

게이미론과 네트워크의 만남

모정훈 | 박광우 | 김태현
연세대학교

요약

최근 네트워크에서의 많은 문제가 게이미론을 이용하여 정형화되고 있다. 기본적으로 분산시스템인 인터넷의 활성화, 스스로 망을 조직화하는 무선시스템의 개발로 인하여 다수의 의사결정자가 필요한 게이미론이 적용될 수 있는 영역이 확대된 결과이다. 본 고에서는 게이미론이 네트워크의 다양한 문제에 어떻게 적용되었는지를 다룬다.

혹은 cellular 망에서 발생하고 그런 환경에서의 자원할당 문제를 풀기 위하여 게이미론이 적용되었다 [14-19].

본 논문에서는 게이미론이 유무선 네트워크의 자원할당 문제 그리고 과금문제에 어떻게 적용되었는지에 관하여 다룬다. 일단 2절에서는 게이미론의 가장 기본적인 개념에 대하여 설명하겠다. 3절에서는 게이미론이 망의 다양한 문제에 적용된 예를 혼잡제어, 라우팅게임, 무선망게임, 과금, 그리고 보안으로 나누어 설명하고 4절에서 결론을 내리겠다.

I. 서론

1944년 Von Neuman에 의해 시작된 게이미론은 경쟁하는 상황에서의 의사결정에 관한 학문이다. 한편의 의사결정이 다른 편의 결정에 영향을 미치는 경쟁상황을 수학적 모델을 통하여 연구하였고 경제, 정치등의 다양한 분야에 접목되었다 [2-4]. 이러한 게이미론은 1994년에는 3명의 대표적인 게이미론가가 노벨상을 받으며 정점을 이룬다.

정치 경제분야에서 주로 사용되었던 게이미론적 방법론이 최근 10여년 간 공학분야의 여러문제에 활발히 적용되기 시작하면서 새로운 융합학문 분야를 창출하였다. 분산시스템인 인터넷망의 다양한 의사결정자는 게이미론의 다수의 참여자로 모델링된 다양한 연구가 진행되었고 라우팅이나 혼잡제어등의 문제에 활발히 적용되었다 [5-13]. 또 최근에는 무선네트워크의 다양한 문제에 게이미론이 적용되고 있다. 회귀자원인 무선 스펙트럼 혹은 파워자원을 어떻게 분산 환경에서 잘 할당할 것인가라는 이슈가 무선 ad-hoc 망

II. 게이미론의 기본 개념

게이미론에서 말하는 게임은 ① 게임에 참여하는 경기자(Player), ② 각 경기자가 선택할 수 있는 전략(Strategy), ③ 각각의 전략에 따른 최종 결과와 그에 따른 보수(Pay-off)로 구성이 된다. 이러한 게임은 크게 전략형(Strategic Form) 혹은 순차형(Sequential Form)으로 표현이 가능하다.

예를 들면 가장 많이 인용되는 “죄수의 딜레마”라는 게임은 두명의 죄수가 경기 참가자가 되고 각각의 죄수는 죄를 자백하든지 부정하든지 두 가지의 선택을 가지고 있다. 이 게임에서의 경기자의 전략은 “자백”과 “합구” 두 가지로 구성되어 있다. 두 명의 죄수가 각각 2가지의 전략을 가지고 있으므로 총 4가지 경우의 수가 나오고 각각의 경우에 해당하는 보수는 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 죄수의 딜레마 게임의 전략형 표현

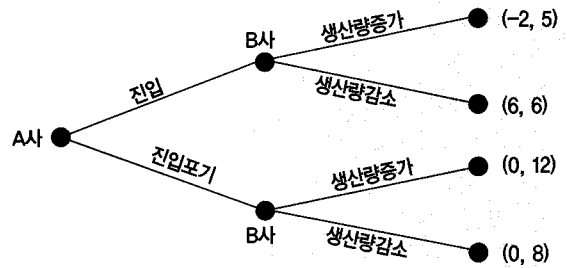
		을	
		자백	합구
갑	자백	(1년, 1년)	(방면, 5년)
	합구	(5년, 방면)	(3일, 3일)

〈표 1〉처럼 모든 경우의 수에 대하여 보수를 행렬 형식으로 표현하는 방법을 전략형 표현방법이라고 한다.

게임이론의 목적은 각각의 참가자가 어떠한 선택을 할 것인가? 즉 균형점이 어떠한 것인가를 찾는 것이다. 다양한 해의 개념이 제시되었지만 가장 보편적으로 많이 쓰이는 개념이 내쉬균형 (Nash Equilibrium)이다. 어떠한 전략의 조합이 내쉬균형이라고 한다는 것은 각각의 참가자가 다른 참가자가 현재의 선택을 했을 때 다른 전략을 선택할 동기부여가 되지 않는 경우를 말한다. 〈표 1〉에서 표현된 게임의 내쉬균형은 [자백, 자백]이다. 을이 자백인 경우 갑이 합구로 선택을 바꾸는 경우 수감기간이 1년에서 5년으로 늘기 때문에 갑은 전략을 수정할 동기가 없다. 을도 동일한 논리로 선택을 수정할 동기부여가 없다.

John Nash는 이러한 내쉬균형이 모든 전략형 게임에 하나 이상 존재함을 증명하였지만¹⁾ 내쉬균형점은 하나 이상 다수가 존재할 수 있다. 다수의 균형점중 어떤 균형점을 해로 보아야 하는가의 문제로 인해 subgame perfect 내쉬균형등의 다양한 개념이 제안되었다. 이러한 refinement에 관한 내용은 [24]를 참조하기 바란다.

다른 형태의 게임인 순차적 게임은 참가자의 의사 결정이 동시에 발생하는 게 아니라 순서를 두고 발생하는 경우다. (그림 1)은 A사와 B사의 진입게임이다. A사는 신규회사로 B사가 점유하고 있는 시장에 진입을 할것인지 아닐지를 결정한다. B사는 A사의 선택에 따라 생산량을 늘일 것인지 줄일 것인지를 선택한다. 이렇게 의사결정이 시간을 두고 발생하는 경우 게임트리를 이용하여 게임을 표현할 수 있고 역진 귀납법(Backward Induction)등의 방법으로 균형점을 찾을 수 있다.



(그림 1) 진입게임의 게임트리를 이용한 표현

그외의 게임으로는 하나의 게임이 여러 번 반복되는 반복 게임, 불확실성이 존재하는 미비정보게임 혹은 불완전 정보 게임등이 있다. 반복게임은 하나의 게임이 유한번 혹은 무한번 반복되는 경우로 하나의 게임이 반복되는 경우의 전략을 다룬다. 이러한 경우는 사업관계에서 매수/매도가 반복되는 경우등의 다양한 상황을 모델하는데 쓰였다. 미비정보, 불완전정보게임은 보수함수 혹은 상대방의 전략이 무엇인지를 잘 모르는 경우엔 어떤 전략을 선택할 것인가 등의 문제 등을 다루는 데 쓰인다. 정보의 비대칭성에 따른 의사 결정을 다룬 레몬 마켓이론은 이러한 개념을 이용한 예이다. 자세한 내용은 본고의 범위를 넘어서기 때문에 관심 있는 독자는 [24]를 참조하기 바란다.

III. 게임이론의 네트워크 응용

균형점을 찾는 게임이론이 네트워크에 응용 되기 시작한 것은 1990년대 중반부터이다. 인터넷 혹은 무선 시스템 등의 분산시스템이 나타나기 시작하면서 시스템의 최적점을 찾는 최적화에 기반한 방법보다는 다수의 참가자가 어떤 점에서 균형을 이루는 것인가를 찾는 게임이론에 기반한 모델이 의미를 갖기 시작했다.

게임이론은 여러 사용자가 자신의 효용을 최대화하려고 할 때 어떤 균형을 찾아가 하는 혼잡제어 (Congestion

01_ 혼합 내쉬 균형 (Mixed Nash Equilibrium) 이 존재함을 보였다. 순수 내쉬 균형 (Pure Nash Equilibrium)은 존재하지 않을 수 있다.

02_ 이렇게 찾은 균형점은 부분게임완전균형(Subgame Perfect Nash Equilibrium)이라고 부른다.

Control) 문제와 사용자가 다양한 경로가 존재할 때 어떤 경로를 사용하는 가 하는 라우팅 문제에 적용되었다. 최근에는 무선 자원관리, 과금 문제, 그리고 보안 분야 등에 활발하게 적용되고 있다.

1. 혼잡 제어 게임 (Congestion Control)

혼잡제어(Congestion Control) 혹은 흐름제어(Flow Control)는 인터넷 대역폭자원이 과다하게 사용되는 것을 적절히 제한하여 망이 혼잡으로 인하여 제어하기 힘든 상황이 되는 것을 방지하여 준다. 인터넷에서 이러한 역할은 TCP (Transmission Control Protocol)라고 하는 프로토콜이 담당하고 있다. 망에 과부하가 걸리면 보내는 양을 줄임으로써 망이 과다하게 사용되는 것을 막는다.

망에 보내는 데이터 양을 줄여주지 않는다면 오히려 망에 과부하가 걸려서 망의 서비스 품질이 현저하게 저하되는데 이를 혼잡 붕괴 (Congestion collapse) 라고 한다. 이는 양을 키우던 목초지가 마을 사람들의 욕심 때문에 결국 황무지가 되어서 양을 키울 수 없게 되었다는 “공유지의 비극 (Tragedy of Commons)” 이라는 문제와 비슷하다.

N명의 사용자가 망을 사용하고 있다고 하고 x_n 번째 사용자의 데이터 사용량이라고 하자. 이 때 사용자가 느끼는 효용의 양은 볼록 증가함수 (concave increasing function) $U(x_n)$ 이고 전체사용자가 사용한 양인 $\sum_{n=1}^N x_n$ 에 비례하는 비용을 지불한다고 하자. 그렇다면 사용자 n의 순 효용은 $U(x_n) - \sum_{n=1}^N x_n$ 이다. 이 사용자가 자신의 순 효용을 최대화하는 이성적인 사용자이라면, 이 사용자의 사용량 $x_n^* = U^{-1}(1)$ 에서 결정된다. 순 효용함수를 미분해서 0이 되는 점이 최적이기 때문이다. 만약 N명의 사용자가 동일한 사용량을 쓴다고 가정하면 사회적 효용을 최대화하는 사용량은 $U(x_n) - Nx_n$ 을 최대화하는 $x_n^{**} = U^{-1}(N)$ 에서 결정된다. 함수 U 가울기인 U' 은 감소함수이므로 $x_n^* > x_n^{**}$ 이다. 즉 사회적으로 권고되는 사용량보다 많은 사용량을 사용하게 되는 것이다. 이는 이기적인 개인의 최적 량과 사회적 최적 량이 항상 일치하지 않음을 보여주고 있다. 이 내용은 [5]에 있는 것을 정리하였으며 보다 자세한 내용은 [5]를 참조하기 바란다.

혼잡제어의 게임모델은 다양한 학자들에 의해서 연구되었다. [6]에서는 사용자의 효용함수가 수율(throughput)인 경우에 지연시간에 대한 제약을 둔 모델을 연구하였다. [7]은

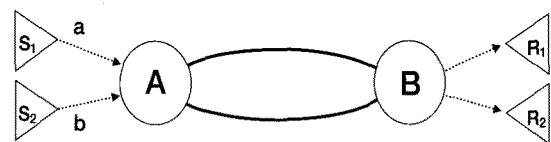
효용함수를 수율과 지연시간의 비율인 파워라는 개념을 도입하여 사용하였다. [8]에서는 이러한 혼잡제어 문제를 동적인 환경에서 고찰하였다.

2. 라우팅 게임 (Routing Game)

대표적인 분산제어 방법인 인터넷의 라우팅은 송신 노드에서 수신 노드까지의 경로를 찾는 것이다. 다양한 경로가 존재할 때 지연시간이 적은 최적의 경로를 찾기 위해서 다양한 라우팅 프로토콜이 제안되고 사용되고 있다. 이중 대표적인 게 OSPF, RIP, 그리고 BGP 기법이다.

라우팅 게임의 기본 가정은 각 사용자가 자신의 경로를 결정한다는 것이다. 이러한 경우에 본인의 비용을 최소화시키고 싶다면 이러한 이기심이 어떠한 결과를 발생시킬 것인가가 라우팅 게임의 연구대상이다. 라우팅의 분산성 때문에 라우팅 기법도 게임모델에 일찍이 적용되었고 [9, 10, 11]등에서 다루어졌다. 이러한 게임은 비용함수를 어떻게 선택할 것인가 망의 토폴로지를 어떻게 고려할 것인가에 따라서 다양한 모델이 만들어졌다.

[9]에서 다루어진 라우팅 게임은 다음과 같다. 송신노드와 수신노드 사이에 L개의 평행한 경로가 존재하고 있을 때 다수의 사용자들이 각자의 정해진 양의 데이터를 어떻게 나누어서 보내는지를 결정하는 게임문제이다. (그림 2)는 두 개의 경로가 노드 A와 B 사이에 존재하고 두 명의 사용자가 각각 a와 b만큼의 데이터를 보내야 하는 경우이다.



(그림 2) 2개의 경로가 있을 때 라우팅 게임

예를 들어 하나의 경로에 사용자의 데이터가 집중되는 경우엔 그 경로의 지연시간 비용이 증가하게 되므로 적절치 못하다. 각자의 사용자는 비용을 줄이기 위해서 데이터를 적절히 분산시켜 보내야 한다. 이 문제는 고속도로 상의 수송문제와 매우 유사하다. [9]에서 저자는 매우 일반적인 비용함수에 대하여 내쉬 균형점이 존재하고 유일하다는 것을 보였다. 그리고 균형점에 도달하는 방법을 제시하였다. 하

지만 네트워크의 토폴로지가 일반화되는 경우엔 이러한 유일성이 보장되지 않는다.

사용자가 자신의 이익만을 최대화시키는 이기적인 라우팅의 결과가 전체 시스템의 성능을 얼마만큼 감소시킬 것인가? 이 문제는 [12]에서 다루어졌다. 저자는 이러한 이기심의 비용을 나타내주는 척도인 PoA³ (Price of Anarchy, PoA) 값이 선형함수를 가정한 경우에 4/3보다 크지 않다는 것을 보였다. 이는 내쉬균형에서의 흐름을 최적의 흐름과 비교했을 때 비용증가가 최대 33% 정도이라는 것을 의미한다. 33%의 비용증가는 그리 크지 않은 비용이며 실제 상황에서도 일반적으로 Selfish의 한도 내에서 지연시간 등의 비용증가가 발생한다는 것이다. 인터넷 환경 같은 실제 환경에서도 이러한 이기적인 라우팅 방법이 그리 나쁘지 않다는 시뮬레이션을 통하여 보였다.

3. 무선 망 게임 (Wireless Game)

무선 자원 배분문제는 파워 제어 (Power Control) 문제 혹은 접근제어 (Access Control) 문제 등으로 많은 연구가 진행되었다 [14, 15, 16, 17]. 파워제어문제는 혼잡제어문제의 물리계층 버전이라고 할 만큼 비슷한 점이 있다. 셀룰라망의 상향링크 전송을 생각해 보자. 여러명의 사용자가 각각 기지국에 전송을 한다고 하면, 각 사용자는 자신의 전송파워를 높여 많은 데이터를 보내고자 할 것이다. 하지만 파워레벨을 높이면 이게 다른 사용자의 간섭으로 작용하기 때문에 타 사용자의 전송속도를 감소시킨다. 이러한 트레이드오프가 존재하기 때문에 게임이론을 적용하는 것이 가능해진다. [13-14]에서는 각 사용자의 효용함수를 BER(Bit Error Rate)을 이용해서 모델링 하였고 내쉬균형의 유일성에 대하여 증명하였다. [13]에서는 이러한 문제를 반복게임으로 모델링 하였다.

미디어 액세스 문제는 Wi-Fi 등의 무선망의 MAC계층에서 발생하는 문제이다. 참가자는 전송을 하든지 혹은 않든지 두 가지 중에 하나를 선택할 수 있다. 전송이 성공하는 경우는 여러 사용자중의 단 한명의 사용자가 전송을 하는 경우이다. 그 외의 경우엔 전송이 실패한다. [15]는 미디어 액세스 문제를 게임이론으로 모델링한 연구이다. [18]은 무선망 계

임에 관한 튜토리얼로 많은 정보를 제공한다.

4. 네트워크 과금 (Network Pricing)

망의 과금 문제는 서비스의 매출, 수익등과 직접적으로 연관되는 중요한 문제이다. 또 사용자의 서비스 이용에 직접적으로 연관되기 때문에 서비스의 활성화에 중요한 영향을 끼친다. 과금제에 관한 초기 연구는 혼잡요금 (Congestion Pricing) 에 관한 연구이다. 망의 혼잡을 회피하기 위하여 Congestion Pricing을 연동시키자는 연구이다. 이러한 연구들 중 몇 가지를 열거한다면 다음과 같다. Mackie-Mason과 Varian은 혼잡이 발생하는 망에서의 과금 문제를 연구하였고 서로 다른 과금방법들이 성능과 산업구조에 미치는 영향을 연구하였다 [19]. 그들은 고정요금제를 사용하는 경우에 지연시간에 민감한 사용자들은 서비스를 이용하지 못하므로 혼잡요금을 사용해야 한다고 주장하였다.

Kelly는 그의 우수한 연구에서 인터넷의 중요한 자원인 대역폭 할당 방법을 제안하였다. 그의 프레임에 기반하여서, 그는 동료와 함께 과금이 망의 혼잡도와 연관이 되는 종량제 (Usage based pricing) 방법을 제안하였다[5].

He와 Walrand [19] 그리고 Shakkottai와 Srikant는 여러 인터넷 서비스 사업자가 있는 경우 그들간의 과금 문제를 게임이론을 통하여 연구하였다. He는 [19]에서 여러명의 인터넷 서비스 사업자중 병목에 해당하는 사업자의 매출이 많다는 것을 보이고 이러한 이유 때문에 병목 사업자가 망을 업그레이드 할 이유가 적다는 것을 보였다. 그리고 그러한 문제를 해결하기 위한 방법을 제안하였다.

과금 문제와 함께 활발한 연구가 진행되고 있는 분야는 서비스 차별화 (Service Differentiation) 부분이다. 서비스 차별화는 서비스 품질 (QoS) 그리고 과금 문제와 연관되어 있는 중요한 문제이다. A. Odlyzko는 파리의 지하철인 Metro에서 사용되는 간단한 과금 문제를 인터넷에 사용하기를 제안하였다 [20]. 지하철을 일등칸과 이등칸으로 구분하여서 각각 비싼 요금과 싼 요금을 부과하는 방법으로 일등칸은 한가하고 이등칸은 복잡하게 된다. Odlyzko는 망을 여러 개의 논리적으로 구분하고 각 서비스의 과금을 차별화 함으로서 사용자의 서비스품질을 차별화하는 방법을 제안한 것이다. 기

03_ 내쉬균형에서의 비용과 시스템 최적비용과의 비율로 정의된다.

술적으로 서비스 품질을 차별화하는 것이 아니라 과금을 이용한 품질차별화를 제안하였다. 망사업자는 매출을 최대화할 수 있는 차별화된 가격을 선정할 수 있다. 이러한 간단한 서비스 차별화 방법은 기존의 방법보다 사업자의 매출액을 35%정도 증가시킬 수 있다 [21]. 사업자의 입장에서 가격 차별화 방법은 기술적으로 어렵지도 않은 매출을 신장할 수 있는 하나의 좋은 방법이다.

하지만 다수의 망사업자가 경쟁하게 되면 문제는 좀 더 복잡해진다. 이 경우엔 2명 이상의 망사업자 사이의 경쟁관계 때문에 차별화된 가격을 어떻게 선정할 것인가, 매출액이 증가할 것인가는 어려운 문제이다. 사업자가 공모를 하거나 계약을 맺으면 만족할 만한 해법이 존재하지만 일반적인 경우엔 만족할만한 해법이 없을 수도 있다. [22]와 [23]에서는 경쟁관계에 있을 때 사업자간의 price of anarchy 정도를 다루었다.

Musacchio et. al은 무선 access망에서의 과금 문제를 다루었다 [23]. 무선망 사업자와 사용자간의 비대칭정보게임을 모델링하고 웹 브라우저의 경우와 파일전송의 경우를 고찰하였다. 이 연구를 통하여 웹 브라우저의 경우는 고정요금, 파일 전송의 경우는 전송 시마다 가격을 달리하는 일회요금 이 내쉬균형임을 보였다. Huang et. al은 무선 access망에서의 두 개의 가격을 사용하는 것이 최적이라는 것을 보였다 [24].

망의 과금 문제와 관련되는 또 다른 연구방향은 경매(auction)를 이용한 자원할당이다. 망에서 자원이라고 할 수 있는 대역폭(bandwidth) 혹은 서로 다른 품질의 서비스를 경매방법을 통한 자원할당은 최근 활발히 연구가 되었다 [25-27]. 특히 [25]에서는 VCG-Kell라고 불리는 대역폭 옥션 방법이 제안되었다. 이 방법은 망사업자가 사용자의 효용을 알지 못해도 최적의 방법으로 경매를 진행할 수 있다는 장점이 있다.

5. 인터넷 보안 (Security Game)

인터넷의 보안은 중요성이 점점 더해지고 있지만 해결이 되지 않고 있다. 많은 학자들이 안전한 인터넷으로 가기 위해서 보다 중요한 것은 보안기술의 개발보다는 사용자에게 적절한 인센티브를 제공하여야 한다는 것이다. 예를 들면 서비스거부 공격 (Denial of Service)은 패치가 제대로 설치

되지 않은 컴퓨터에서 발생하지만 이러한 컴퓨터의 소유자는 패치를 설치할 필요성을 별로 느끼지 못한다는 것이다.

[28]에서는 이러한 보안문제를 개인의 투자비용, 망의 토폴로지, 그리고 개인투자의 다른 사용자에게 미치는 중요도를 포함하는 게임모델을 만들어서 분석하였다.

[29]에서는 intrusion detection 문제를 게임으로 모델링 하였다. 침입자의 경우 침입경로를 선택하고 망 관리자는 침입자를 어떻게 찾을 것인가의 샘플링 전략을 선택하였을 때를 게임으로 모델 하였다.

IV. 결 론

본고에서는 게임이론의 기본개념과 네트워크에 적용된 다양한 사례를 살펴보았다. 게임이론은 이미 혼잡제어, 라우팅, 무선망, 과금, 그리고 인터넷 보안등의 다양한 문제에 사용되고 있다. 게임이론은 주로 분산된 제어장치가 있는 분산시스템에서 균형점이 어떻게 만들어지고 이러한 균형점에 어떻게 접근해야 하는지에 관한 가이드라인을 제시해 준다.

하지만 공학적인 문제, 특히 프로토콜 레벨의 문제를 게임이론이라는 도구를 사용해야 하는지에 대한 회의적인 시각도 없지 않다. 게임이론의 가정중의 하나인 이기적인 참여자 가정이 적합한지 프로토콜을 설계하는데 적합 하는지가 그것이다. 예를 들어 파워제어 게임에서 참가자는 자신의 파워레벨을 조절하여 효용을 최대화시킨다. 하지만 실제 시스템에서의 파워레벨은 하드웨어에 의해서 조절이 되므로 일반적인 사용자가 조절한다는 것은 거의 불가능하다. 이러한 비판은 게임이론이라는 도구를 사용할 때 조금 더 신중하게 사용해야 한다는 것을 말해준다.

참 고 문 헌

- [1] T. Roughgarden and E. Tardos, "How Bad is Selfish Routing?", JACM '02.

- [2] 김영세, 게임이론 전략과 정보의 경제학, 제3판, pp.1~2,2007.3
- [3] 박주현, 게임이론의 이해 제2판, pp12~13, 81~82,2001.3
- [4] D. Fudenberg and J. Tirole, Game Theory, MIT Press, Cambridge (MA), 1991.
- [5] F.P.Kelly, "Charging and rate control for elastic traffic," European Trans. on Telecommunications, 8(1): 33-37, 1996.
- [6] Korilis Ya, Lazar A. "On the existence of equilibria in noncooperative optimal flow control," Journal of the ACM 1995;42(3):584-613.
- [7] Mazumdar R, Mason L, Douligeris C. "Fairness in network optimal flow control: optimality of product forms," IEEE Transactions on Communications 1991;39(5):775-82.
- [8] Hsiao mt, Lazar aa, "Optimal decentralized flow control of Markovian queueing networks with multiple controllers." Performance Evaluation 1991;13:181-204.
- [9] A. Orda, R. Rom and N. Shimkin, "Competitive routing in multiuser communication networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, 1 (5) 1993
- [10] Altman E, Kameda H. "Equilibria for multiclass routing problems in multi-agent networks." In: 40th IEEE Conference on Decision and Control, Orlando, Florida, USA, December 2001.
- [11] T. Roughgarden, "Selfish routing with atomic players," ACM/SIAM Symp. on Discrete Algorithms (SODA) 2005
- [12] J. MacKie-Mason, J.K., H. Varian, "Pricing congestible network resources," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 13(7), pp. 1141 - 1149, 1995
- [13] A. B. MacKenzie and S. B. Wicker, "Game theory in communications: Motivation, explanation, and application to power control," in Proceedings of IEEE GLOBECOM, 2001, pp. 821-826.
- [14] V. Shah, N. B. Mandayam, and D. J. Goodman, "Power control for wireless data based on utility and pricing," in Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 1998, pp. 1427-1432.
- [15] A. B. MacKenzie and S. B. Wicker, "Stability of multipacket slotted aloha with selfish users and perfect information," in Proceedings of IEEE INFOCOM, April 2001.
- [16] Z. Han and K. J. Ray Liu, "Noncooperative power-control game and throughput game over wireless networks", IEEE Trans. on Commun., vol. 53, no. 10, pp.1625-1629, Oct. 2005.
- [17] W. Teerapabkajorndet and P. Krishnamurthy, "A reverse link power control algorithm based on game theory for multi-cell wireless data networks", in Proc. GLOBECOM, 2004, pp.459-468.
- [18] M. Felegyhazi, J. Hubaux, "Game Theory in Wireless Networks: Tutorial," EPFL Technical Report, 2006
- [19] C. W. Sung and W. S. Wong, "A noncooperative power control game for multirate CDMA data networks", IEEE Trans. on Wireless Commun., vol. 2, no. 1, pp.186-194, Jan. 2003.
- [20] A. Odlyzko, "Paris Metro Pricing for the Internet," ACM Conference on Electronic Commerce, 1998
- [21] Jean Walrand, "Economic Models of Communication Networks, Performance Modeling and Engineering," page 57-89, 2008
- [22] D. Acemouglu, A. Ozdaglar, "Competition and Efficiency in Congested Markets," Mathematics of Operations Research, vol. 32, no. 1, pp. 1-31, February 2007.
- [23] J. Mussacchio, J. Walrand, "WiFi access point pricing as a dynamic game", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 14(2), 2006
- [24] L. Huang M.J. Neely, "The Optimality of Two Prices: Maximizing Revenue in Stochastic Network," Proc. of the 45th Allerton Conference, 2007
- [25] S. Yang, B. Hajek, "VCG-Kelly mechanisms for allocation of divisible goods: Adapting VCG mechanisms to one-dimensional signals," IEEE JSAC

(Issue on non cooperative behavior in networks) , vol. 25, pp. 1237-1243, 2007.

[26] R. Jain, "An Efficient Nash-Implementation Mechanism for Allocating Arbitrary Bundles of Divisible Resources," IEEE JSAC, 2007.

[27] R. Johari and J. N. Tsitsiklis, "Efficiency loss in a resource allocation game," Mathematics of Operations Research, 29(3): 407-435, 2004.

[28] L. Jiang, V. Anantharam, and J. Walrand, "Efficiency of selfish investment in network security," preprint,2008; <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~wlr/Papers/libinsecurity.pdf>

[29] T.V. Lakshman, M. Kodialam. "Detecting network intrusions via sampling: a game theoretic approach." In: IEEE INFOCOM, San Francisco, California, USA, 2003.

[30] E. Altman, "A survey on networking games in telecommunications, Computers and Operations Research," Vol 33, pages: 286 - 311, Issue 2, Feb 2006.

약 력



모 정 훈

2008년 ~ 현재 연세대학교 교수

관심분야: 모바일 서비스, 통방융합, 게임이론, 최적화

1993년 서울대학교 학사
 1996년 서울대학교 석사
 1998년 University of California, Berkeley 석사
 1999년 University of California, Berkeley 박사
 1999년 ~ 2000년 AT&T Bell LABs, Senior Tech, Staff Member
 2001년 ~ 2003년 Tera Blaze, Inc (Now Agere) Senior Tech Staff Member
 2003년 ~ 2007년 한국정보통신대학교 교수



박 광 우

1998년 한국항공대학교 학사
 2009. 3-현재 연세대학교 정보산업공학과 석사과정
 관심분야: 무선 통신, 통신 미디어 경영



김 태 현

2009년 아주대학교 학사
 2009년 ~ 현재 연세대학교 정보산업공학과 석사과정
 관심분야: 게임이론, 무선통신

