

멀티미디어 셀룰러 네트워크상에서 내쉬 협상해법을 이용한 대역폭 관리기법

(Cellular Network Bandwidth Management Scheme based on Nash Bargaining Solution)

최 윤 호 [†] 김 승 욱 ^{**}
(Yoonho Choi) (Sungwook Kim)

요 약 본 논문에서는 이동 셀룰러 네트워크 환경에서 한정된 자원인 무선대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 게임이론을 이용한 대역폭 예약 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 게임 이론의 협상 해법 중 대표적인 NBS 기법을 이용하여 전체 시스템의 효율을 극대화하는 최적의 대역폭 대역량과 예약량을 계산한다. 성능평가 결과 제안된 기법이 다양한 네트워크의 상황에 탄력적으로 대응할 수 있었기에 기존에 제안된 기법에 비해 뛰어난 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

키워드 : 내쉬 협상 해법, 호 수락제어, 대역폭 차용, 대역폭 예약, 무선 네트워크

Abstract Bandwidth is an extremely valuable and scarce resource in a wireless network. Therefore, efficient bandwidth management is necessary in order to provide high quality service to users with different requirements. In this paper, we propose a bandwidth reservation algorithm based on Nash Bargaining Solution. The proposed algorithm has low complexity and are quite flexible in the different situations of network. Simulation results indicate that the proposed scheme has excellent performance than other existing schemes.

Key words : Nash Bargaining Solution, Call Admission Control, Channel Borrowing, Channel Reservation

1. 서 론

셀룰러 네트워크에서는 서비스의 종류와 데이터의 형태에 따라 서로 다른 서비스 품질(QoS : Quality of Service)을 요구하며, 요구한 QoS에 민감한 특성을 가지고 있다. 그러나, 단말기의 이동성으로 인한 핸드오프는 서비스를 어렵게 하는 주요 원인이 된다. 따라서, 셀룰러 네트워크 환경에서 서로 다른 멀티미디어 서비스의 QoS 요구를 효율적으로 제어하면서 사용자의 이동

성을 효과적으로 지원하는 방법에 대한 연구의 중요성이 더욱 강조되고 있다[1,2].

게임 이론은 경쟁하는 상황에서의 의사결정에 관한 학문으로서 한편의 의사결정이 다른 편의 결정에 영향을 미치는 경쟁상황을 수학적 모델을 통하여 연구하였고 경제, 정치 등의 다양한 분야에 접목되었다. 최근의 애드혹 네트워크의 특성이 전형적인 게임 상황의 범주에 포함된다는 사실에 주목하고, 그러한 네트워크의 전반적인 운용문제를 게임 이론을 통해서 해결하고자 하는 연구들이 많이 발표되고 있다[1]. 특히, 무선 애드혹 네트워크와 셀룰러 네트워크에서 무선 스펙트럼과 에너지 자원을 어떻게 분산 환경에서 잘 할당할 것인가라는 자원할당문제를 풀기 위하여 게임 이론이 다양하게 적용되고 있다[2].

본 논문에서는 음성 트래픽과 멀티미디어 트래픽이 동시에 존재하는 셀룰러 네트워크에서 트래픽과 서비스의 종류에 따라 실시간 트래픽, 비실시간 트래픽과 핸드오프 서비스, 신규 서비스로 구별하여 각각의 QoS를 정의하고 게임 이론의 협상 해법을 이용하여 한정된 무선

[†] 비 회 원 : 서강대학교 컴퓨터공학과
loveguriguri@naver.com

^{**} 중신회원 : 서강대학교 컴퓨터공학과 교수
swkim01@sogang.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 22일
심사완료 : 2010년 9월 7일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제6호(2010.12)

대역폭 자원을 효율적으로 사용하도록 지원하는 대역폭 관리 알고리즘을 제안하였다.

2. 게임 이론

게임 이론에서는 '여러 주체가 모여서 의사 결정을 내리고, 그 결과에 의해서 정해진 보수를 얻는 상황'을 게임 상황(game situation)이라고 부른다. 이러한 게임 상황을 분석하기 위한 도구인 게임 이론의 구성요소로는 경기자(player), 전략집합(strategy set), 그리고 효용함수(utility function) 또는 보수(payoff)의 세 가지가 있다. 여기서 경기자는 게임 상황에서 의사결정을 하는 주체로서 일반적인 게임에 있어서 참가자에 대응되는 개념이다. 그리고 전략집합은 경기자가 게임 중에 의사결정을 내릴 수 있는 선택의 범위를 의미하는 것이고, 보수는 각 경기자가 전략을 선택하여 최종적으로 게임 상황이 종료되었을 때 얻는 효용의 크기를 의미하는 것으로서, 이는 일반적인 게임에 있어서 게임의 규칙과 승패를 가르는 방법에 대응되는 개념으로 이해할 수 있다.

2.1 협조적 게임 이론에서의 협상 문제와 해법

게임 이론의 한 분야인 협조적 게임 이론(cooperative game theory)은 사용자들의 효율적이며 공평한 자원 분할에 초점을 맞추고 있다. 특히 협조적 게임 이론의 협상 해법(bargaining solutions)은 각 사용자들만의 서로 다른 상황을 고려할 수 있기 때문에, 사용자들 간 요구 사항이 편차가 큰 경우에서의 자원 관리에 유용하게 사용될 수 있다. 협상 문제는 이익 상충 관계에 있는 다수의 사용자가 자신들의 이익 또는 효용(utility)를 극대화 하려고 하기 때문에 발생하며, 서로의 의견을 조율하여 사용자들이 어떠한 합의점(agreement point)에 도달했을 때, 이 합의점을 협상 문제의 해법이라고 한다. 대표적인 협상 해법은 Nash가 제시한 Nash 협상 해법(Nash Bargaining Solution, NBS)[3]이 있다. NBS는 내쉬 곱을 최대화 한다고 알려져 있으며, n 명의 경기자가 있을 때의 내쉬 곱 $G(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 는 (1)과 같이 정의된다.

$$G(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n (X_i - d_i)^{\alpha_i} \quad (1)$$

X_i 는 자원할당에 따른 경기자 i 의 효용이고, d_i 는 최악의 경우 협상이 무위로 끝날 때 참가자들이 각자 얻게 되는 합의 실패점(disagreement point)에서 경기자 i 의 효용이다. 그리고 α_i 는 경기자 i 의 협상에서 경기자들 간의 상대적인 힘의 차이를 표현한 협상력(bargaining power)으로 모든 경기자들의 협상력이 동일할 경우는 생략이 가능하다. 협상력이 서로 같은 경우 같은 자원에 대해 상대적으로 낮은 효용을 갖고 있거나 합의 실패점에서 얻는 효용이 상대적으로 큰 경기자에게 그렇지 않

은 경기자에 비해 많은 자원이 할당되며, 협상력이 서로 다른 경우 협상력이 상대적으로 큰 경기자에게 그렇지 않은 경기자에 비해 많은 자원이 할당된다. 결국 총 자원이 각 경기자의 상태(효용함수, 합의 실패점에서의 효용, 협상력)에 따라 전체 시스템의 효용을 극대화할 수 있도록 최적으로 분배되는 것이다.

2.2 관련 연구

협상 해법은 협상 문제에 대한 해법이 여러 가지의 공리를 만족시키는 점에서 결정된다고 설명한다. 여러 공리는 협상 문제에 참여하는 이성적인 사용자들이 모두 만족할 수 있는 조건들을 특징짓는데, 그 공리들을 만족하는 협상 문제의 해법은 공유된 자원의 사용 측면에서 효율적이며 자원의 할당을 통하여 얻게 되는 각 사용자들의 효용은 공평하다. 대표적인 공리적 협상 해법은 Nash가 제시한 Nash 협상 해법(Nash Bargaining Solution, NBS)[3], Kalai와 Smorodinsky가 제시한 Kalai-Smorodinsky 협상 해법(Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution, KSBS)[4]을 비롯하여 Egalitarian bargaining solution(EBS), Proportional bargaining solution(PBS)[5] 등이 있다.

셀룰러 네트워크를 기반으로 대역폭을 효율적으로 관리하기 위해 다양한 기법이 제안되었다. Fair & Efficient CAC 기법[2]은 제안 기법과 마찬가지로 NBS를 이용한 기법으로 각각의 Class를 게임의 경기자로 간주하기 때문에 핸드오프 서비스와 신규 서비스의 트래픽이 비대칭일 경우에 성능이 급격히 저하되는 단점이 있다. Fixed Assignment 기법[6]은 각 기지국에 채널이 고정적으로 할당되는 기법으로 제어가 간편하지만, 인접 셀에 여분의 채널이 존재하더라도 자신의 셀에서 가용할 채널이 없으면 서비스를 지원할 수 없는 단점이 있다. LBSB 기법[6]은 제안 기법과 차용 대역폭 요구량과 대여자 선택에서 주된 차이를 보이는 기법이다. 제안 기법보다 상대적으로 차용 대역폭 요구량이 많고, 대여자 선택의 폭이 좁기 때문에 네트워크의 전체적인 부하가 커질 경우 성능이 저하되는 단점이 있다. 그 외에도 기존의 제안된 대역폭 관리기법인 완전공유기법(Complete Sharing ; CS)과 우위공유기법(Priority Sharing ; PS)[7]이 있다. CS 기법[7]은 모든 트래픽 클래스에 대하여 자원들을 전체적으로 공유하는 기법으로 주된 단점은 하나의 트래픽 클래스에 대하여 일시적인 과부하가 다른 모든 형태의 연결 품질을 떨어뜨리며, 서비스 간의 우선순위를 보장하지 못하는 단점이 있다. PS 기법[7]은 트래픽 특성과 우선순위를 고려하여 자원을 할당한다. 예를 들어 동적으로 할당되는 자원의 한계가 여러 트래픽 클래스에 대하여 할당된 대역폭 사이에 존재하게 됨을 고려하여 우선순위가 높은 사용자(실시간 트

래픽)는 우선순위가 낮은 사용자(비실시간 트래픽)로부터 대역폭을 가져오는 것을 허락한다. 그러나, 우선순위가 낮은 사용자에게 제공되는 서비스의 질이 낮아질 수 있다는 단점이 있다.

3. 제안 기법

셀룰러 네트워크에서 데이터는 일반적으로 음성 데이터와 같은 Class I (실시간) 데이터와 멀티미디어 데이터와 같은 Class II (비실시간) 데이터로 구분된다. 또한, 서비스의 종류에 따라 핸드오프 서비스와 신규 서비스로 구분한다. 이와 같은 구분은 QoS 제어를 위해 대역폭을 할당하는 우선순위를 정하는데 사용되는데, 서비스의 연속성을 고려해서 신규 서비스보다는 핸드오프 서비스에, 비실시간 트래픽보다는 지연에 민감한 실시간 트래픽에 높은 우선순위를 부여한다.

3.1 대역폭 예약 알고리즘

본 논문에서는 협동적 게임 이론의 협상 해법 중 대표적인 NBS를 이용하여 최적의 대역폭 예약량을 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 무선 대역폭은 한정되어 있으므로 트래픽의 양이 일정 수준 넘어가게 되면 모든 서비스를 수용할 수 없게 된다. 이와 같은 상황에서 여러 종류의 트래픽이 각기 다른 QoS를 요구할 경우 NBS를 이용하여 각 트래픽에 얼마만큼씩 할당하는 것이 전체 시스템의 효율을 극대화하는지 결정할 수 있다. 먼저 효용함수의 차이를 통해 핸드오프 서비스와 신규 서비스에 할당되는 자원의 양을 결정하고 이후 각 서비스 내에서 협상력의 차이를 통해 실시간 트래픽(음성 트래픽)과 비실시간 트래픽(멀티미디어 트래픽)에 할당되는 자원의 양을 결정한다.

셀룰러 네트워크에서의 핸드오프 서비스와 신규 서비스를 게임의 경기자로 설정하게 되면 두 서비스의 관계가 한정된 자원 속에서 서로 더 많은 자원을 확보하려는 관계이기 때문에 협조적 게임 이론을 적용할 수 있다. 이 때, 각 경기자는 (2)의 효용함수 u_i 를 가진다고 정의한다[8].

$$u_i = \frac{1}{1-\sigma_i} \max(0, 1 - \sigma_i \exp(LPS_i)) \quad (2)$$

LPS_i 는 서비스 i 의 손실률이고, σ_i 는 서비스 i 의 효용함수값을 조절하기 위한 매개변수이다. σ_i 는 0보다 크고 1보다 작은 값으로 1에 가까울수록 같은 손실률에 대해 가지게 되는 효용이 더 작게 된다. 핸드오프 서비스가 신규 서비스보다 상대적으로 보다 높은 QoS를 요구하기 때문에 같은 손실률에 대하여 핸드오프 서비스가 신규 서비스보다 더 낮은 효용값을 가지도록 $\sigma_{handoff} > \sigma_{new}$ 로 설정하도록 한다. 식 (2)에서의 서비스 손실률(LPS)은 트래픽 점유율이 E (Erlang)이고 채널이 m

(개)일 때 아래 식 (3)의 열량 손실 공식(Erlang B Formula)에 의해 계산할 수 있다.

$$LPS = B(E, m) = \frac{E^m}{m!} / \sum_{i=0}^m \frac{E^i}{i!} \quad (3)$$

E (트래픽 점유율)는 셀 내 단위시간당 서비스 요구 수(개인별 시간당 서비스 요구 수와 총 가입자 수의 곱)와 평균 서비스 지속시간의 곱이다. 총 대역폭(B_{total})은 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{handoff}$)과 신규 서비스에 할당되는 대역폭(B_{new})의 합으로 정의할 수 있고, 두 서비스에 할당되는 대역폭의 가능집합을 $S = \{(B_{handoff}, B_{new}) \mid B_{total} = B_{handoff} + B_{new}\}$ 로 표현할 수 있다. 핸드오프 서비스와 신규 서비스의 트래픽 점유율은 각 서비스의 단위시간당 평균 요구 수와 평균 서비스 지속시간의 곱으로 계산할 수 있기 때문에 할당되는 대역폭(채널 개수)에 따른 각 서비스의 예상 손실률을 추정 수 있고, 식 (2)로부터 각 서비스의 효용값을 계산할 수 있다. 따라서, 효용함수의 차이에 따라 아래 식 (4)의 NBS를 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 s^* , 즉 핸드오프 서비스와 신규 서비스 각각에 얼마만큼의 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효율을 극대화 하는지 계산할 수 있다.

$$s^* = \operatorname{argmax}_{s \in S} \prod_{i=1}^2 (u_i - d_i) \quad (4)$$

$$\begin{cases} i=1: \text{handoff service} \\ i=2: \text{handoff service} \end{cases}$$

NBS를 이용하여 핸드오프 서비스와 신규 서비스에 할당될 대역폭을 구한다. 이때, 핸드오프 서비스에 할당된 대역폭($B_{handoff}$)을 Class I 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{I_handoff}$)과 Class II 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭($B_{II_handoff}$)의 합으로 정의할 수 있다. Class I 핸드오프 서비스와 Class II 핸드오프 서비스의 트래픽 점유율은 각 서비스의 단위시간당 평균 요구 수와 평균 서비스 지속시간의 곱으로 계산할 수 있기 때문에 할당되는 대역폭(채널 개수)에 따른 각 서비스의 예상 손실률과 각 서비스의 효용값을 계산할 수 있다. 따라서, 서비스의 협상력의 차이에 따라 아래 식 (5)의 NBS를 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 h^* , 즉 Class I 핸드오프 서비스와 Class II 핸드오프 서비스 각각에 얼마만큼의 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효율을 극대화 하는지 계산할 수 있다.

$$h^* = \operatorname{argmax}_{h \in H} \prod_{i=3}^4 (u_i - d_i)^{h_i} \quad (5)$$

$$\begin{cases} i=3: \text{class I handoff service} \\ i=4: \text{class II handoff service} \end{cases}$$

마찬가지로, 신규 서비스에 할당된 대역폭(B_{new})은

Class I 신규 서비스에 할당되는 대역폭(B_{I_new})과 Class II 핸드오프 서비스에 할당되는 대역폭(B_{II_new})의 합으로 정의할 수 있다. 마찬가지로, Class I 신규 서비스와 Class II 신규 서비스의 트래픽 점유율은 각 서비스의 단위시간당 평균 요구 수와 평균 서비스 지속시간의 곱으로 계산하고, 이를 바탕으로 할당되는 대역폭(채널 개수)에 따른 각 서비스의 예상 손실률과 각 서비스의 효율값을 계산할 수 있다. 따라서, 서비스의 협상력의 차이에 따라 아래 식 (6)의 NBS를 이용하여 내쉬 곱을 최대화하는 n^* , 즉 Class I 신규 서비스와 Class II 신규 서비스 각각에 얼마만큼의 대역폭을 할당하는 것이 전체 시스템의 효율을 극대화 하는지 계산할 수 있다.

$$n^* = \underset{n \in N}{\operatorname{argmax}} \prod_{i=5}^6 (u_i - d_i)^{n_i} \quad (6)$$

$$\begin{cases} i=5: \text{class I new service} \\ i=6: \text{class II new service} \end{cases}$$

시간 t 에서의 최적 $B_{I_handoff}^t$, $B_{II_handoff}^t$, $B_{I_new}^t$, $B_{II_new}^t$ 가 계산되면 이전주기 $t-1$ 에서의 $B_{I_handoff}^{t-1}$, $B_{II_handoff}^{t-1}$, $B_{I_new}^{t-1}$, $B_{II_new}^{t-1}$ 와 비교하여 각각의 증감에 따라 대역폭 예약 재설정 알고리즘을 거친다. 대역폭 예약량은 주기마다 변할 수 있으므로 이전 주기에 예약되었던 대역폭을 반환하고 재할당하는 과정에서 편의를 위해 가상의 조정 풀(A_{pool})을 사용한다.

4. 성능평가

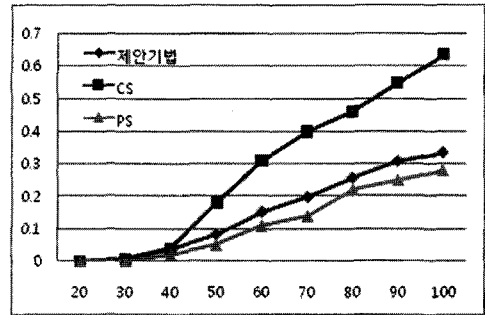
본 논문에서 제안한 온라인 대역폭 관리 방법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존에 존재하는 타 기법들과 비교, 분석하였다. 제안 기법의 성능을 평가하기 위해서 가정한 셀룰러 네트워크의 시스템 환경은 다음과 같다.

제안하는 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 기존의 제안된 대역폭 관리기법인 완전공유기법(Complete Sharing ; CS)과 우위공유기법(Priority Sharing ; PS)[7], Fair & Efficient CAC 기법[2], Fixed Assignment 기법[6], LBSB 기법[6]들을 비교 대상으로 선정하였다.

표 1 실험에 사용된 매개변수

Number of channels in a cell	50 / 100
Number of cells in a cluster	7
Simulation Time	3600 seconds
$\sigma_{handoff}$	0.3
σ_{new}	0.2
Bargaining power of Class I	0.55
Bargaining power of Class II	0.45
α	0.4
β	0.2

CDP

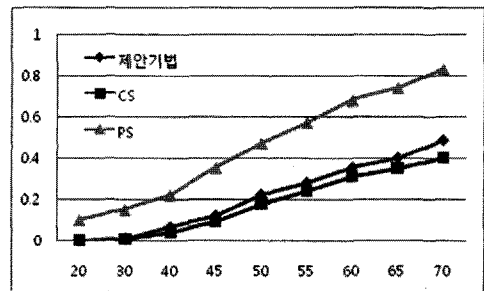


Offered Load (Erlangs)

그림 1 핸드오프 서비스의 실패율

그림 1은 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 제안된 기법과 CS, PS 기법의 핸드오프 서비스의 실패율(CDP)을 보여준다. 실험결과, PS기법은 좋은 성능을 보였지만 CS기법은 상대적으로 성능이 좋지 않았다. 제안 기법은 CDP에서 PS기법에 근접하는 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.

CBP



Offered Load (Erlangs)

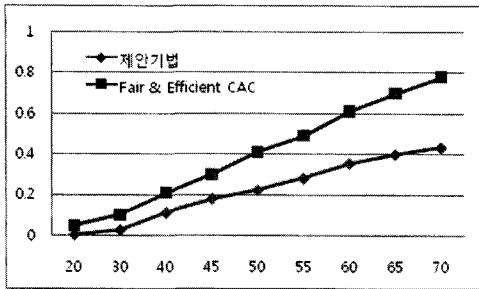
그림 2 신규 서비스의 실패율

그림 2에서는 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 신규 서비스의 실패율(CBP)을 보여준다. 제안 기법은 CBP에서 CS기법에 근접하는 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 핸드오프 서비스의 트래픽이 신규 서비스보다 약 4배가량 많은 상황에서 Class I 데이터의 신규 서비스의 실패율(CBP)을 보여준다. 제안 기법이 Fair-Efficient CAC 기법보다 CDP에서 월등한 성능을 보였다.

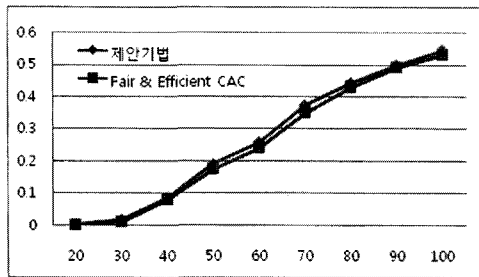
그림 4는 그림 3과 동일한 상황에서 class I 데이터의 핸드오프 서비스의 실패율(CDP)을 보여준다. 성능 평가 결과 제안된 기법이 CBP에서 월등히 좋은 성능을 보임과 동시에 CDP에서도 Fair-Efficient CAC 기법과 거의 동일한 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.

CBP(class I)



Offered Load (Erlangs)
 그림 3 신규 서비스의 실패율 (Class I)

CDP(class I)



Offered Load (Erlangs)
 그림 4 핸드오프 서비스의 실패율 (Class I)

5. 결론

본 논문에서는 이동 셀룰러 네트워크 환경에서 한정된 자원인 무선대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 클러스터 셀 내에서 대역폭 예약을 게임 이론을 이용하여 효율적으로 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 게임 이론의 협상 해법 중 대표적인 NBS기법을 이용하여 상대적으로 적은 연산을 통해 전체 시스템의 효율을 극대화할 수 있었다. 제안한 대역폭 예약 기법은 CBP에서 가지는 PS의 장점과 CDP에서 가지는 CS의 장점 모두에 근접하는 성능을 가지고 있으며, 트래픽이 비대칭인 경우 NBS를 이용한 기존의 Fair-Efficient CAC 기법보다 월등히 좋은 성능을 확인할 수 있었고, 또한 어떠한 효용함수와 협상력을 적용하느냐에 따라 다양한 QoS를 반영할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

[1] Srivastava, V., Neel, J., MacKenzie, A. B., Menon, R., DaSilva, L. A., Hicks, J. E., Reed, J. H. and Gilles, R. P., "Using game theory to analyze wireless ad hoc networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol.7, no.4, pp.46-56, 2005.

[2] Jenjoab VIRAPANICHAROEN and Watit BENJAPOLAKUL, "fair-Efficient Guard Bandwidth Coefficients Selection in Call Admission Control for Mobile Multimedia Communications Using Framework of Game Theory," *IEICE TRANS. FUNDAMENTALS*, vol.E88-A, no.7, pp.1869-1880, July, 2005.

[3] J. Nash, "The bargaining problem," *Econometrica*, vol.18, pp.155-162, 1950.

[4] E. Kalai and M. Smorodinsky, "Other solutions to Nash's bargaining problem," *Econometrica*, vol.43, no.3, pp.513-518, May, 1975.

[5] R. Mazumdar, L. G. Mason, and C. Douligeris, "Fairness in network optimal flow control : Optimality of product forms," *IEEE Trans. Commun.*, vol.39, no.5, pp.775-782, May, 1991.

[6] S. K. Das, S. K. Sen, R. Jayaram, "A Dynamic Load Balancing Strategy for Channel Assignment Using Selective for Channel Assignment Using Selective Borrowing in Cellular Mobile Environment," *Wireless Networks*, vol.3, pp.333-347, 1997.

[7] P. Bahl, I. Chlamtac and A. Farago, "Optimizing resource rtilization in wireless multimedia networks," *Proc. IEEE Conference on Computer Communications*, Montreal, Canada, June, 1997.

[8] Niyato, D. and Hossain, E., "A Noncooperative Game-Theoretic Framework for Radio Resource Management in 4G Heterogeneous Wireless Access Networks," *IEEE Transantion on Mobile Computing*, vol.7, no.3, pp.332-345, March, 2008.



최 윤 호

2008년 2월 서강대학교 공과대학 컴퓨터 공학과 학사. 2010년 2월 서강대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사. 관심분야는 셀룰러 네트워크, 호 수락제어, QoS, 자원 관리

김 승 욱

정보과학회논문지 : 정보통신 제 37 권 제 2 호 참조