

MNO와 MVNO 사이의 무선 채널 공유를 위한 게임이론적 모델

(Game Theoretic Model for Radio Channel Sharing between MNO and MVNO)

박재성[†] 김범준^{**}
(Jaesung Park) (Beomjoon Kim)

요약 본 논문에서는 기지국 채널 자원을 MNO(Mobile Network Operator)와 MVNO(Mobile Virtual Network Operator)가 공유할 경우 사업자들에게 채널 자원을 공정하고 효율적으로 할당하기 위한 게임 이론적 모델을 제안한다. 제안 모델은 협상(Bargaining) 게임 이론을 이용하며 MNO와 MVNO의 입력 부하를 고려하여 이들 사이의 기지국 채널 자원을 할당한다. 제안 기법은 사업자별 입력 부하가 비대칭적인 경우 입력 부하가 낮은 사업자보다 입력 부하가 높은 사업자에게 보다 많은 양의 채널을 할당하여 기지국의 채널 이용율을 증가시키며 또한 한 사업자의 과도한 입력 부하로 인해 타 사업자의 서비스 품질이 저하되는 것을 방지한다.

키워드: 협상 게임, Pareto 최적, 공정성, 자원 공유

Abstract In this paper, we propose a game theoretic channel sharing model that allocates resources of a base station between MNO(Mobile Network Operator) and MVNO(Mobile Virtual Network Operator) in a fair and efficient manner. Considering the input traffic loads of MNO and MVNO, the proposed model uses the bargaining game theory to allocate channel resources between MNO and MNVO. When the input loads of the carriers are asymmetric, the proposed model increases the resource utilization by allocating more channel resources to the operator with high input load. In addition, the proposed model prevents the quality of service of an operator from degrading even if the input load of the other operators increases excessively.

Key words : Bargaining Game, Pareto Optimality, Fairness, Resource Sharing

1. 서론

최근 들어 이동통신 망의 설비 및 운용비 감소와 신규 사업자의 도입으로 인한 통신 비용 감소 및 신규 서비스의 창출을 위해 망 공유에 대한 관심이 증가하고

있다. 국내에서도 최근 관련법 개정을 통해 MVNO(Mobile Virtual Network Operator) 도입의 기틀이 마련되었다. MVNO는 이동통신 서비스 제공을 위해 필수적인 주파수 자원을 보유하고 있지 않은 사업자가 주파수와 기지국 등 장비를 보유하고 있는 기존 MNO(Mobile Network Operator)의 망을 통해 이동통신 서비스를 제공하는 사업자를 의미한다. 이처럼 서로 경쟁적인 사업자들 사이에 망 자원을 공유하는 새로운 환경에서는 희소성이 특히 큰 무선 자원의 효율적인 관리 기법의 개발이 중요한 문제로 대두되고 있다.

사업자간 자원 공유를 위한 현재의 최선의 관행은 MNO와 MVNO가 계약 체결을 통해 MVNO가 MNO의 자원 중 일정 양을 정적으로 할당 받는 것이다. 그러나 동일 시점에서 각 사업자의 입력 부하량은 상이하기 때문에 이처럼 MNO와 MVNO 사이에 무선 자원을 정적(static)으로 할당하는 CP(Complete Partitioning) 방

[†] 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 교수
jaesungpark@suwon.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 계명대학교 전자공학과 교수
bkim@kmu.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2010년 3월 3일

심사완료 : 2010년 5월 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 제4호(2010.8)

법은 입력 부하가 작은 사업자에게 할당된 자원을 입력 부하가 큰 사업자가 이용할 수 없기 때문에 자원 이용률의 효율성을 저하시킨다. 따라서 기지국을 공유하는 각 사업자의 입력 부하를 고려한 동적인 자원 공유 방법이 요구되며 이 경우 한 사업자의 과도한 입력 부하로 인한 자원 독점으로 인해 타 사업자의 서비스 품질 감소가 야기되는 것은 방지되어야 한다.

본 논문에서는 기지국의 무선 자원을 MNO와 MVNO가 공유하는 환경에서 Nash의 협상해(NBS: Nash Bargaining Solution)를 이용한 무선 채널 공유 모델을 제안한다. 제안 기법은 각 사업자의 입력 부하에 따라 무선 자원을 할당하여 무선 자원의 효율성을 증대시키며 사업자들 사이의 공정한 자원 분배를 보장한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 무선 자원 관리를 위한 게임 이론 적용 사례를 소개하고 3장에서는 NBS를 이용한 MNO와 MVNO 사이의 무선 자원 공유 모델을 제안한다. 4장에서는 수치적 분석을 통해 제안 기법의 타당성을 검증하고 5장에서 결론과 추후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

게임 이론은 유무선 망에서 매체 결합, 혼잡 제어, 전력 제어 등 많은 분야에서 이용되어 왔다[1]. 이들 연구는 비협력(non-cooperative) 게임 이론을 이용하여 Nash 평형점을 찾는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 Nash 평형점은 Pareto Optimal하지 않다는 것이 밝혀져 있으므로[2] 비협력 게임을 통한 무선 자원 관리는 무선 자원의 낭비를 초래할 수도 있다.

이로 인해 최근에는 게임 참여자들(player) 사이의 연합(coalition)을 통한 협력 게임 이론을 무선 망 자원 관리 등에 적용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이들은 모두 협력 게임의 해(solution)가 최적성과(pareto optimal) 공리적 공정성(axiomatic fairness) 특성을 가진다는[3] 것을 이용하여 한정된 자원을 다수의 사용자에게 분배하는 기법들을 제안하고 있다. [4]에서는 다수의 무선 액세스 망들 사이의 연합을 통해 사용자에게 높은 대역폭을 제공하기 위한 협력 방안이 제안되었다. [5]에서는 협력 게임을 통한 무선 릴레이 노드의 릴레이 대역폭 관리 방안이 제안되었다. [6]은 CR(Cognitive Radio) 사이의 스펙트럼 할당을 위한 협력 게임 모델을 제안하였다.

3. 무선 채널 공유 모델

3.1 NBS 개념

Nash는 'n'명의 협상 참여자들의 가능한 모든 협상 결과들(집합 X로 표기) 중에서 공정한 협상 결과를 선

택하는 문제를 연구하였다. 협상 결과 참여자 i에 할당되는 결과를 x_i 라고 할 때 Nash는 해를 얻기 위해 다음과 같은 가정을 하였다. 참여자 i는 x_i 의 함수인 선호 함수(preference function)를 통해 협상 결과에 따른 자신의 유용성을 나타낼 수 있으며 각 참여자들이 협상에 참여하지 않고 단독으로 얻을 수 있는 유용성(불일치점)이 존재할 수 있다. 참여자 i의 선호 함수를 u_i 라고 하고 협상에 참여하지 않고 얻을 수 있는 결과에 대한 참여자 i의 유용성을 d_i 라고 하면 Nash는 다음과 같은 방법으로 참여자들 사이의 공정한 협상 결과를 얻을 수 있다는 것을 증명하였으며 이를 NBS라고 한다[3].

$$\bar{x}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*) = \arg \max_{x \in X} \prod_{i=1}^n (u_i - d_i) \quad (1)$$

3.2 채널 공유 방법

본 논문에서는 기지국의 채널 자원이 MNO와 MNO와 계약을 맺고 있는 n개의 MVNO 사이에 공유되는 환경을 고려한다. 이동통신 서비스는 음성, 영상, 문자 등 다양하지만 여전히 통신 사업사 수익의 대부분은 음성 서비스를 통해 얻어지기 때문에 본 논문에서는 MNO와 MVNO가 음성 서비스 제공을 위해 무선 음성 채널을 공유하는 환경을 고려한다.

음성 소스는 인코딩 방식에 의해 비트율 측면에서 차이가 있을 수 있으며 네트워크 측면에서는 네트워크의 종류에 따라 이를 수용하기 위한 대역폭 할당 방식이 달라질 수 있다[7]. 그러나 음성 트래픽은 패킷 레벨에서 CBR(constant bit rate) 특성을 가지며 네트워크에서는 고정된 양의 무선 채널 자원을 음성 호 별로 할당하여 음성 서비스 품질을 보장하고 있다. 본 논문의 목적은 NBS를 이용한 기지국 자원 공유 모델을 제안하는 것이므로 일반성에 위배됨이 없이 음성 호에 할당되는 대역폭은 일정하다고 가정하고 기지국 자원 양을 음성 호 지원을 위한 채널 대역폭을 기준으로 나타낸다. 즉, 기지국의 음성 채널 자원이 C라는 것은 C개의 음성 호를 지원할 수 있다는 것을 의미한다.

음성 트래픽에 의한 기지국의 부하를 분석하기 위해 [8]에서와 마찬가지로 MNO 가입자의 음성 호 발생률은 평균 λ_0 인 포아송 분포를 따르고 호 지속 시간은 평균 μ_0 인 지수 분포를 따른다고 가정한다. 또한 MVNO i의 평균 호 발생률(λ_i)과 평균 호 지속 시간(μ_i) 역시 각각 포아송 분포와 지수 분포를 따른다고 가정한다. MNO에게 할당된 자원의 양을 a_0 , MVNO i에게 할당된 자원 양을 a_i 라고 하면 주어진 자원양에 따른 각 사업자의 선호 함수는 호 수락 확률로 나타낼 수 있다. 즉,

$$u_i = 1 - p_i(a_i) \quad (2)$$

$p_i(a_i)$ 는 할당된 자원양 a_i 에 의한 사업자 i의 CBP

(call blocking probability)를 나타내며 음성 호이므로 Erlang-B Formula에 의해 각 사업자의 CBP는 다음과 같이 주어진다.

$$p_i(a_i) = \frac{E_i^{a_i} / a_i!}{\sum_{j=0}^{a_i} E_i^j / j!} \quad (3)$$

여기서 Erlang $E_i = \lambda_i \mu_i$ 는 사업자 i 의 입력 부하를 나타낸다. 또한 기지국 음성 채널 공유 협상 게임에서 협상에 참여하지 않는 사업자의 호 수락 확률은 0이므로 ($d_i=0, i=0,1,\dots,n$) 식 (1)에 의해 각 사업자의 입력 부하에 따라 각 사업자에게 할당되는 기지국 자원량은 다음과 같이 구해진다.

$$(a_0^*, \dots, a_n^*) = \arg \max_{(a_0, \dots, a_n)} \prod_{i=1}^n u_i \quad (4)$$

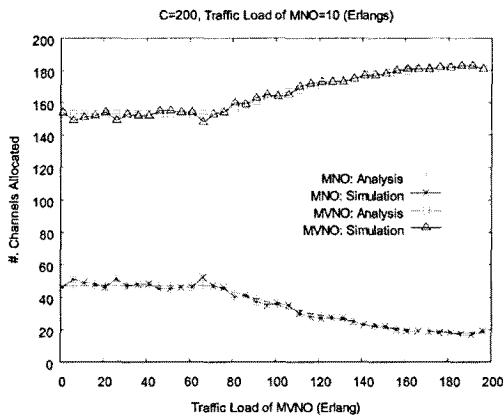
4. 실험 결과 및 분석

본 절에서는 모의 실험을 통해 본 논문에서 제안한 기지국 무선 채널 공유 모델의 정확성과 타당성을 검증한다. 실험 결과 설명을 용이하게 하기 위해 MNO가 기지국 채널 자원을 하나의 MVNO와 공유하는 경우 이들의 입력 부하에 따른 자원 할당 결과를 도시하였다. 기지국의 음성 채널 자원 $C=200$ 으로 설정하였으며 각 사업자의 음성 호의 평균 지속 시간은 3분으로 설정하였고 음성 호 발생율을 변경하여 각 사업자의 입력 부하를 조절하였다.

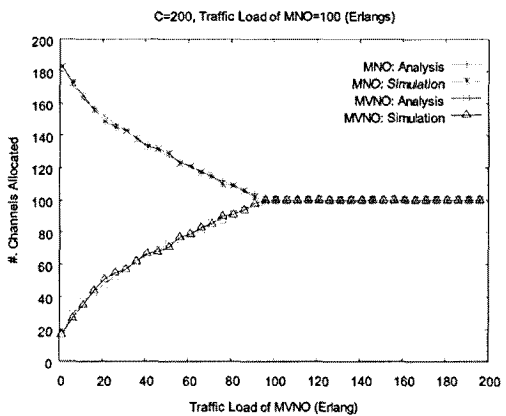
그림 1과 그림 2에 MNO 사업자의 입력 부하가 높거나 낮은 경우 MVNO 사업자의 입력 부하가 증가됨에 따라 각 사업자에게 할당되는 음성 채널의 양과 이로 인한 각 사업자의 서비스 품질을 호 수락을 측면에서 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 수학적 분석 결과

는 모의 실험 결과와 부합하는 것을 볼 수 있다. 그림 1(a)와 그림 2(a)에서 보는 바와 같이 MNO의 입력 부하가 낮은 경우 적은 양의 자원을 MNO에게 할당해도 MNO의 호 수락율은 100%가 되기 때문에 제안 기법은 대부분의 자원을 MVNO에게 할당하고 MVNO의 입력 부하가 증가할수록 MVNO에게 할당하는 채널 자원을 증가시킨다. 따라서 채널 자원을 MNO와 MVNO에게 정적으로 할당하는 것에 비해 제안 기법은 MNO가 사용하지 않는 채널 자원을 MVNO가 사용할 수 있게 함으로써 자원을 보다 효율적으로 이용한다. 예를 들어 MNO와 MVNO에게 기지국 채널 자원을 절반씩 정적 할당한 경우 MVNO의 입력 부하가 기지국 전체 자원 양의 90%가 되면 MVNO의 호 수락율은 54.6%로 낮아지지만 제안기법의 경우 MNO의 호 수락율을 99.5%로 보장하면서도 MVNO의 호 수락율을 94.8%로 높게 유지한다.

제안한 자원 할당 기법은 MNO의 입력 부하율이 높은 경우에도 바람직한 결과를 나타낸다. 그림 1(b)처럼 MNO의 입력 부하가 100 Erlang인 경우 MVNO의 입력 부하가 100Erlang 이하이면 제안기법은 MNO에 보다 많은 자원을 할당한다. 그러나 MVNO의 부하가 100Erlang 이상이면 기지국의 전체 입력 부하가 기지국 채널 용량 C 를 초과하게 된다. 이 경우 제안 기법은 두 사업자에게 공정하게 기지국 채널 용량을 1:1으로 할당한다. 즉, MNO의 입력 부하율이 $C/2$ 이하인 경우 MVNO의 입력 부하가 과도하게 증가하더라도 제안 기법은 기지국 자원을 사업자 사이에 공평하게 분배하여 특정 사업자의 과도한 입력 부하 증가가 다른 사업자의 서비스 품질을 저하시키는 것을 방지한다. 즉, 그림 2(b)에 보인 바와 같이 MVNO 사업자의 입력 부하가 작은 경우

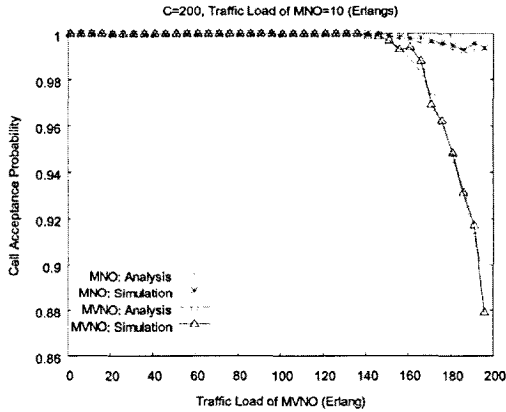


(a) MNO의 부하가 낮은 경우

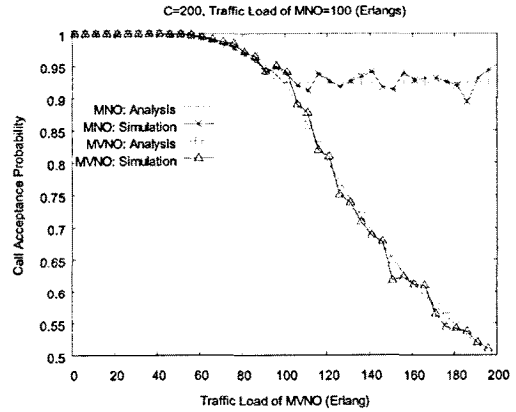


(b) MNO의 부하가 높은 경우

그림 1 자원 할당양

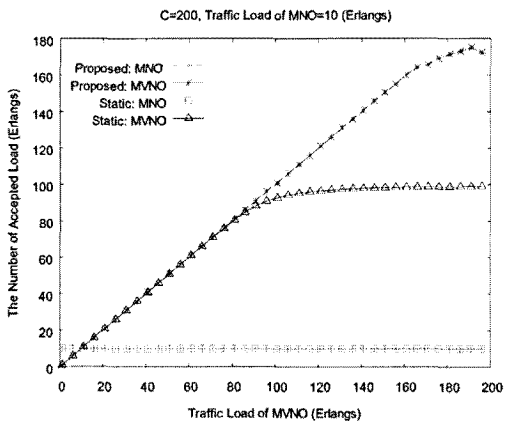


(a) MNO의 부하가 낮은 경우

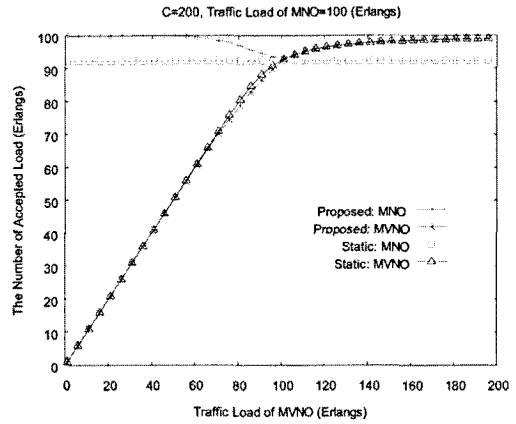


(b) MNO의 부하가 높은 경우

그림 2 호 수락을



(a) MNO의 부하가 낮은 경우



(b) MNO의 부하가 높은 경우

그림 3 수용 가능 사용자의 수

두 사업자 모두 100%에 가까운 호 수락을 보이며 MVNO 사업자의 부하가 100Erlang 이상인 경우 MNO 사업자의 호 수락율은 일정하게 유지되는 반면 MVNO 사업자의 호 수락율은 과도한 입력 부하로 인해 급감하게 된다.

제안한 자원 공유 기법의 효율성을 정적 기법과 비교하기 위해 MNO와 MVNO 사이에 기지국 자원을 1:1로 정적 할당된 경우와 제안 기법을 적용한 경우 각 사업자별 수용되는 입력 부하량을 비교하여 결과를 그림 3에 도시하였다. MNO의 입력 부하가 작은 경우 정적 할당과 제안 기법은 MNO의 모든 입력 부하를 수용하고 입력 부하가 90Erlang 이하인 MVNO의 모든 입력을 수용한다(그림 3(a)). 그러나 MVNO 입력 부하가 90Erlang을 초과하면 정적 기법은 MVNO의 입력 부하

중 최대 100Erlang까지만 수용하는 반면 제안 기법은 MNO가 사용하지 않는 채널 자원을 MVNO에게 할당하여 MVNO의 입력 부하를 모두 수용한다. 같은 이유로 MNO의 부하가 100Erlang으로 높은 경우 MVNO의 부하가 작으면 정적 기법에 비해 제안 기법으로 인해 수용되는 MNO의 부하를 증가시킬 수 있으며 두 사업자의 입력 부하의 합이 기지국 채널 자원을 초과하는 과 부하 상태의 경우 제안 기법은 기지국 자원을 1:1로 분할한 정적 기법과 동일한 성능을 나타낸다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 협력 게임 이론을 이용하여 MNO와 MVNO 사이에 기지국의 음성 채널 자원을 공정하고 효율적으로 할당하기 위한 관리 모델을 제안하였으며

수학적 분석과 모의 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다. 제안 모델은 기지국 자원을 공유하는 사업자의 입력 부하를 고려하여 부하가 낮은 사업자의 자원을 부하가 높은 사업자가 이용할 수 있게 함으로써 채널 자원의 이용율을 증가시킨다. 추후 연구로 제안 모델을 음성 호 뿐만 아니라 음성, 데이터, 영상 호 등 특성이 다른 데이터 전송을 위해 MNO와 MVNO가 기지국 자원을 공유하기 위한 모델로 확장 중이며 기지국 자원을 MNO와 MVNO 간에 효율적이며 비대칭적으로 할당하기 위한 모델로 확장하는 연구를 진행 중이다.

참 고 문 헌

- [1] E.Altman, T.Boulogne, R.El-Azouzi, T.Jimenez, L.Wynter, "A survey on networking games in telecommunications," *Computers & Operations Research*, vol.33, pp.286-311, 2006.
- [2] P. Dubey, "Inefficiency of Nash equilibria," *Mathematics of operational research*, vol.11, no.1, pp.1-8, 1986.
- [3] Martin J. Osborne, Ariel Rubinstein, *A course in game theory*, The MIT Press, pp.117-132, 1994.
- [4] Josephina Antoniou, Ioannis Kourkoutsidis, Eva Jaho, Andreas Pitsillides, Ioannis Stavrakakis, "Access network synthesis game in next generation networks," *Computer Networks*, vol.53, pp.2716-2726, 2009.
- [5] Zhaoyang Zhang, Jing Shi, Hsiao-Hwa Chen, Mohsen Guizani, Peiliang Qiu, "A cooperation strategy based on nash bargaining solution in cooperative relay networks," *IEEE Trans. on vehicular technology*, vol.57, no.4, pp.2570-2577, 2008.
- [6] Alireza Attar, Mohammad Reza Nakhai, A. Hamid Aghvami, "Cognitive Radio Games for Secondary Spectrum Access Problem," *IEEE Trans. on wireless communications*, vol.8, no.4, pp.2121-2131, 2009.
- [7] Enrique Stevens Navarro, A. Hamed Mohsenian-Rad, Vincent W.S. Wong, "Connection admission control for multi-service integrated cellular/WLAN system," *IEEE Trans. on vehicular technology*, vol.57, no.6, pp.3789-3800, 2008.
- [8] Y. Zhang, Y. Xiao, and H. H. Chen, "Queuing analysis for OFDM subcarrier allocation in broadband wireless multiservice networks," *IEEE Trans. wireless communications*, vol.7, no.10, pp.3951-3961, 2008.



박 재 성

1995년 2월 연세대학교 전자공학과(학사)
1997년 2월 연세대학교 전자공학과(석사)
2001년 2월 연세대학교 전기,전자공학과(박사). 2001년 3월~2002년 4월 U of M. PostDoc. 2002년 6월~2005년 2월 LG전자 선임연구원. 2005년 3월~현재 수원대학교 인터넷정보학과 조교수. 관심분야는 이동성 관리, 자원 관리, Cross-Layer 설계



김 범 준

1996년 2월 연세대학교 전자공학과(학사)
1998년 2월 연세대학교 전자공학과(석사)
2003년 8월 연세대학교 전기,전자공학과(박사). 2003년 6월~2004년 1월 연세대학교 IT사업단 Post Doc. 2004년 1월~2006년 2월 LG전자 선임연구원. 2006년 3월~현재 계명대학교 전자공학과 조교수. 관심분야는 IEEE 802.16 Wireless MAN, IEEE 802.21 Media Independent Handover, TCP Enhancement