 이용, 거주지, 사회기반시설, 部族 등)들도 포함시켰으며, 각 에이전트에 수명, 활동영역, 필요한 영양,

2) 아직 증명이 되지 않음.

3) 벌과 개미가 먹이를 찾았을 때 벌들이 춤을 춘다던가, 개미들은 화학분비물(pheromone secretion)을 배설하는 행위로 동료 벌이나 개미에게 의사를 전달하는 경우를 볼 수 있다. 이러한 개별 곤충들간의 의사소통방법은 전체 곤충집단의 지혜(collective intelligence) 형성에 기여하고 있다는 것이다. 이 집단의 지혜를 "Swarm Intelligence"로 표현하기도 한다.(Beni, 1988, Beni 외, 1989, 1992, Bonabeau 외, 1999)

4) <http://www.iwr.uni-eidelberg.de/iwr/comopt/>

소비활동 등 다양한 속성들을 부여하였다.

Kohler 외(2000)도 A.D. 900에서 1300년 사이 미국 콜로라도 남서지역의 거주형태의 변화과정을 에이전트기반모형으로 실험하였다. 여기서 에이전트는 각 가구(household)로 가정하였으며, 실험 결과와 이 지역 고고학 자료와 비교, 분석하였다.

Portugali와 Beneson(1997)은 도시내 문화가 다른 집단간의 사회공간적 관계의 변화과정을 모의실험하였다. 이 실험에서는 거주하는 인간, 나무, 동물들을 에이전트로 가정하고 이들 개별의 행태와 이들간의 상호반응이 도시형성과정에 미치는 영향을 추정하였다.

위의 연구들에서 발견할 수 있는 흥미로운 사실은 인간 또는 개미사회와 같은 복잡계의 변화과정을 추정하기 위하여 개별 에이전트의 미시적 행태와 에이전트간 상호반응에 규칙을 부여하여야 하는데, 이 규칙들이 매우 단순하다는 것이다.⁵⁾ 또한 실험과정에서 규칙들을 수정함으로써⁶⁾ 전체 시스템의 변화를 관찰할 수가 있다.

V. 교통분야에 에이전트기반모형의 적용

최근 교통분야에서는 교통시스템을 에이전트시스템으로 보고 각 에이전트들에 역할을 부여하여 시스템의 운영과 관제에 적용한 사례를 찾아 볼 수 있다. (사례 중에는 앞장의 에이전트의 속성을 다 만족하지 않은 경우도 있는 것으로 판단됨.) 또한 에이전트간의 상호관계, 에이전트의 반응, 즉, 자극에 따른 반응(stimulus-response)과정을 모형화한 경우가 있는데, 주로 차량 또는 보행교통류를 모형화 할 때 에이전트기반개념을 도입하였다.

1. 교통류 모형

Burmeister외(1997)와 Peeta와 Pasupathy(2001)는 미시적 교통류시뮬레이션을 위해 다중에이전트기반모형을 구축하였다. 도로구간의 각 차량(또는 운전자)을 에이전트로 가정하였으며, 각 에이전트는 감지기능(sensor)을 통해 자기의 위치, 속도, 가속도에 대한 정보를 습득하며 동시에 주변 차량의 유사 정보

와, 도로의 곡선, 구배 등의 도로환경, 기상정보 등을 취득한다. 인식기능(cognition)에서 차량의 가속, 감속, 차선변경 등의 필요성을 판단하여 결정을 하게되며, 작동기능(actuator)에서는 결정에 따라 운행을 하게 된다. 이들은 이러한 모형에서는 상대적으로 차량의 움직임에 필요한 각종 규칙들의 부여와 수정이 용이하다는 점과 차량들간의 정확한 정보교환과 상호반응(interaction)의 표현이 가능하였음을 결론으로 제시하였다.

한편 Jiang(1998), Kukla 외(2001), Dijkstra(2002)들은 도시에서 보행교통류의 시뮬레이션을 위해 다중에이전트기반모형을 개발하였다. 여기서 보행자와 차량들을 에이전트로 가정하여, 건물, 상점, 박물관등의 도시공간내에서 보행자와 차량의 움직임을 모형화하였다. 에이전트간의 정보교환 및 상호작용과 동시에 에이전트와 도시공간의 건물, 상점 등의 개체간의 상호작용이 이루어져 통행이 이루어진다. 이 연구에서 각 에이전트의 상호작용의 결과가 어떻게 도시교통류 전체에 영향을 미치는 가를 추적할 수 있음을 볼 수 있다.

Wahle와 Schreckenberg(2001)는 실시간으로 조사된 교통량(독일 Duisberg시)과 다중에이전트기반 교통류모형으로 도로구간별 통행량 모의실험과 장래 예측을 시도하였다. 그들은 수많은 운전자(차량)들의 운전행태(타 운전자와의 상호반응 포함)(complex behavior)로 운영되고 있는 도로시스템을 하나의 복잡계로 가정하였다. 여기서 각 운전자(차량)를 에이전트로 보고 연구대상도로시스템을 다중에이전트시스템으로 가정하였다. 또한 운전자들의 운전행태와 차량의 움직임은 Nagel과 Schreckenberg(1992)의 Cellular Automaton Model을 적용하였다. 차량움직임과 운전행태의 규칙은 단순한 몇 가지에 불과하나 시스템에 모의실험 결과로 나타난 교통류의 속성이 실제 조사된 교통류의 속성(속도-밀도, 교통량-밀도, 교통량과 속도의 관계)과 유사한 것으로 나타났다.

2. 교통운영

Adler와 Blue(2001)는 도시가로교통운영에 다중

5) If..... then..... 또는 Cellular Automata 등.
6) 주로 시행착오(trial and error)과정을 거침.

에이젠트기반모형을 제안하였다. 이들은 운영에 필요한 매우 다양한(교통제어기, 신호등, 검지기 등) 시스템간의 협동과 조화를 구현하는데 있어서 에이젠트기반 접근이 바람직하다고 주장하였다. 이 연구에서 에이젠트는 개별 교통제어기와 지역 교통제어기로 가정되었으며, 차량들도 지역과 지역을 움직이는 에이젠트(mobile agent)로 가정되었다. 이들 이외 최근 발표되고 있는 교통운영 분야에 에이젠트를 기반으로 한 모형연구가 활발해 지고 있다.

3. 공항관제

Ljungberg와 Lucas(1999)는 항공기관제를 위해 OASIS이라는 다중에이젠트기반모형을 개발하였다. OASIS는 항공기관제 시 필요한 과정을 여러 에이젠트로 구분하였는데, 각 항공기 이착륙을 담당하는 에이젠트, 항공기들의 이착륙 순서, 풍향예측, 고도확인, 항공기들간의 조정들을 담당하는 에이젠트 등 약 70여개의 에이젠트로 구성되었다.

VI. 적용 가능성 및 한계성

교통의 분야, 특히 컴퓨터공학에서의 에이젠트기반의 프로그램개발은 아주 효율적인(프로그램의 중복배제, 수정·보완의 용이 등) 우수한 것으로 평가되고 있어 그 적용범위가 급속히 확산되고 있다. 특히 인터넷과 관련된 소프트웨어 에이젠트가 다양하게 개발되고 있다.

교통분야에서 에이젠트기반 접근은 교통시스템을 하나의 복잡계로 보고 시스템 전체의 속성을 유추할 수 있다. 이때 각 에이젠트의 속성, 에이젠트간의 관계들의 가감(加減)이 용이하여 모의실험이 수월하다⁷⁾. 또한 앞장의 사례 연구에서와 같이 다양한 시스템간의 협동과 조화가 필연적인 교통운영과 관제에서 에이젠트기반 접근은 우수한 것으로 보고되고 있다.

그러나 아직 교통분야에서 에이젠트기반모형기법에 대한 평가가 미흡하다.⁸⁾ 이는 에이젠트기반모형은 앞

에서도 언급한 바와 같이 하의상달식 접근이기 때문에 상의하달식 접근방법과의 모의가 아닌 실제 비교는 일정기간의 시스템 운영결과로 밖에 비교될 수 밖에 없기 때문이다. 그러나 에이젠트기반 접근의 장점은 분산되어 있는 개별교통시스템(에이젠트)을 다중 에이젠트시스템으로 연계시켜 역할의 중복을 피하고 상호 보완이 가능토록 하여, 중복투자의 최소화와 개별 시스템활용의 극대화를 기대할 수 있다. 이렇게 되면 기존 시스템에 새로운 첨단시스템(예, ITS 등)의 접목 또는 기존 시스템의 첨단화를 무리 없이 도입할 수 있게 된다.

그러나 에이젠트기반의 접근도 한계성을 보이고 있다. 먼저 개별 에이젠트의 지식에는 전체 시스템에 관한 정보가 없다. 따라서 시스템 전체와 관련된 제약 하에서 시스템 전체의 최적화(global optimum)를 추구하는 경우에는 적합하지 않다.(Bond와 Gasser(1988)) 또한 개별 에이젠트의 미시적 상태와 지식수준에 따라 전체 시스템에 나타나는 결과가 달라진다. 즉, 분석가에 의해서 주어진 개별 에이젠트의 행태와 상호반응의 규칙이 어떻게 시스템 전체에서 나타나는 현상에 영향을 미치는지가 수리적으로 증명되지 못하고 있다. 개별 에이젠트의 다양한 규칙들의 시도과정을 거쳐 전체 시스템에 나타나는 변화와의 관계를 유추할 뿐이다. 또한 개별 에이젠트들의 지식 보유 수준, 에이젠트들 간의 상호반응의 정도, 다양하고 불확실한 상황에서의 대처능력 수준 및 지식습득의 정도 등에 아직 확실한 답을 가지고 있지 않은 상황이다.

VII. 결론

교통문제는 사회시스템이 복잡해짐에 따라 더욱 대처하기 어려운 국면으로 가고 있다. 따라서 교통시스템의 변화 예측도 용이하지 않다. 교통시스템과 같은 복잡계를 대처하는데 있어, 전통적인 상의하달(上意下達) 접근에 한계가 있음을 부인할 수 없다. 본 글에서 제시한 에이젠트기반접근은 기존 방법과는 다른 하의상달(下意上達) 방식의 기법이다. 이는 시스템의

7) 예. cellular automaton을 이용한 다차선 도로의 엇갈림구간, 공사로 인한 차선감소구간, 램프구간에서 교통류모의실험등(참고, <http://copland.udel.edu/~mm/traffic/barriers/>)

8) Burmeister, B는 교통분야에 최초(발표 논문 기준)로 에이젠트기반모형적용을 시도한 독일의 컴퓨터 과학자임. 그녀는 인터뷰(2001년)에서 에이젠트기반모형은 실제 적용결과 없이는 기존 타 모형과 비교할 수 있는 방법이 확실하지 않은 것으로 주장함. 그녀가 참여하였던 연구는 Daimler-Benz Traffic Research 회사의 교통류모의실험을 위해 개발한 COSY 다중에이젠트시스템이며, 이 연구는 회사 내부사정으로 중지되었다고함.

개별 구성원인 에이전트의 행태와 에이전트간의 상호작용에 초점을 둔다. 에이전트의 행태와 상호작용의 규칙을 변함에 따라 전 에이전트시스템에 나타나는 변화를 추적할 수 있다.

오늘날 교통문제의 복잡성은 교통시스템의 더욱 세분화된 하부시스템의 다양화와 상호작용, 그리고 개별 차량 또는 운전자의 행태와 상호작용에서 기인된다고 볼 수 있다. 이들 개별 에이전트는 자신의 의사결정에 따라 행동할 뿐 교통시스템 전체의 최적에는 관심이 없다. 에이전트기반의 접근은 아직 연구는 미흡하지만 복잡한 교통시스템의 운영과 분석에 적용잠재력이 큰 기법으로 판단된다.

참고문헌

1. Adler, J. L., and V. J. Blue(2001), "Principle Negotiation and Multiagent Transportation Management and Information Systems," 80th Annual Meeting of Transportation Research Board(CD-ROM).
2. Beni, G., and J. Wang(1989), "Swarm Intelligence," In Proceedings Seventh Annual Meeting of the Robotics Society of Japan, Tokyo, RSJ Press, pp.425~428.
3. Beni, G., and S. Hackwood(1992), "Stationary Waves in Cyclic Swarms," In Proceedings 1992 International Symposium on Intelligent Control, Los Alamitos, CA, IEEE Computer Society Press, pp.234~242.
4. Beni, G.(1988), "The Concept of Cellular Robotic System," In Proceedings 1988 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Los Alamitos, CA, IEEE Computer Society Press, pp.57~62.
5. Bonabeau, E., M. Dorigo, and G. Theraulaz (1999) "Swarm Intelligence," Oxford University Press, Oxford.
6. Bond, A. H., and L. Gasser(1988), Readings in Distributed Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann.
7. Bullnheimer, B., G. Kotsis, and C. Strauss (1998), "Parallelization Strategies for the Ant System," In De Leone, R., A. Murli, P. Pardalos, and G. Toraldo(Eds.): High Performance Algorithms and Software in Nonlinear Optimization, Series: Applied Optimization. Kluwer Academic Publishers, Boston, 24, pp.87~100.
8. Bullnheimer, B., R. F. Hartl, and C. Strauss(1999), "A New Rank Based Version of the Ant System - a Computational Study," Central European Journal of Operations Research, 7, pp.25~38.
9. Bullnheimer, B., R. F. Hartl, and C. Strauss (1999), "An Improved Ant System Algorithm for the Vehicle Routing Problem," Annals of Operations Research, 89, pp.319~ 328.
10. Bullnheimer, B., R. F. Hartl, and C. Strauss (1999), Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem. In Voss, S., S. Martello, I. H Osman, and C. Roucairol (Eds.): Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp.285~296.
11. Burmeister, B., A. Haddadi, and G. Matyilis (1997), "Application of Multi-Agent Systems in Traffic and Transportation," IEE proceedings Software Engineering, 144(1), pp.51~60.
12. Burmeister, B., J. Doormann, and G. Matyilis (1997), "Agent-Oriented Traffic Simulation," TRANSACTIONS, Vol.14, No.2, pp.79~86.
13. Camazine, S., and J. Sneyd(1991), "A Model of Collective Nectar Source by Honey Bees: Self-organization Through Simple Rules," Journal of Theoretical Biology, 149, pp.547~571.
14. Colorni, A., M. Dorigo, and V. Maniezzo (1991), "Distributed Optimization by Ant Colonies," In Varela, F., and P. Bourgine (Eds.): Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, Paris, France, Elsevier, pp.134~142.
15. Dean, J., G. Gumerman, J. Epstein, R. Axtell,

- A. Swedlund, M. Parker, and S. McCarroll (2000), "Understanding Anasazi Culture Change through Agent-Based Modeling," In Kohler, J., and G. Gumerman(Eds.): Dynamics in Human and Primate Societies, Santa Fe Institute.
16. Deneubourg, J. L., S. Aron, S. Goss, and J. M. Pasteels(1990), "The Self-Organizing Exploratory Pattern of the Argentine Ant," *Journal of Insect Behavior*, 3, pp.159~168.
 17. Deneubourg, J. L., S. Goss, N. Franks, and J. M. Pasteels(1989), "The Blind Leading the Blind: Modeling Chemically Mediated Army Ant Raid Patterns," *Journal of Insect Behavior*, 2, pp.719~725.
 18. Dijkstra, J., J. Jessurun, and H. Timmermans (2002), "Simulationg Pedestrian Activity Scheduling Behavior and Movement Patterns using a Multi-Agent Cellular Automata Model: the Amanda Model System," 81th Annual Meeting of Transportation Research Board (CD-ROM).
 19. Dorigo, M.(1992), "Optimization, Learning and Natural Algorithms," Ph.D. Dissertation, Politecnico di Milano, Milano, Italy.
 20. Dorigo, M., and L. M. Gambardella(1997), "Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem," *BioSystems*, 43, pp.73~81.
 21. Dorigo, M., and L. M. Gambardella(1997), "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1, pp.53~66.
 22. Dorigo, M., V. Maniezzo, and A. Colorni (1996), "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B*, 26, pp.29~41.
 23. Drogoul, A., and J. Ferber(1994), "Multi-agent Simulation as a Tool for Studying Emergent Processes in Societies," In Gilbert, N., and J. Doran(Eds.): *Simulating Societies, The Computer Simulation of Social Phenomena*, UCL Press.
 24. Elterich, J., S. Kikuchi, and F. Tannian (1999), "Maritime Infrastructure Development: An Operations Research Approach to Large Scale Modeling," Final Report submitted to National Science Foundation Operations Research Program, University of Delaware.
 25. Erol, K., R. Levy, and J. Wentworth(2000), "Application of Agent Technology to Traffic Simulation," FHWA, <http://www.tfhrc.gov/advance/agent.html> accessed in May 2001.
 26. Franlikn, S and A. Graessar(1996), "Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents," *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer-Verlag.
 27. Hewitt, C.(1997), *Viewing Control Structures as Patterns of Passing Messages. Artificial Intelligence*, Vol.8:3, pp.323~364.
 28. Jeenings, N., and M. Wooldridge(1998), "Applications of Intelligent Agents," *Agent Technology, Foundations*, In Jeenings, N., and M. Wooldridge(Eds.): *Applications and Markets*, Springer.
 29. Jiang, B.(1998), "Multi-Agent Simulations For Pedestrian Crowds," *European Simulation Symposium Simulation Technology Science and Art*, pp.383~387.
 30. Kikuchi, S., J. Rhee, and D. Teodorovi (2002), "Applicability of An Agent-based Modeling Concept to Modeling of Transportation Phenomena," 81th Annual Meeting of Transportation Research Board(CD-ROM).
 31. Kohler, T. A., J. Kresl, C. V. West, E. Carr, and R. H. Wilshusen(2000), "Be There Then: A Modeling Approach to Settlement Determinants and Spatial Efficiency Among Late Ancestral Pueblo Populations of the Mesa Verde Region, U.S. Southwest," In Kohler, J., and G. Gumerman(Eds.): *Dynamics*

- in Human and Primate Societies, Santa Fe Institute.
32. Kula, R., J. Kerridge, A. Wills, and J. Hine (2001), "PEDFLOW: Development of an Autonomous Agent Model of Pedestrian Flow," 80th Annual Meeting of Transportation Research Board(CD-ROM).
 33. Ljungberg, M. and A. Lucas(1999), "The OASIS Air Traffic Management System," In Proceedings of the Second Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, PRICAI92, Seoul, Korea.
 34. Lucic, P., and D. Teodorovic(2001), "Bee System: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence," In Preprints of the Triennial Symposium on Transportation Analysis TRISTAN IV, Azores, Portugal, pp.13~19.
 35. Moulin, B., and B. Cabib-Draa(1996), "An Overview of Distribute Artificial Intelligence," In Ohare, G., and N. Jennings(Eds.): Foundations of Distributed Artificial Intelligence. John Wiley and Sons.
 36. Nagel, K. and M. Schreckenberg(1992), "A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic," Journal of Physics I 2, pp.2221~2229.
 37. Ndumu, D. T. and H. S. Nwana(1997), "Research and Development Challenges for Agent-based Systems," IEE Proceeding Software Engineering, pp.2~10
 38. Nwana, H. S.(1992), Towards an Approach to Designing Smart Multi-agent Systems, Paper presented at CKBS-SIG, University of Keele.
 39. Nwana, H. S.(1996), "Software Agents: an Overview," The Knowledge Engineering Review, Vol.11:3, pp.205~244.
 40. Peeta, S., and R. Pasupathy(2001), "Analyzing Traffic System Evolution Using Multi-Agent Simulation," 80th Annual Meeting of Transportation Research Board(CD-ROM).
 41. Portugali, J., and I. Benenson(1997), "Human Agents between Local and Global Forces in a Self-organizing City," In Schweitzer, F.(Ed.): Self-organization of Complex Structures, Gordon and Breach Science Publishers.
 42. Resnick, M. Turtles, Termites, and Traffic Jams(1994), "Explorations in Massively Parallel Microworlds," The MIT Press.
 43. Teodorovic, D., and P. Lucic(2001), "Schedule Synchronization in Public Transit by Fuzzy Ant System," Submitted for publishing in the European Journal of Operational Research.
 44. Wahle, J., and M. Schreckenberg(2001), "A Multi-Agent System for on-line Simulations based on Real-World Traffic Data," In Proceedings of Hawaii International Conference on System Science, IEEE Computer Society.
 45. Wooldridge, M., and N. Jennings(1995), "Intelligent Agents: Theory and Practice," The Knowledge Engineering Review, Vol. 10:2, pp.115~152.

✉ 주 작 성 자 : 이종호

✉ 논문투고일 : 2002. 12. 4

논문심사일 : 2003. 2. 4 (1차)

2003. 2. 5 (2차)

심사판정일 : 2003. 2. 5

✉ 반론접수기한 : 2003. 6. 30