

논문 2010-47TC-3-6

애드혹(Ad hoc) 네트워크에서 경쟁에 의한 트래픽성능 및 민감성 분석

(A Study of Sensitivity Analysis and Traffic Performance by
Competition in the Ad hoc Network)

조 항 덕*, 김 우 식**

(HyangDuck Cho and Wooshik Kim)

요 약

애드혹(Ad hoc)네트워크는 각 노드에 의하여 네트워크의 토플로지가 구성되는 인프라스트럭처리스(infrastrucureless) 네트워크이다. 전용의 네트워크 디바이스가 없기 때문에 각 노드들이 디바이스 기능 즉, 네트워크 제어와 관리기능을 수행한다. 애드혹 네트워크는 어떤 노드가 네트워크 토플로지에 참여하거나 탈퇴하는 것이 임의적이기 때문에 토플로지의 확장이 용이하고, 트래픽이 먼 거리를 가는 경우에는 중간 노드들의 경로를 경유해야 하는데, 이러한 요인들이 성능변동에 영향을 준다. 따라서 각 노드들은 자신의 트래픽을 안정적으로 유지하기 위하여 주변의 트래픽, 네트워크를 구성하는 경로들의 상태, 자신의 트래픽이 경유할 노드에서 트래픽 및 혼잡제어 등을 고려할 필요가 있다. 본 논문은 경로의 대역을 유한자원으로 가정하고 경로를 접유하기 위하여 발생하는 트래픽 경쟁이 전송성능에 미치는 영향과 이러한 경쟁모델을 구성하는 인자가 성능에 미치는 영향을 분석하고 그 결과를 제시하였다. 이러한 결과는 네트워크에서 관리정책과 기법 등에 기여할 것으로 기대한다.

Abstract

Ad hoc network is infrastructureless network, that the network topology is configured by each node. Each node capacity device function namely, accomplishes a network control and a function of management because not being Network device of the exclusively. Ad hoc networks what kind of node join or leave the network topology to facilitate the expansion of arbitrary topology, to the case which is the distance whose traffic is distant the place must overtake through the route of intermediate nodes, like these facts give an effect to performance fluctuation. Consequently, each node in order to maintain traffic of oneself stably there is a necessity which will consider traffic and congestion control from the node which traffic of a condition and oneself of traffic of the circumference and the route which compose the network will overtake through. This paper assumes the path of the band with a finite resource, and path traffic to occupy the competition and its impact on transmission performance of these competing arguments to configure the model factor to analyse the performance impact on the results presented. Like this result with the fact that from the study, it will contribute in network management policy and the technique.

Keywords : Ad hoc Network, Sensitivity analysis, Game theory, Competition control, Traffic Performance

I. 서 론

* 정희원, 하나에버텍(주) 부설연구소
(HANA EVERTECH)

** 평생회원, 세종대학교 전자정보공과대학 정보통신
공학과
(Dept. of Info. and Com. Eng, Sejong University)
접수일자: 2009년9월8일, 수정완료일: 2010년3월18일

일반적으로 애드혹(Ad hoc) 네트워크는 무선통신에
서 통신 가능한 노드들이 자율적으로 형성한 네트워크
를 의미한다. 애드혹 네트워크는 구조적으로 네트워크
중간에서 제어노드, 액세스 포인트(Access Point, AP)

등 네트워크 디바이스가 없다. 각 노드들은 노드가 구비하고 있는 기능과 자원 그리고 정보를 이용하여 네트워크를 구성하고 통신해야 한다. 노드는 하드웨어적으로 인접노드와 통신을 위하여 인입과 인출포트를 포함하고 있으며 프로세서는 라우팅 테스크와 로칼 테스크를 처리할 수 있도록 고려되어 있다. 두 통신노드의 거리가 먼 경우에는 다른 노드들을 경유하여 통신경로를 형성하는데, 노드와 노드사이에 형성되는 통신경로를 흡(hop)이라고 부른다. 노드간 흡에 의하여 형성되는 경로가 길어질수록 통신에 소요되는 자원과 비용이 증가하는데, 예로 전력, 흡(hop) 수, 기억장치 등이 있다. 노드와 흡에 의하여 구성되는 네트워크 토플로지(topology)를 인프라스트럭처리스(infrastructureless) 네트워크라고 부르며, 이 방식은 고정된 라우팅 방식에 비하여 노드 이동이 자유롭고 네트워크 토플로지가 동적으로 변하는 특징이 있다.

애드혹 네트워크에서 각각의 노드들이 발생하는 데이터들은 목적지 노드를 찾아 일련의 패킷들이 트래픽을 형성하는데, 트래픽은 다양한 변수 즉, 토플로지의 변경, 무선 환경의 변동, 노드 상태변화, 전역정보 간신 상태 등 다양한 변수에 의하여 크게 영향을 받는다. 이와 관련된 것으로 트래픽 제어(Traffic Control), 혼잡제어(congestion control), 흐름제어(Flow Control)등 관리정책이 있는데, 트래픽 제어는 혼잡의 발생을 추정하여 사전에 트래픽을 제어하는 예방제어이고, 혼잡제어는 혼잡이 발생하면 그 영향과 혼잡상황의 지속 등을 제한하기 위한 사후제어이며, 흐름제어는 수신단의 처리능력을 고려하여 송신단의 전송량을 조절하는 것이다. 혼잡이 발생하면 해당링크의 노드는 트래픽을 일시 저장하는 큐(Queue)가 포화하여 링크의 처리능력을 초과하는 트래픽 과부하를 처리하지 못하고 손실시키기 때문에 데이터가 손실되고, 트래픽 패킷들이 링크의 대역을 점유하기 위하여 경쟁하고, 패킷거부와 전송취소 트래픽 제어신호가 발생하는 등 혼잡의 영향이 복잡하게 발생한다. 혼잡제어 기법으로 트래픽 쉐이핑(Traffic Shaping), 큐잉관리(스케줄링 기법), 수락제어(Admission Control)등이 있는데, 트래픽 쉐이핑은 예측을 준수하는 수준에서 속도변동을 허용하는 기법이고 큐잉관리와 수락제어는 큐잉과 인입허용에서 패킷을 선별적으로 제한하는 기법이다. 이러한 기법들은 QoS(Quality Of Service)을 성능함수로 정하고, 적절한 성능을 보장(Assurance)하기 위하여 동작하고 있다.

애드혹 네트워크 토플로지는 노드의 참여와 탈퇴가 임의적이기 때문에 어떤 통신을 위한 경로의 통신 수명(life cycle)은 단기적이다. 이러한 환경에서 라우팅을 위해 정적 네트워크에서 사용되는 두 가지 파라미터는 애드혹 네트워크에서도 중요한데 디스턴스 벡터(distance vector)와 링크 스테이트(link state)가 그것이다. 노드는 이것으로부터 네트워크 토플로지의 상태와 통신경로의 성능을 추정하고, 그 결과로부터 자신을 라우터로 경유하는 트래픽들에 대하여 혼잡제어, 트래픽제어를 서비스하고, 자신이 생성하는 트래픽의 적절한 경로선택 스케줄링을 결정해야 한다. 자신이 생성한 트래픽은 보다 효과적인 경로를 선택하기 위하여 전송성능에 영향을 주는 다른 트래픽들과 각 노드에 있는 라우터 테스크의 혼잡제어, 트래픽제어 등을 예측할 필요가 있다. 이러한 요인들과 성능의 영향은 한정된 네트워크 자원에 대하여 서로 점유하려고 하기 때문에 경쟁관계로 모델링하고 그 영향을 분석할 수 있는데, 이러한 경쟁관계를 이해하는 것은 성능을 개선하기 위하여 중요한 문제일 수 있다. 따라서 우리는 노드 자신이 발생하는 트래픽, 다른 노드에 의한 트래픽 그리고 혼잡 및 트래픽 제어로 구성되는 경쟁네트워크모델을 구성하고, 모델에서 경로를 선택하는 전략에 따라 경쟁관계가 성능에 미치는 영향을 조사한다.

II. 네트워크에서 경쟁에 의한 성능영향

일반적으로 네트워크 매니지먼트 시스템은 독립적인 네트워크 장치들로 구성되는데, 시스템의 플랫폼은 다양한 아키텍처들을 이용하여 필요에 맞게 구성할 수 있다. 하이어라키(hierarchy) 아키텍처는 네트워크 아키텍처 중에 잘 알려진 대표적인 모델이다. 상위 관리계층에 네트워크 매니지먼트가 있고, 하위 계층에 네트워크 디바이스 등이 있다. 네트워크 디바이스는 어떤 단위 네트워크들 상호간에 연결을 위하여 구성된다. 그림 1에 일반적인 네트워크 구성의 한 예가 보이고 있다.

그림에서 서버는 네트워크 매니지먼트(NMS)를 포함하고 있으며, 클라이언트는 CMON(Client Network Monitoring)기능을 가지고 있다. CMON은 네트워크 디바이스로부터 정보를 실시간으로 수집하는 기능을 의미하는데, 수집되는 정보는 네트워크 세그먼트, 스케줄, 인터벌 샘플 등 최근에 개신되어진 다양한 기록들이다. 이러한 자료는 정보를 수집한 지역의 네트워크 성능을

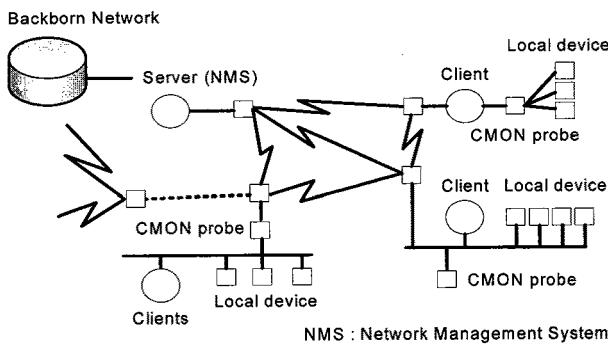


그림 1. 일반적인 네트워크 구성의 예

Fig. 1. Example of typical network construction.

추정할 수 있게 한다. 네트워크 디바이스는 CMON을 위하여 프로브(probe)를 내장하고 있는데, 프로브는 자체의 내장메모리, 프로세스, 네트워크 인터페이스를 이용하여 주변의 자료와 통계적 정보 등을 수집한다. 프로브는 자신의 독립적 정보와, 인근 프로브의 정보를 포함하는 다중 수집을 할 수 있고, 프로브에게 정보제공 요청이 있으면 실시간으로 응답하여 관련 정보를 제공한다. CMON은 통계정보의 구조로부터 각 네트워크 인터페이스의 성능을 추정할 수 있는데, 이러한 통계적 분석은 혼잡제어, 트래픽제어 그리고 경로선택정보 등에 사용된다. 네트워크 매니지먼트는 논리적으로 인터페이스의 접속과 분리를 조정하며, 성능관리를 위한 제어를 할 수 있다. 애드혹(Ad hoc) 네트워크는 인프라스트럭처리스(infrastructureless) 네트워크로 독립적인 네트워크 장치들로 구분되지 않으며 계층적이지 않고, 논리적으로 구분할 수 있는 네트워크 매니지먼트 시스템의 기능들이 각각의 노드에 공통적으로 존재하고 있다. 따라서 각각의 기능들은 제한적이며 하나의 노드는 노드 전용의 기능을 위한 로컬 태스크와 네트워크 기능을 위한 라우팅 태스크로 구성되어 있다.

그림 2에서 구성된 애드혹 네트워크는 각 노드가 네트워크 매니지먼트와 프로브 기능을 가지고 있기 때문에 네트워크 특성정보를 수집할 수 있고, 트래픽과 혼잡제어를 할 수 있다. 이 네트워크 구성은 게이트웨이(Gateway) 노드를 통하여 백본망에 접속할 수 있는데, 만약 게이트웨이 노드가 없으면 독립적인 단일 네트워크가 된다. 애드혹 네트워크에서 이러한 단일 네트워크들은 중간에 연결노드의 추가만으로 망이 확장되는 특징이 있다. 애드혹 네트워크에서 주로 이용되는 라우팅 프로토콜은 테이블 드리븐(table driven)기반의 프로액티브(proactive)방식과 온디맨드 드리븐(on demand

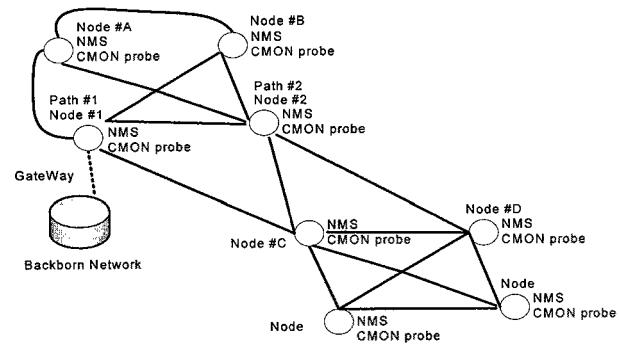


그림 2. 게이트웨이(Gateway)를 가지고 있는 무선 애드혹 네트워크 구성 예

Fig. 2. Example of wireless Ad Hoc network construction with gateways.

driven)기반의 리액티브(reactive)방식 그리고 이들의 혼용이 있다. 테이블 드리븐 방식은 일정한 주기로 노드들이 네트워크 정보를 공유하는 방식이고, 온디맨드 방식은 필요시에만 요청에 의하여 정보를 공유하는 방식이다. 테이블 드리븐 방식은 정보갱신을 위한 제어트래픽이 어느 정도 존재하지만 서비스 요청에 대하여 빠른 응답을 제공할 수 있고, 온디맨드 방식은 정보유지를 위한 제어트래픽은 작지만 서비스 요청에 대한 응답에 지연이 있다. 위 그림에서 Node #A, Node #B는 Node #C, Node #D와 통신을 하기위하여 Path #1 또는 Path #2를 경유해야 하는데, 각 경로(path)는 Node #1, Node #2의 트래픽 또는 혼잡제어의 정도에 따라 각각 다른 전송성능을 제공한다. 네트워크 매니지먼트 기능의 혼잡제어와 트래픽제어는 편의상 네트워크 매니저에 의해 수행하는 것으로 본다.

그림 3은 그림 2에서 Node #A, Node #D, Path #1, 그리고 Path #2로 구성되는 네트워크 부분을 단순화하여 다시 표현한 것이다. 이러한 모델을 경쟁네트워크모델이라고 부르기로 한다. Node #A는 Node #D와 통신

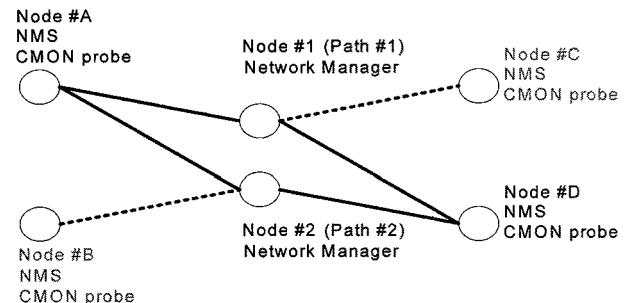


그림 3. 경쟁네트워크모델

Fig. 3. Competitive network model.

표 1. 이득표(payoff table) 1

Table 1. Payoff Table 1.

		Network Manager	
		Path1	Path2
Node #A	Path1	0.95 0.05	0.25 0.75
	Path2	0.15 0.85	0.75 0.25

을 하기 위하여 두 경로 중 하나를 선택해야 한다. 그리고 각각의 경로는 네트워크 매니저에 의하여 Node #A와 기타의 트래픽을 고려하여 트래픽을 제한하려고 한다.

표 1은 Node #A와 네트워크 매니저가 각각의 경로를 선택하는 경우에 전송성능을 나타내는 이득표의 구성을 보이고 있다.

노드는 트래픽을 전송하기 위하여 경로를 선택하고, 네트워크 매니저는 트래픽을 제한하기 위하여 경로를 선택한다. 네트워크 매니저의 경로관리 목적은 과부하 방지와 트래픽의 효과적인 경로사용인데, 어떤 노드에 대한 트래픽 제한은 그 노드로부터 발생하는 트래픽 손실 또는 자연의 결과로 나타난다. 네트워크에서 노드는 경로의 선택에 따라 각각 다른 트래픽 성능을 갖는데, 노드와 네트워크 매니저는 단위시간 동안에 측정된 전송성능 테이블을 가지고 있다. 성능 테이블은 게임 모델의 이득표(payoff table)와 같은데, 전송성능 테이블은 노드가 선택할 수 있는 경로와, 각 경로를 선택할 때 예상되는 트래픽 성능을 보여준다. 이득표에서 네트워크 매니저와 노드(Node #A)의 선택 가능한 경로(Path)들이 열과 행을 구성하고 있다. 매니저와 노드의 경로선택이 교차하는 곳이 셀(cell)인데, 하나의 셀에서 노드 성능은 밑에, 매니저의 성능은 위에 표시하고 있다. 여기서 성능은 경쟁 모델에서 이득(payoff)으로 불리기도 한다.

이득표 1에서 노드와 매니저가 path #1을 선택하는 경우에 노드의 이득은 0.05 매니저의 이득은 0.95이고, 노드가 path #1, 매니저가 path #2를 선택하는 경우, 노드의 이득은 0.75 매니저의 이득은 0.25이다. 노드와 매니저가 path #2를 선택하는 경우에 노드의 이득은 0.25 매니저의 이득은 0.75이고, 노드가 path #2 매니저가 path #1을 선택하는 경우 노드의 이득은 0.85 매니저의 이득은 0.15가 된다. 이 이득표는 그림 3에서 노드와 매니저의 경로선택에 따른 전송성능을 나타내고 있는

데, 노드와 매니저는 선택하는 경로(path)에 따라 얻을 수 있는 이득이 다르고, 이것은 경로를 선택하는 방법에 따라 어떤 차이가 있는 것을 나타내고 있다. 전략은 선택할 수 있는 모든 경로 중 어떤 하나의 경로를 선택하는 것을 의미하는데, 노드와 매니저의 전략에 따라 전송성능에 미치는 영향을 조사한다.

III. 경쟁에 의한 성능영향 및 민감성 분석

1. 경쟁에서 순수전략에 의한 성능분석

순수전략은 경로(path)선택에서 발생 할 수 있는 가장 낮은 이득들 중에서 높은 이득을 포함하는 경로를 선호하는 방법이다. 일반적으로 순수전략은 비확률적으로 선택하는 방법을 의미한다.

path #1에서 노드가 선택할 수 있는 가장 낮은 이득은 0.05이고, path #2에서 노드가 선택할 수 있는 가장 낮은 이득은 0.25이다. 마찬가지로 매니저는 path #1, path #2에서 가장 낮은 이득으로 0.15와 0.25를 찾을 수 있다.

노드와 매니저의 최소이득은 0.05, 그리고 0.15이므로, 더 이상 낮은 이득은 발생할 수 없다. 이와 같이 더 이상 발생할 수 없는 낮은 이득을 안전수준(safety bound)이라고 한다. 경로(path)의 선택에 따라 구해지는 최소이득 중 가장 높은 이득을 가지고 있는 경로를 선택하면 노드는 0.25를 포함하는 Path #2를 선택하고, 매니저는 0.25를 포함하는 Path #2를 선택할 수 있다. Node #A가 Path #2를 선택하면서 0.25를 기대하고, 매니저의 어떤 경로선택결과가 노드의 기대치 0.25를 유

표 2. 노드의 하한이득 탐색

Table 2. Detecting the lowest limit gain of node.

		Network Manager	
		Path1	Path2
Node #A	Path1	0.95 0.05	0.25 0.75
	Path2	0.15 0.85	0.75 0.25

표 3. 매니저의 하한이득 탐색

Table 3. Detecting the lowest limit gain of manager.

		Network Manager	
		Path1	Path2
Node #A	Path1	0.95 0.05	0.25 0.75
	Path2	0.15 0.85	0.75 0.25

지하면 이 전략은 히트(hit)라고 하고, 매니저의 경로선택 결과가 0.15를 발생시키면 미스(miss)라고 하자. 각 전략이 히트인 경우 Node #A와 매니저는 이득 0.25와 0.25를 얻는다. 그러나 전략이 미스인 경우에 노드와 매니저가 얻을 수 있는 이득은 0.05와 0.15로 최소이득이 된다. 순수전략은 비확률적으로 구할 수 있는 최소이득의 경우 중에서 최대값을 선택하는 것인데, 노드와 매니저가 각각 path #2를 선택하면 기대하는 이득은 각각 0.25와 0.25가 되지만, 상대의 선택 결과가 미스인 경우에는 최소의 이득 0.05와 0.15가 되고, 이 경우에도 안전수준이 보장된다. 그리고 만약 반복되는 전략에서 히트의 경우가 발생하면 평균이득은 안전수준 이상으로 증가하게 된다. 순수전략은 경로선택에 따르는 이득을 안전수준 이상으로 증가시키는 것을 알 수 있다.

2. 경쟁에서 혼합전략에 의한 성능분석

가. 상대의 전략이 비공개인 혼합전략

혼합전략은 선택을 확률적으로 하는 방법이다. 상대의 선택을 알 수 있는 경우와 알 수 없는 경우에 따라 기대(expected)이득은 차이를 갖는데, 상대의 선택을 알 수 없고, 상대의 선택을 확률적으로 예상하는 경우 기대이득에 대해 분석하면 다음과 같다.

이득표 1에서 상대의 경로선택 확률이 동일하다고 가정하면, Node #A가 얻을 수 있는 기대이득은 매니저의 경로선택에 따라 두 가지 경우를 고려하게 된다. 매니저가 path #1을 선택하면, 노드는 path #1 또는 path #2를 선택할 수 있는데, 이때 노드의 기대이득은 표 2에서 화살표 방향으로 적용되며 다음과 같다.

$$0.05 \times \frac{1}{2} + 0.85 \times \frac{1}{2} = 0.45 \quad (\text{식 } 1)$$

매니저가 path #2를 선택하면, 노드는 path #1 또는 path #2를 선택할 수 있는데, 이때 노드의 기대이득은 다음과 같다.

$$0.75 \times \frac{1}{2} + 0.25 \times \frac{1}{2} = 0.5 \quad (\text{식 } 2)$$

노드가 path #1과 path #2를 0.5확률로 선택하는 경우에 기대이득 중 최소이득은 0.45가 되는데, 이 값은 비확률적으로 구할 수 있는 최소이득의 최대값 0.25보다 크다. 매니저가 얻을 수 있는 기대이득을 구해보면, 노

드가 path #1을 선택하고 매니저가 path #1 또는 path #2를 선택하는 경우, 이때 매니저의 기대이득은 표 3에서 화살표 방향으로 적용되며 다음과 같다.

$$0.95 \times \frac{1}{2} + 0.25 \times \frac{1}{2} = 0.6 \quad (\text{식 } 3)$$

노드가 path #2를 선택하고 매니저가 path #1 또는 path #2를 선택하는 경우 매니저의 기대이득은 다음과 같다.

$$0.15 \times \frac{1}{2} + 0.75 \times \frac{1}{2} = 0.45 \quad (\text{식 } 4)$$

매니저는 path #1과 path #2를 0.5확률로 선택하는 경우에 기대이득 중 최소이득은 0.45가 된다. 이 값은 비확률적으로 구할 수 있는 최소이득의 최대값 0.25보다 크다. 상대가 동일한 확률로 선택을 하는 가정에서 혼합전략은 노드가 path #1을 매니저가 path #2를 선택하는 것이고, 이 경우 각각의 기대이득은 0.6, 0.5가 된다. 성능에 있어서 혼합전략은 순수전략과 차이를 보이고 있는데, 위에서 분석한 혼합전략은 노드와 매니저가 서로의 선택을 알 수 없는 경우에 발생되는 결과들이었다.

나. 상대의 전략이 공개되는 혼합전략

상대의 선택결과를 관측할 수 있는 경우에 대해 살펴보면, 표 1에서 매니저가 어떤 경로를 선택하고, 그 정보를 노드가 관측하는 경우, 노드의 선택보수는 항상 유리한 경우가 된다. 매니저가 path #1을 선택하였고, 노드가 매니저의 선택을 관측한 경우 노드는 높은 이득 0.85를 갖는 path #2를 선택한다. 따라서 노드는 이득 0.85를 얻고, 매니저는 이득 0.15를 얻게 된다. 매니저가 path #2를 선택하였고, 노드가 매니저의 선택을 관측한 경우 노드는 높은 이득 0.75를 갖는 path #1을 선택한다. 따라서 노드는 이득 0.25를 얻게 된다. 마찬가지로 노드의 선택을 매니저가 관측하는 경우에는 노드가 path #1을 선택하고, 매니저가 노드의 선택을 관측한 경우 매니저는 높은 이득 0.95를 갖는 path #1을 선택한다. 따라서 매니저는 이득 0.95를 얻고, 노드는 이득 0.05를 얻게 된다. 노드가 path #2를 선택하고, 매니저가 노드 선택을 관측하는 경우에 매니저는 높은 이득 0.75를 갖는 path #2를 선택한다. 따라서 매니저는 이득 0.75를 얻고 노드는 이득 0.25

를 얻게 된다.

상대의 선택을 관측할 수 있는 경우에 자신은 항상 선택의 이득을 극대화 할 수 있는 것을 알 수 있다. 그러나 선택이 노출된 상대는 항상 낮은 이득을 얻게 된다. 그러나 이와 같은 경우에도 순수전략에서 찾아진 안전수준은 보장되고 있다. 이러한 전략을 맥시민 전략(maximin strategy)이라고 부르기도 한다.

3. 혼합전략의 일반화

혼합전략은 확률적으로 경로를 선택하는 방법이다. 매니저와 노드의 선택이 확률적으로 발생하는 경우 각각의 선택에 따르는 예측이 히트할 확률을 고려해보면, 매니저가 path #1과 path #2를 각각 선택하는 경우 노드는 path #1과 path #2를 확률 p 와 $(1-p)$ 의 확률로 선택할 수 있다. 매니저가 path #1, path #2를 q , $(1-q)$ 의 확률로 선택하고, 노드는 path #1, path #2를 p , $(1-p)$ 의 확률로 선택하는 경우에 이득표는 아래 표 4와 같이 나타낼 수 있다.

매니저가 path #1을 선택한 경우, 노드 기대이득은

$$0.05 \times p + 0.85 \times (1-p) \quad (\text{식 } 5)$$

이고, 매니저가 path #2를 선택한 경우, 노드 기대이득은

$$0.75 \times p + 0.25 \times (1-p) \quad (\text{식 } 6)$$

와 같다.

매니저가 path #1을 선택한 경우에 노드 이득과, 매니저가 path #2를 선택한 경우에 노드 이득이 같아지는 확률 p' 을 찾아보면, 노드의 기대확률은 매니저의 경로 선택에 따라 두 가지가 있을 수 있는데, 이것을 그래프로 나타내면 그림 4와 같다. 그림에서 도트라인은 매니저가 path #1을 선택하는 전략에 따라 노드가 기대하는 이득을 나타내고 있고, ‘+’라인은 매니저가 path #2를 선택하는 전략에 따라 노드가 기대하는 이득을 나타

표 4. 혼합전략에서 확률변수를 고려한 이득표

Table 4. Payoff Table with consideration of the probability variables in a combined strategy.

		Network Manager	
		q	1-q
Node #A	p	0.95 0.05	0.25 0.75
	1-p	0.15 0.85	0.75 0.25

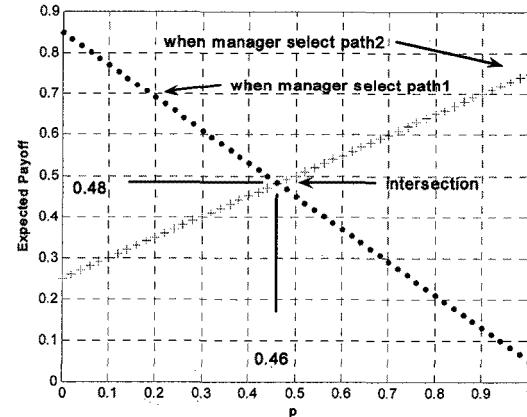


그림 4. 상대전략에 대한 노드 기대이득 분석

Fig. 4. Analysis on the expected gains of the node in according to the partner's strategy.

내고 있다. ‘+’ 라인은 p 가 커질수록 기대이득이 증가하지만, 도트라인은 p 가 커질수록 기대이득이 감소하고 있다.

노드의 기대이득은 $p < 0.46$ 에서 ‘+’ 라인에 의하여 결정되고, $p > 0.46$ 에서는 도트라인에 의하여 결정되는 것을 알 수 있다. 즉, $p < 0.46$ 에서 노드의 기대이득은

$$0.75 \times p + 0.25 \times (1-p) \quad (\text{식 } 7)$$

이고, $p > 0.46$ 에서 노드의 기대이득은

$$0.05 \times p + 0.85 \times (1-p) \quad (\text{식 } 8)$$

와 같다. 그림에서 $p = 0.46$ 에 교점(intersection)이 있다. 이 교점에서 도트라인과 ‘+’ 라인이 만나는데, 최소이득을 극대화 하는 곳은 교점 $p' = 0.46$ 이 된다. 이러한 결과로부터 0.46확률로 path #1을 선택하는 전략이나, $(1-0.46)$ 의 확률로 path #2를 선택하는 전략에서 기대이득은 최대가 되고, 이때 얻을 수 있는 이득은 0.48이 되는 것을 알 수 있다.

마찬가지로 노드가 path #1과 path #2를 각각 선택하는 경우에 매니저가 path #1, path #2를 확률 q , $(1-q)$ 로 선택하는 경우에 기대이득을 구해보면 다음과 같다. 노드가 path #1을 선택한 경우, 매니저의 기대이득은

$$0.95 \times q + 0.25 \times (1-q) \quad (\text{식 } 9)$$

이고, 노드가 path #2를 선택한 경우, 매니저의 기대이득은

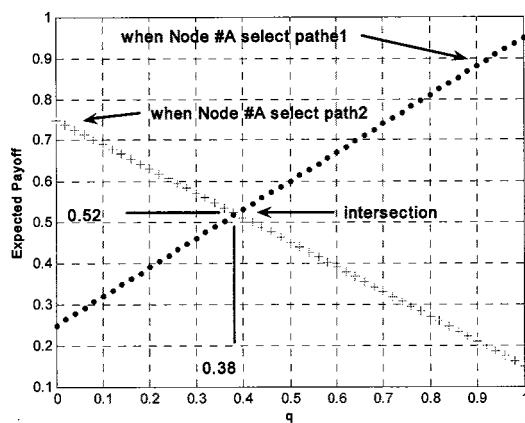


그림 5. 상대전략에 대한 매니저의 기대이득 분석
Fig. 5. Analysis on the expected gains of the manager in according to the partner's strategy.

$$0.15 \times q + 0.75 \times (1-q) \quad (\text{식 } 10)$$

와 같다. 노드가 path #1을 선택한 경우에 매니저 이득과, 노드가 path #2를 선택한 경우에 매니저 이득이 같아지는 확률 q' 을 찾아보자. 매니저의 기대이득은 노드의 경로선택에 따라 두 가지가 있을 수 있다.

그림 5에서 도트라인은 노드가 path #1을 선택한 경우 매니저의 기대이득을 나타내고 있고, ‘+’ 라인은 노드가 path #2를 선택한 경우 매니저의 기대이득을 나타내고 있다. 도트 라인은 q 가 커 질수록 기대이득이 증가하지만, ‘+’ 라인은 q 가 커질수록 기대이득이 감소하고 있다. 이러한 관계로부터 매니저의 기대이득은 $q < 0.38$ 에서는 도트 라인에 의하여 결정되고, $q > 0.38$ 에서는 ‘+’ 라인에 의하여 결정되는 것을 알 수 있다.

즉, $q < 0.38$ 에서 매니저의 기대이득은

$$0.95 \times q + 0.25 \times (1-q) \quad (\text{식 } 11)$$

이 지배하고, $q > 0.38$ 에서 매니저의 기대이득은

$$0.15 \times q + 0.75 \times (1-q) \quad (\text{식 } 12)$$

이 지배하는 것으로 볼 수 있다. 그림 5에서 교점(intersection)은 $q = 0.38$ 에서 찾을 수 있다. 이 점에서 도트라인과 ‘+’ 라인이 만나는데, 따라서 최소이득을 극대화 하는 곳은 교점 $q' = 0.38$ 이 된다. 이러한 결과로부터 0.38확률로 path #1을 선택하는 전략이나 $(1-0.38)$ 의 확률로 path #2를 선택하는 전략에서 기대이득은 최대가

되고, 이때 이득은 0.52가 되는 것을 찾을 수 있다. 매니저와 노드가 각각의 혼합전략에서 최소이득이 최대가 되는 지점을 찾아보았다. 이와 같이 최소이득이 최대가 되는 곳을 평형점(equilibrium point)이라고 부른다. 그림 3과 표 1의 경쟁네트워크모델에서는 매니저가 path #1, path #2를 $q = 0.38$, $(1-q) = 0.62$ 의 확률로 선택하고, 노드는 path #1, path #2를 $p = 0.46$, $(1-p) = 0.54$ 의 확률로 선택하는 경우에 평형점을 찾을 수 있고, 각각의 평형점에서 기대이득은 0.52와 0.48로 최적화 할 수 있다.

4. 기대확률 추정

기대이득으로부터 혼합전략 즉, 기대확률을 추정해 보면, 이것은 자신의 전략에 대하여 상대의 예상되는 전략에서 이득이 같아지는 조건을 추정하고, 이에 대응하는 확률을 찾는 것이다. 표 4에서 노드가 path #1을 선택하고, 즉 노드의 path #1 선택확률이 $p = 1$ 인 상태에서, 매니저가 확률 q 와 $(1-q)$ 로 path #1과 path #2를 선택할 때 기대이득은 다음과 같다.

$$0.05 \times q + 0.75 \times (1-q) \quad (\text{식 } 13)$$

노드의 path #2 선택확률이 $(1-p) = 1$ 인 상태에서, 매니저가 확률 q 와 $(1-q)$ 로 path #1과 path #2를 선택할 때 기대이득은 다음과 같다.

$$0.85 \times q + 0.25 \times (1-q) \quad (\text{식 } 14)$$

두 경우에서 기대이득이 같아지는 조건은

$$0.05 \times q + 0.75 \times (1-q) = 0.85 \times q + 0.25 \times (1-q) \quad (\text{식 } 15)$$

이다. 여기서 q 에 관해 정리하면

$$q = 0.38$$

이 된다. $q = 0.38$ 을 (식 13) 또는 (식 14)에 대입하면 노드의 이득은 0.48이 되는 것을 알 수 있다.

마찬가지로 매니저가 path #1을 확률 $q = 1$ 로 선택하고, 노드가 p 와 $(1-p)$ 의 확률로 path #1과 path #2를 선택하면 기대이득은 다음과 같이 된다.

$$0.95 \times p + 0.15 \times (1-p) \quad (\text{식 } 16)$$

또한 매니저가 path #2를 확률 $(1-q) = 1$ 로 선택하고, 노드가 p 와 $(1-p)$ 의 확률로 path #1과 path #2를 선택

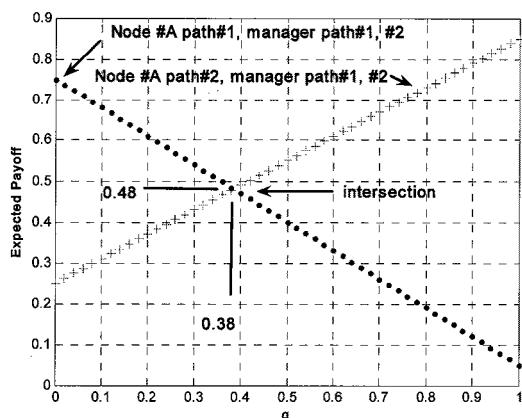


그림 6. 노드의 이득과 전략추정을 통한 매니저의 효과적인 전략(기대확률)분석

Fig. 6. Analysis on the efficient Strategy of the manager in according to the node's strategy and gain.

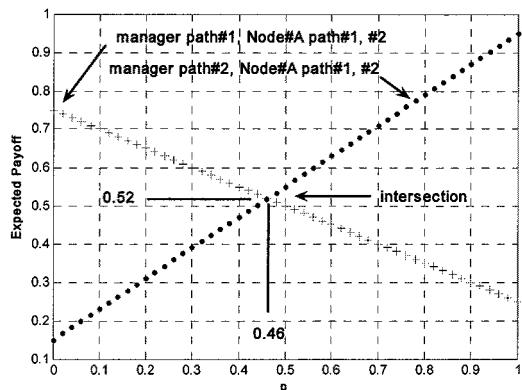


그림 7. 매니저의 이득과 전략추정을 통한 노드의 효과적인 전략(기대확률)분석

Fig. 7. Analysis on the efficient Strategy of the node in according to the manager's strategy and gain.

하면 기대이득은 다음과 같다.

$$0.25 \times p + 0.75 \times (1-p) \quad (\text{식 } 17)$$

두 경우에서 기대이득이 같아지는 조건

$$0.95 \times p + 0.15 \times (1-p) = \\ 0.25 \times p + 0.75 \times (1-p) \quad (\text{식 } 18)$$

에서 p 에 관해 정리하면

$$p = 0.46$$

이다. $p = 0.46$ 을 (식 16) 또는 (식 17)에 대입하면 매니저의 이득은 0.52가 되는 것을 찾을 수 있다. 이러한 결과로부터 노드는 0.48의 기대이득에서 매니저가 0.38의 확

률로 path #1을 선택하는 전략에서 이득이 최적으로 될 수 있음을 추정할 수 있고, 매니저는 0.52의 기대이득에서 노드가 0.46의 확률로 path #1을 선택하는 전략에서 이득이 최적으로 될 수 있음을 추정할 수 있다. 기대확률의 추정된 결과와 기대이득의 추정 결과는 동일한 확률과 이득을 나타내고 있다.

5. 기대이득 추정의 일반화

표 5와같이 변수로 구성된 이득표에서 기대이득과 기대확률을 구하기 위하여 각각의 식을 유도하면, 변수로 구성된 식을 구성할 수 있다.

매니저가 path #1을 선택하면 노드의 기대이득은

$$p \times a + (1-p) \times b \quad (\text{식 } 19)$$

이고, 매니저가 path #2를 선택하면 노드의 기대이득은

$$p \times d + (1-p) \times c \quad (\text{식 } 20)$$

가 된다. 두 식이 같아지는 경우

$$p \times a + (1-p) \times b = \\ p \times d + (1-p) \times c \quad (\text{식 } 21)$$

에서 p 에 대하여 정리하면

$$p = \frac{b-c}{d-a+b-c} \quad (\text{식 } 22)$$

을 얻을 수 있다. 구해진 p 를 조건식 (식 19) 또는 (식 20)에 대입하면 기대이득을 찾을 수 있다. 마찬가지로 노드가 path #1을 선택하면 매니저의 기대이득은

$$q \times h + (1-q) \times k \quad (\text{식 } 23)$$

이고, 노드가 path #2를 선택하면 매니저의 기대이득은

$$q \times i + (1-q) \times j \quad (\text{식 } 24)$$

표 5. 추정식의 일반화를 위한 이득표

Table 5. Payoff Table for generalizing the estimation equation.

		Network Manager	
		q	1-q
Node #A	p	h	k
	1-p	i	j

가 된다. 두 식이 같아지는 경우

$$\begin{aligned} q \times h + (1 - q) \times k &= \\ q \times i + (1 - q) \times j & \end{aligned} \quad (\text{식 } 25)$$

에서 q 에 대하여 정리하면

$$q = \frac{j - k}{h - i + j - k} \quad (\text{식 } 26)$$

을 구할 수 있다. 구해진 q 를 조건식 (식 23) 또는 (식 24)에 대입하면 기대이득을 찾을 수 있다. 상대의 선택에 따라서 자신의 전략에서 예상할 수 있는 기대이득을 일반화하였다.

6. 기대확률 추정의 일반화

표 5에서 자신의 이득과 선택확률로부터 상대전략에 따른 기대이득을 구할 수 있었다. 자신의 선택확률에서 상대의 이득과 전략을 추정하고 기대확률을 구하면 다음과 같다. 매니저가 q 의 확률로 path #1을 선택하고, 노드가 path #1을 선택하는 경우

$$q \times a + (1 - q) \times d \quad (\text{식 } 27)$$

의 이득을 얻을 수 있고, 노드가 path #2를 선택하는 경우

$$q \times b + (1 - q) \times c \quad (\text{식 } 28)$$

의 이득이 발생하는데, 두 이득이 같아지는 조건

$$\begin{aligned} q \times a + (1 - q) \times d &= \\ q \times b + (1 - q) \times c & \end{aligned} \quad (\text{식 } 29)$$

에서 위 식을 q 에 관해 정리하면 매니저의 기대확률은

$$q = \frac{c - d}{a - b + c - d} \quad (\text{식 } 30)$$

이 된다. 마찬가지로, 노드가 p 의 확률로 path #1을 선택하고, 매니저가 path #1을 선택하는 경우

$$p \times h + (1 - p) \times i \quad (\text{식 } 31)$$

의 이득을 얻을 수 있고, 매니저가 path #2를 선택하는 경우

$$p \times k + (1 - p) \times j \quad (\text{식 } 32)$$

의 이득이 발생하는데, 두 이득이 같아지는 조건

$$p \times h + (1 - p) \times i =$$

$$p \times k + (1 - p) \times j \quad (\text{식 } 33)$$

에서 위 식을 p 에 관해 정리하면 노드의 기대확률은

$$p = \frac{j - i}{h - k + j - i} \quad (\text{식 } 34)$$

이 된다. (식 30)와 (식 34)에서 각각의 기대확률을 일반화하였다. 이러한 결과로부터 상대의 전략에서 자신의 이득을 최대로 할 수 있는 기대이득과, 자신의 기대이득 수준에서 상대의 최적전략 즉, 기대확률을 추정하고, 이러한 분석과정에서 일반화 공식을 구할 수 있었다.

7. 경쟁네트워크모델의 민감성분석

경로의 유한 자원에 대하여 매니저와 노드의 대립관계와 그 영향을 파악하기 위하여 모델의 관심변수에게 관측변수 θ 을 각각 적용하고, 변수의 변동에 따른 성능을 측정하면, 변수의 변동과 성능의 변화로부터 그 변수가 성능에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 경쟁네트워크모델이 표 4의 성능테이블을 가지고 있고, Path #1, Path #2를 선택하는 확률을 x_1, x_2 라고 하자. 민감성 분석을 위하여 기대이득 분석에서 사용된 (식 5), (식 6)와 (식 9), (식 10)으로부터 2 가지의 제약식을 구성할 수 있다.

Object Function (*Max*)

$$x_1 + x_2$$

subject to

$$\begin{aligned} 0.05 x_1 + 0.85 x_2 &\leq 1 \\ 0.75 x_1 + 0.25 x_2 &\leq 1 \\ x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0 & \end{aligned} \quad (\text{식 } 35)$$

Object Function (*Max*)

$$x_1 + x_2$$

subject to

$$\begin{aligned} 0.95 x_1 + 0.25 x_2 &\leq 1 \\ 0.15 x_1 + 0.75 x_2 &\leq 1 \\ x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0 & \end{aligned} \quad (\text{식 } 36)$$

(식 35), (식 36)의 제약식을 보면 표 4의 전송성능 값들이 모델을 구성하고 있는데, 각 계수로부터 민감성 분석을 조사한다. 이때 편의상 우변상수와 목적함수의 계수는 1로 두고, 변량의 크기에 관심을 둔다.

$$(0.05+\theta)x_1 + 0.85x_2 \leq 1 \quad (\text{식 37})$$

$$0.05x_1 + (0.85+\theta)x_2 \leq 1 \quad (\text{식 38})$$

$$(0.75+\theta)x_1 + 0.25x_2 \leq 1 \quad (\text{식 39})$$

$$0.75x_1 + (0.25+\theta)x_2 \leq 1 \quad (\text{식 40})$$

(식 35)의 제약식은 (식 37)부터 (식 40)까지 각 변수에 대해 관측변수 적용을 한다.

$$(0.95+\theta)x_1 + 0.25x_2 \leq 1 \quad (\text{식 41})$$

$$0.95x_1 + (0.25+\theta)x_2 \leq 1 \quad (\text{식 42})$$

$$(0.15+\theta)x_1 + 0.75x_2 \leq 1 \quad (\text{식 43})$$

$$0.15x_1 + (0.75+\theta)x_2 \leq 1 \quad (\text{식 44})$$

(식 36)의 제약식은 (식 41)부터 (식 44)까지 각 변수에 대해 관측변수 적용을 한다. 그리고 $0 \leq \theta \leq 1$ 구간에서 관측변수의 변화에 따라 성능을 측정한다.

(식 37)은 0.8까지 선형증가 후 변동이 없고, (식 40)는 0.5까지 선형증가 하다가 변동이 없다. (식 39)는 (식

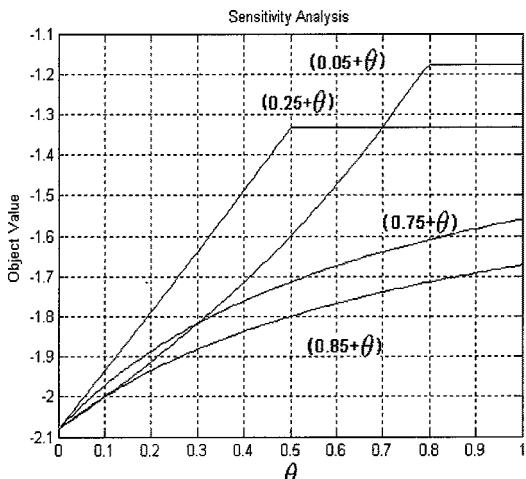


그림 8. (식 35)에서 제어식 변수의 민감성
Fig. 8. Sensitivity of control variable in Eq.35.

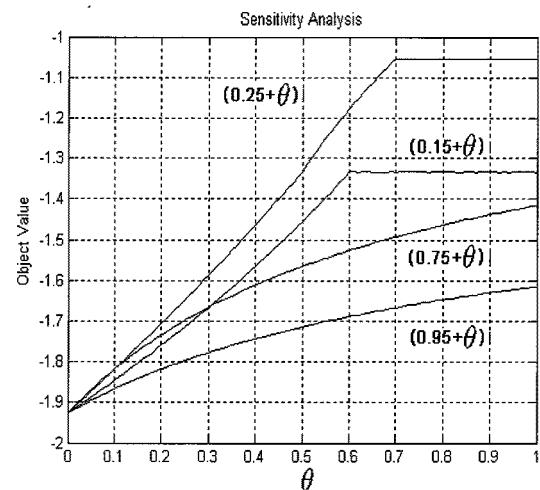


그림 9. (식 36)에서 제어식 변수의 민감성
Fig. 9. Sensitivity of control variable in Eq.36.

38)보다 기울기가 크며 비선형 증가응답을 보이고 있다. (식 42)는 0.7까지 선형증가 하다가 이후 변화가 없고, (식 43)은 0.6까지 선형증가 하다가 이후 변화가 없다. 기울기는 $(0.95+\theta)$ 가 가장 작으며 비선형 증가응답을 보이고 있다.

IV. 결 론

경쟁네트워크모델과 표 4의 이득표에서 노드와 매니저의 경쟁관계와 모델을 구성하는 각 변수가 성능에 미치는 민감성을 분석하였다. 그림6과 그림 7에서 볼 수 있듯이 노드는 Path #1을 0.46의 확률로 선택하는 혼합전략에서 0.48의 기대이득을 예상할 수 있고, 매니저는 Path #1을 0.38확률로 선택하는 혼합전략에서 0.52의 기대이득을 예상할 수 있다. 상대의 전략이 공개되는 경우 자신은 항상 유리한 이득의 전략을 추구할 수 있고, 상대는 항상 불리한 이득의 결과를 얻게 되지만 안전수준은 보장이 된다. 상대의 전략을 알 수 없을 경우에 혼합전략은 가장 적절한 대안이 될 수 있으며, 두 경쟁업체는 평형점에서 각자의 이득을 최적화 할 수 있다. 순수전략은 비화률적인 방법이며 상대의 전략예상이 미스인 경우에도 최소이득은 안전수준 이하로 되지 않는다.

대립모델로부터 모델을 구성하는 변수들이 성능에 미치는 영향은 민감성 분석을 통하여 알 수 있는데, (식 37), (식 40), (식 42) 그리고 (식 44)는 관측변수 변화에 대하여 성능을 변화시키므로 민감한 변수이다. 이 변수들의 민감성은 초기변화부터 선형증가 하다가 일정한

값부터는 더 이상 민감하지 않는 두 가지 상태를 보이고 있다. 다른 변수들도 민감한데, 초기변화부터 비선형 증가를 하고, 그 변화는 연속적이다. 그럼 8에서 보면 (식 40)의 변수가 성능에 가장 민감하게 영향을 줄 수 있으며, (식 38)의 변수가 상대적으로 가장 둔감하다. 그럼 9에서 보면 (식 42) 변수가 가장 민감하며 (식 41) 변수가 상대적으로 가장 둔감하다. 이 변수들은 앞에서 살펴보았듯이 민감하지 않은 상태를 포함하고 있는 것과 기울기 특성이 선형 비선형에서 차이를 갖는다. 민감성의 정량화는 응답곡선으로부터 관측변수 변동에 대한 미분을 구하고, 기울기를 파악하는 것으로 찾을 수 있다.

이러한 결과로부터 각 경쟁객체는 상대의 전략과 자신의 전략에 대하여 민감한 변수와 상대적으로 둔감한 변수를 구분할 수 있으며, 안전수준과 평형점을 추정하여 적절한 혼합전략을 정할 수 있고, 최악의 경우에도 보장할 수 있는 이득의 한계를 예상할 수 있다. 또한 전략이 결과에 미치는 영향을 분석하는 것은 유한자원을 공유하는 애드혹 네트워크 시스템에서 시스템 성능에 미칠 수 있는 최악의 상황을 회피하고, 그 한계를 파악하며, 각 대립 개체들의 이익을 최적화 하고, 네트워크 매니지먼트를 위하여 효과적인 방법과 아이디어를 제공할 수 있다. 이러한 분석과정으로부터 우리는 (식 22)과 (식 19), (식 20), 그리고 (식 26)와 (식 23), (식 24)에서 기대이득을 공식화하여 유도할 수 있고, 기대확률에 대하여 (식 30), (식 34) 공식을 유도하고 일반화 하였다. 이것은 매니저가 노드의 트래픽(traffic)을 제어하는 기법, 정책 등에 사용될 수 있는데, 예로 매니저는 자신의 선택 정보를 의도적으로 노출하거나 감추는 것에 따라 노드의 선택과 성능에 영향을 줄 수 있다. 또한 모델의 성능에 큰 영향을 줄 수 있는 민감한 변수는 시스템이 불안정해지거나, 어떤 변이를 추정하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박정두, 김영용, “Ad Hoc 최신 기술 동향”, 대한전자공학회, 텔레콤 제19권 제2호, pp. 72-83. 2003. 12.
- [2] 안병구, 김도현, “모바일 Ad - hoc 네트워크를 위한 클러스터 기반 멀티캐스트 라우팅”, 대한전자공학회, 전자공학회논문지 제42권 TC편 제9호, pp. 29-40, 2005. 9.
- [3] 이광제, “무선 Ad hoc 망의 QoS 보장형 라우팅에 관한 연구”, 대한전자공학회, 전자공학회논문지 제41권 TE편 제1호, pp. 51-57, 2004. 3.
- [4] 김도상 외, “비선형최적화의 이론”, 민음사 1998.12.
- [5] Krishna Paul, Romit Roychoudhuri, S. Bandyopadhyay, “Survivable Ad hoc Wireless Networks: Some Design Specifications” Accepted in IEEE International Conference on Multiaccess, Mobility And Teletraffic for Wireless Communication (IEEE MMT'2000), Florida, USA, December 3-6, 2000.
- [6] Christos G. Cassandras, Stéphane Lafortune, “Introduction to Discrete Event Systems.” Springer, 663-670, September, 1999.
- [7] 김선교 외 공역 “Introduction to Operation Research 8Th Edition”, 도서출판지필 149-156, September, 2007.
- [8] Saul Stahl, “A Gentle Introduction to Game Theory”, American Mathematical Society(AMS), Vol 13, 2001.
- [10] David G. Luenberger, “Linear and Nonlinear Programming 2nd”, Addison-Wesley, 117-158 page, 1984.
- [11] Vikas Kawadia, P. R. Kumar, “Power Control and Clustering in Ad hoc Networks”, The 22nd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Infocom 2003) April 1-3, 2003.

저 자 소 개



조 향 덕(정회원)

1997년 한국방송통신대학교 전자 계산학과 학사 졸업.

2000년 세종대학교 정보통신학과 석사 졸업.

2010년 세종대학교 정보통신 공학과 박사 졸업.

2007년 ~ 현재 하나에버텍(주) 부설연구소 차장
<주관심분야 : 통신, 신경망, 신호처리>

김 우 식(평생회원)

대한전자공학회, 논문지
제46권 SP편 제3호, 참조