Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 3 pp. 2178-2184, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.2178
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

이종 네트워크 환경에서 게임 이론적 접근방법을 이용한 무선 자원관리

김남선[1*]
[1]대진대학교 전기전자통신공학부

Radio Resource Management using a Game Theoretic Approach Method in Heterogeneous Wireless Networks

Nam-Sun Kim[1*]
[1]**School of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Daejin University**

요 약 무선 네트워크기술의 발전으로 사용자들은 다양한 네트워크를 쉽게 사용하며 다양한 서비스를 이용할 수 있지만, 서비스 제공자들은 서비스의 질을 개선하고 네트워크 자원을 효율적으로 관리하여야 한다. 본 논문에서는 그레이 관계 분석(GRA)과 게임이론을 결합하여 효율 무선자원관리(RRM) 방안을 제시한다. 첫 번째 단계에서, GRA 방법을 이용하여 네트워크 선호도를 나타내는 GRC를 구하고, 두 번째 단계에서는 내쉬 균형점을 찾아 네트워크 제공자에게 최대 보상을 제공하는 서비스를 선택한다. 한 개의 WiMAX와 2개의 WLAN이 공존하는 이종 무선 환경에서, 4개의 응용서비스중 하나를 요청하는 서비스들을 처리하기 위해 게임은 반복적으로 수행하였다. 시뮬레이션 결과, WiMAX, WLAN 1과 WLAN 2의 게임에서, 각 경기자들은 각각 93, 90.6과 92.8로 최대 보수를 얻는 것을 알 수 있었다. 결과적으로 제안된 시스템은 이종 네트워크에서 사용자 서비스 요청이 있을 때, 네트워크 운용자의 보수를 최대로 할 수 있는 효과적인 자원관리 방법임을 알 수 있었다.

Abstract With the development of wireless network technologies, mobile users may use various networks easily and expect more advanced services. On the other hand, it may bring on some problems with network resource management that should lead the service provider to improve the current service quality and manage the network resource efficiently. This paper proposes the optimized radio resource management (RRM) scheme that integrates the Grey Relational Analysis (GRA) and game theory. The first applies the GRA to determine the Grey Relation Coefficient (GRC) factors that represent the network preference, and the network provider then selects the requested service that provide maximum payoff through Nash Equilibrium. Six requested services that have one application service among four different types of service classes were considered and the game was played repeatedly. In WiMAX, WLAN 1 and WLAN 2 game, the maximum payoff of each players was 93, 90.6 and 92.8 respectively. The experimental results show that every requested service can be selected by the network provider. Consequently, the proposed radio resource management mechanism is more effective in heterogeneous wireless networks.

Key Words : Game Theory, Grey Relational Analysis, Heterogeneous Network, Vertical Handover,

1. 서 론

다중 인터페이스를 가지는 단말들이 다양한 이기종 무선 네트워크 서비스를 이용할 때 이동 사용자들의 빈번한 수직적 핸드오버(Vertical Handover)가 발생하게 되므로, 이로 인해 네트워크 자원을 효율적으로 관리할 수 있는 무선 자원관리 (RRM, Radio Resource Management)가 필요하다[1]. 무선 자원관리는 정보수집

*Corresponding Author : Nam-Sun Kim(Daejin Univ.)
Tel: +82-10-6231-7721 email: kimns@daejin.ac.kr
Received August 12, 2014 Revised (1st September 16, 2014, 2nd December 1, 2014)
Accepted March 12, 2015 Published March 31, 2015

(IH, Information harvesting), 사용여부 결정(DM, Decision making), 자원 사용 실행(DE, Decision enforcement)의 3단계로 이루어져 있다[2]. 여기서 DE는 DM의 결정을 실행하는 단계로서, 실제로 사용자가 무선 네트워크로부터 서비스를 제공받게 된다. RRM의 기능 중 가장 핵심 기능인 네트워크 선택은 새롭게 발생한 호에 대해 하나 이상의 무선 인터페이스를 탑재한 단말이 적합한 무선 접속 기술을 선택하는 방안이다.

게임이론(game theory)은 각 행위 주체(player)들이 효용함수(utility function)를 사용하여 자신들의 보수(payoff)를 최대로 하는 이론이다[3]. 게임이론에는 서로간의 협력을 통해 보수를 높이는 협력게임(cooperative game)과 서로간의 협력 없이 자신의 효용함수에서 최선의 전략(strategy)을 선택하는 비협력적 게임(non-cooperative game)이 있다. 비협력적 게임에서 게임을 하는 행위 주체들이 협력을 하지 않으므로 서로간의 정보를 교환하지 않아도 되므로 분산기법에 적용이 가능하며 게임의 해는 내쉬 균형(Nash Equilibrium)을 사용해서 얻는다.

이종 네트워크에서 대역폭 할당을 통해 자원문제를 해결하기 위한 협력 및 비협력 게임이론의 접근법이 제시되었다[4]. 바람직한 네트워크 선택을 위해서 계층적 분석(AHP, Analytic Hierarchy Process)과 그레이 관계분석(GRA, Grey Relational Analysis) 기법을 결합[5]하거나 AHP와 게임이론을 결합[6]하여 분석하였다. 본 연구의 모체가 되는 문헌 [7]에서는 GRA와 비협력적 게임이론을 결합한 무선자원 관리 메커니즘을 제시하였다. 그러나 여기에서는 제시된 그레이 관계 계수(GRC, Grey Relational Coefficient)가 어떻게 도출되었는지에 대한 제시가 되지 않았으며, 또한 동종(homogeneous) 네트워크만을 대상으로 분석하여 차세대 통신에 적용하기에는 부족하다고 본다.

본 연구에서는 이종네트워크 환경에서 GRA와 비협력적 게임이론을 사용하여 서비스 제공자들의 보상을 최대로 하는 무선 자원관리방법을 제시한다. 하나의 WiMAX와 2개의 WLAN이 동시에 존재하는 환경에서 GRA 기법을 이용하여 사용자의 선호도 및 네트워크 조건에 따른 그레이 관계 계수(GRC)를 구하고 이것을 이용하여 반복적인 비협력적 게임을 통해 게임의 해인 내쉬 균형을 얻음으로서 가장 좋은 요청 서비스를 선택할 수 있게 하였다. 또한 이종 환경에서 다수의 네트워크들이 동시에 존재하는 경우, 유사한 네트워크들을 그룹화하여 게임이론을 적용할 수 있게 하여 효율적인 자원관리를 할 수 있게 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구를 위한 배경이론들을 간단히 설명하며, 3장에서는 연구하고자 하는 시스템 모델을 설명하며 4장에서는 실험과정과 결과를 나타내고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 요소기술의 개요

2.1 그레이 관계분석 (GRA)

그레이시스템 이론은 1982년 중국의 Deng에 의해 제안된 이론으로, 그레이 시스템이란 불분명하고 불완전한 정보를 갖는 시스템을 말한다. 그레이 관계분석은 그레이 시스템 이론의 한 분야로서 각 특성값에 대한 시퀀스 간의 상관관계를 관계등급(grey relational grade)으로 표현하여 분석하는 방법이다. GRA의 적용절차는 다음과 같다[8].

① 시퀀스의 데이터 수집 및 생성

㉠ 참조 시퀀스 : $x_0 = (x_0(1), x_0(2), \cdots, x_0(m))$

㉡ 비교 시퀀스 : $x_i = (x_i(1), x_i(2), \cdots, x_i(m))$

② 데이터의 정규화

㉠ 평균값 가공 : 모든 시퀀스의 값들의 평균을 구하고 각각의 값을 평균으로 나눠준다.

㉡ 초기값 가공 : 각 시퀀스의 초기 값으로 나누어 준다.

③ 그레이 관계계수(GRC) 계산

㉠ 그레이 관계계수식 : $\xi_i(k) = \dfrac{\Delta\min + \zeta\Delta\max}{\Delta_i(k) + \zeta\Delta\max}$

로 0과 1 사이의 값을 갖는다.

㉡ 최대차이, 최소차이 계산 :

$\Delta\max = \max(\Delta_i(k)),\ \Delta\min = \min(\Delta_i(k))$

$\Delta_i = (|x_0(1) - x_i(1)|, \cdots, |x_0(m) - x_i(m)|)$

④ 그레이 관계등급 도출 : $\gamma_i = \dfrac{1}{m}\sum_{n=1}^{m}\xi_i(k)$ (1)

2.2 게임 이론(Game Theory)

게임 이론은 경쟁 주체가 상대방의 행동을 고려하여 자신의 이익을 효과적으로 달성하기 위한 수단이며, 합리적으로 선택하는 행동을 수학적으로 분석하는 이론이

다. 게임은 다음과 같은 구성요소를 갖는다.

① Player, $P=\{1,\cdots,n\}$: 게임에서 의사 결정자를 의미하며, 본 연구에서는 네트워크들이다.

② Information, $I=\{1,\cdots,n\}$: 게임에서 이용 가능한 자원들을 나타내며, 본 연구에서는 요구되는 서비스이다.

③ Strategy, S_i : 게임 참여자, i가 선택할 수 있는 전략적 집합이다.

④ π_{ij} : 게임 참여자, i가 자원 j를 선택할 경우에 얻는 보수이다.

게임이론의 전형적인 목적은 각 참가자들이 자신의 행동을 바꾸지 않는 전략들의 집합인 균형점을 찾는 것이다. 비협력 게임에서는 자신만의 이득을 최우선하기 때문에 자신과 다른 참여자들은 전략을 수정하여 보수(이득)를 최대로 하려 할 것이고 궁극적으로 모든 참여자가 보수가 최대라고 생각하는 전략을 유지하게 될 것이다. 이와 같은 방법으로 얻어진 해를 내쉬 균형(Nash Equilibrium)이라 하며 정의는 다음과 같다[4][6][7]. N명의 참여자들과 J개의 전략 $\left(S=\left(s_{1,\ldots,}s_{J}\right)\right)$이 존재할 때, 참여자 i의 이득 u_i에 대하여 다음과 같은 조건이 만족되는 경우를 내쉬 균형에 도달 했다고 한다.

$$u_i(s_j) \geq u_i(s_{1,\cdots,}s_{j-1,}s_{j+1,\cdots,}s_N) \quad \forall s_j \in S \qquad (2)$$

여기서 $u_i(s_j)$와 $u_i(s_{1,\cdots,}s_N)$는 i번째 참여자가 j번째 전략을 사용했을 때의 보수와 i번째 참여자 이외의 나머지 참가자가 j번째 전략 이외의 전략들을 사용했을 때의 보수를 의미한다.

본 연구에서는 다수의 무선 기술이 있는 곳에서 사용자들의 서비스 요구가 있을 때, 각 사용자에 대해 가장 적합한 무선접속 기술을 선택하는 결정이 필요하다. 이러한 게임에서 경기자 모두가 최대 보상을 가질 수 있도록 효용함수를 정의하고자 한다. 이것은 네트워크 선호도(NP, Network Preference)를 통해서 구할 수 있으며 식 (3)으로 표시된다[7].

$$\text{NP} = \text{Network Efficiency} \times \text{Network Capacity} \qquad (3)$$

GRC는 각 서비스가 어떤 네트워크를 선호하는가를 나타내는 값이므로, Network Efficiency는 네트워크 선호도를 유추할 수 있는 정보이며 GRC 값으로 볼 수 있다. 또한 Network Capacity는 서비스의 요구조건들을 수행할 수 있는 현재 네트워크들의 능력을 나타낸다. 그러므로 식 (3)은 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$\text{NP} = \text{GRC} \times \frac{\text{Available Bandwidth}}{\text{Required Bandwidth}} \qquad (4)$$

3. 시스템 모델

우리는 서로 다른 서비스 제공자들에 의해서 운영되는 많은 무선 네트워크들이 있는 경쟁적인 이종 무선 네트워크 모델을 고려한다. 경쟁 환경에서, 각 제공자들은 다른 제공자들의 행동들을 알지 못하며 단지 자신들의 네트워크들의 조건들을 기초로 경쟁한다. 각 사용자들은 서로 다른 요구조건을 가지고 원하는 서비스를 요구할 것이다. 이러한 사용자들이 원하는 서비스 품질(QoS)을 보장받기 위해 우리는 3GPP에서 정의된 4 종류의 서비스 클래스(class)를 고려한다[9]. 서비스 클래스들은 서로 다른 요구조건들을 가지므로, 서비스들의 특성에 따라 각 파라미터에 가중치를 주면 QoS를 보장하는 적합한 네트워크를 선택할 수 있다.

우리가 고려하는 이종 네트워크 시스템은 하나의 WiMAX 와 두 개의 WLAN 네트워크가 중첩해서 존재하는 시스템이다. WLAN 시스템의 각각은 최대 100Mbps의 전송률이 제공되며, WiMAX 시스템에는 최대 50Mbps의 전송률이 제공된다. 사용자들이 요구하는 6개의 서비스(R_i, service Request)는 동일한 우선권을 가지며, 서로 다른 4종류의 서비스 클래스 중 하나를 갖는다고 가정한다. 이것은 Conversational class(CO), Streaming class(ST), Interactive class(IN) 그리고 Background class(BA)이다. 이것을 게임의 구성요소로 설명하면, $P=\{1,2,3\}$, $I=\{R_1,R_2,R_3,R_4,R_5,R_6\}$, $s_{1,2,3}=\{R_1,R_2,R_3,R_4,R_5R_6\}$이며 식 (3)으로 계산되는 π_i이다.

4. 성능분석 및 결과

본 절에서는 GRA와 비 협력적 게임을 결합한 무선 자원 관리방법을 예를 들어 설명하고자 한다. 우선 사용자

가 요구할 수 있는 4개의 트래픽 클래스 서비스에 대한 영향을 고려한다. 각 클래스에 대한 다양한 QoS 파라미터들의 가중치를 결정하기 위해, 계층적 분석과정(AHP)을 이용하였으며 이것의 결과를 Table 1에 표시하였다[10]. 고려한 QoS 파라미터들은 Throughput (Th), Delay(De), BER(Be), Security(Se), Cost (Co) 와 RSS(Rs)이다.

[Table 1] Weight values for each class

class	Th	De	Be	Se	Co	Rs
CO	0.250	0.313	0.125	0.063	0.188	0.063
ST	0.294	0.235	0.188	0.176	0.059	0.118
IN	0.063	0.250	0.313	0.125	0.188	0.063
BA	0.188	0.063	0.313	0.125	0.250	0.063

중첩된 이종 무선 네트워크 환경에 존재하는 각 네트워크들의 물리적 특성을 고려한 네트워크 파라미터들은 Table 2와 같다[10]. 이종 네트워크들은 서로 고유한 특성들을 갖지만 동일 네트워크들의 cost, security level, BER 등과 같은 평가요소들을 살펴보면 비슷한 값들을 갖는 것을 알 수 있다. Table 2를 보면 WLAN1과 WLAN2는 동종 네트워크들로서 유사한 특성을 갖는다고 볼 수 있다[11].

[Table 2] Network parameters

	Th	De	Be	Se	Co	Rs
WiMAX	18	25	10^{-4}	9	0.7	50
WLAN1	25	30	1.1×10^{-5}	5	0.2	20
WLAN2	30	50	1×10^{-5}	4	0.1	30

Table 1과 Table 2를 바탕으로 우리는 GRC를 계산할 수 있다. 또한 VoIP, Video, Web Browsing(W.B.)과 FTP를 각 서비스 클래스의 대표적인 응용서비스로 가정하였으며 각 요청되는 서비스는 단지 최대 보수를 갖는 네트워크에 의해 선택된다고 가정 하며 이것을 Table 3에 표시하였다. GRC가 계산된 후, 다음 단계로 게임이론을 적용한다. 2명의 경기자에 대한 게임을 진행하기 위해, 다음과 같은 방법을 사용한다. 보통 GRC 값이 크다는 것은 그렇지 않을 때보다 네트워크 선택의 우선권을 갖고 있고, GRC 값이 다르다는 것은 선호하는 네트워크도 다르다는 것을 의미한다. WiMAX와 WLAN은 서로 다른 무선접속기술이므로 WLAN_1과 WLAN_2를 하나의 그룹으로 묶어서 게임을 진행한다. 여기서 WLAN_1과 WLAN_2는 유사한 GRC 값들을 갖고는 있지만 값들은 차이가 있으므로, 하나의 그룹으로 보기 위해, 둘 중 작은 값으로 대체하고 이를 WLAN_12로 표시하였다.

참고문헌 [7]과는 달리, 3개의 네트워크에 게임이론을 적용하기 위해, 첫 번째 라운드에서 WiMAX와 WLAN_12의 게임, (WiMAX: WLAN12)이 진행되고 이어서 WLAN_1과 WLAN_2의 게임, 즉 (WLAN_1:WLAN_2)을 진행하는 형태로 구성하였다. 이러한 결과로 각 경기자, 즉 Player 1(WiMAX), Player 2(WLAN_1)과 Player 3(WLAN_2)는 최대 보수를 제공하는 서비스를 선택할 것이다. 이것으로 모든 경기 참여자가 요청되는 서비스를 결정할 것이며, 한 라운드를 마치게 되고 모든 요청서비스가 처리될 때까지 게임은 반복적으로 수행된다.

[Table 3] Matrix for a game

	VOIP	Video	W.B.	FTP
Required Data Rate (Mbps)	1.024	5	1.024	1.024
GRC for WiMAX	0.6398	0.6798	0.6394	0.5711
GRC for WLAN_1	0.7617	0.6947	0.7849	0.7698
GRC for WLAN_2	0.7052	0.6713	0.7057	0.8130
GRC for WLAN_12	0.7052	0.6713	0.7057	0.7698
Service Requests	R_3, R_6	R_2	R_1, R_4	R_5

Table 4는 첫 번째 라운드에서 (WiMAX: WLAN_12)의 게임을 설명하고 있다. Player 1(WiMAX)는 요청된 서비스, R_3와 R_6의 둘 중 하나를 선택하여 최대 보수(31.3)를 가질 수 있는데 'chronological priority'에 의해 첫 번째 것, R_3을 선택한다[7]. 첫 번째 라운드의 다음 게임인 (WLAN_1:WLAN_2)의 게임을 Table 5에서 설명하는데, Player 2(WLAN_1)은 R_1을 선택함으로서 최대 보수를 얻을 수 있으며, 마찬가지로 Player 3(WLAN_2)는 요청된 서비스 R_5를 선택할 것이다. 첫 번째 라운드 게임의 결과로 볼 때, Player 1이 R_3, Player 2가 R_1 그리고 Player 3가 R_5를 선택함으로 내쉬평형에 도달할 수 있음을 알 수 있으며 각각 $\pi_1 = 31.3$, $\pi_2 = 76.7$ 와 $\pi_3 = 79.4$을 얻는다.

[Table 4] Access admission game : Round 1 (WiMAX:WLAN_12)

		WLAN 1_2											
		R_1		R_2		R_3		R_4		R_5		R_6	
WiMAX	R_1			31.2	13.4	31.2	68.9	31.2	68.9	31.2	75.2	31.2	68.9
	R_2	6.8	68.9			6.8	68.9	6.8	68.9	6.8	75.2	6.8	68.9
	R_3	31.3	68.9	31.3	13.4			31.3	68.9	31.3	75.2	31.3	68.9
	R_4	31.2	68.9	31.2	13.4	31.2	68.9			31.2	75.2	31.2	68.9
	R_5	27.8	68.9	27.8	13.4	27.8	68.9	27.8	68.9			27.8	68.9
	R_6	31.3	68.9	31.3	13.4	31.3	68.9	31.3	68.9	31.3	75.2		

[Table 5] Access admission game : Round 1 (WLAN_1:WLAN_2)

		WLAN 2									
		R_1		R_2		R_4		R_5		R_6	
WLAN 1	R_1			76.7	13.4	76.7	68.9	76.7	79.4	76.7	68.2
	R_2	13.9	68.9			13.9	68.9	13.9	79.4	13.9	68.2
	R_4	76.7	68.9	76.7	13.4			76.7	79.4	76.7	68.2
	R_5	75.2	68.9	75.2	13.4	75.2	68.9			75.2	68.2
	R_6	74.4	68.9	74.4	13.4	74.4		74.4	79.4		

Table 6과 Table 7은 게임의 두 번째 라운드를 각각 설명하고 있다. 첫 번째 라운드에서 네트워크들에 의해 선택된 서비스들이 제거되고 나머지 서비스만을 가지고 게임이 진행된다. 마찬가지 과정을 통해서 Player 1은 R_6, Player 2는 R_4, 마지막으로 Player 3는 R_2를 선택하며, 이때의 보수는 각각 $\pi_1 = 61.8$, $\pi_2 = 13.9$ 와 $\pi_3 = 13.4$이다. 경기 참여자가 3 이고, 요청되는 서비스가 6개 이므로 2-round로서 모든 서비스가 선택되었으므로 게임이 종료된다. 이 게임의 결과, 각 경기자들의 전체 보수, $\sum\pi_1 = 93$, $\sum\pi_2 = 90.6$와 $\sum\pi_3 = 92.8$을 얻을 수 있었다.

[Table 6] WiMAX:WLAN_12 game (Round 2)

		WLAN 1_2					
		R_2		R_4		R_6	
WiMAX	R_2			13.0	68.2	13.0	68.2
	R_4	61.4	13.4			61.4	68.2
	R_6	61.8	13.4	61.8	68.2		

[Table 7] WLAN_1:WLAN_2 game(Round 2)

		WLAN 2			
		R_2		R_4	
WLAN 1	R_2			13.1	12.8
	R_4	13.9	13.4		

이상의 분석은 WLAN_1과 WLAN_2를 결합하기 위해 둘 중 작은 GRC 값을 이용해서 구성한 WLAN_12을 이용한 게임의 결과였다. 다른 방법으로 큰 GRC 값, 즉 WLAN_12의 GRC 값을 [0.7617 0.6947 0.7849 0.8130]로 하여 게임을 수행한 결과도 같은 결과를 얻었다. 단지 첫 번째 라운드에서 최대 보수는 $\pi_1 = 62.5$, $\pi_2 = 75.7$ 와 $\pi_3 = 79$이고, 두 번째 라운드의 보수는 $\pi_1 = 61.8$, $\pi_2 = 13.2$ 와 $\pi_3 = 13$으로 참여자들이 얻는 보수에만 차이가 있음을 알 수 있었다.

제안된 방식이 사용자들이 요청하는 다양한 서비스에 대하여 효과적인 방법인지를 알아보기 위해 여러 가지 방법으로 실험해 보았다. Table 8은 다른 형태의 서비스가 요청되는 경우를 표시하였으며 나머지 GRC 값들은 Table 3과 동일하다고 가정하였다. 게임의 결과는 Table 9에 표시하였으며 네트워크운용자가 최대 보수를 갖는 서비스가 잘 선택되고 있음을 알 수 있었다.

[Table 8] Requested Services

Service Requests	VOIP	Video	W.B.	FTP
Case 1	R_1, R_5	R_2, R_6	R_3	R_4
Case 2	R_4	R_3, R_5	R_2, R_6	R_1
Case 3	R_1, R_3	R_2, R_4	R_5	R_6

[Table 9] Game results for each case

	1st-Round		
	Player 1	Player 2	Player 3
Case 1	R_1(62.5)	R_3(76.7)	R_4(79.2)
Case 2	R_4(62.5)	R_2(76.7)	R_1(79.4)
Case 3	R_1(62.1)	R_5(76.0)	R_6(78.9)

	2-nd Round		
	Player 1	Player 2	Player 3
Case 1	R_5(61.8)	R_2(13.8)	R_6(13.4)
Case 2	R_6(62.4)	R_3(13.8)	R_5(13.3)
Case 3	R_3(60.9)	R_2(13.1)	R_4(12.8)

5. 결 론

본 연구에서는 이종 네트워크 환경에서 GRA와 비협력적 게임이론을 사용하여, 요청된 서비스에 대해 서비스 제공자들의 보상을 최대로 하는 무선 자원관리방법을 제시하였다. 사용자들이 원하는 서비스 품질(QoS)을 보장하며 네트워크들이 최대의 보수를 갖는 서비스를 선택함으로써 네트워크 자원을 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 제시하였다.

반복적인 게임을 수행하였으며, 각 라운드에서는 모든 네트워크들이 가장 큰 보수를 얻을 수 있는 서비스를 선택함을 알 수 있었다. 다양한 형태로 서비스가 요청되는 것을 분석해 봄으로서 제안된 메커니즘은 모든 네트워크가 가장 좋은 보수를 가질 수 있음을 알 수 있었다. 또한 유사한 네트워크들을 하나의 네트워크로 그룹화하여 게임을 진행하였다. 결과적으로 제안된 방법은 다양한 무선 접속기술이 존재하는 이종 무선 환경에서, 다양한 네트워크를 통합하여 관리할 수 있는 메커니즘이 될 수 있을 것이다. 그러나 차후 다양한 사용자 선호도 및 네트워크 파라미터를 이용한 분석이 필요하며, 더 많은 이종 네트워크 환경에 대한 알고리즘 개발이 필요하다고 하겠다.

References

[1] L. Wu, and K. Sandrasegaran, "A Survey on Common Radio Resource Management", *Proc. of Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*, pp. 60-66, Aug. 2007.

[2] K. Piamrat, A. Ksentini, J.-M. Bonnin, and C. Viho, "Radio Resource Management in Emerging Heterogeneous Wireless Networks", *Computer Communications Journal*, pp. 1066-1076, June 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2010.02.015

[3] M. I. Cesana and N. Gatti, "Network Selection and Resource Allocation Games for Wireless Access Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 12, pp. 2427-2440, Dec. 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/TMC.2012.207

[4] D. Niyato and E. Hossain, "A Noncooperative Game-Theoretic Framework for Radio Resource Management in 4g Heterogeneous Wireless Access Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 7, No. 3, pp. 332-345, March 2008.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/TMC.2007.70727

[5] Q. Song and A. Jamalipour, "Network Selection in an Integrated Wireless LAN and UMTS Environment Using Mathematical Modelling and Computing Techniques", *IEEE wireless communications*, Vol. 12, pp.42-48, June 2005.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MWC.2005.1452853

[6] H. Pervaiz and J. Bigham, "Game Theoretical Formulation of Network Selection in Competing Wireless Networks: An Analytic Hierarchy Process Model", *NGMAST '09*, pp.292-297, 2009.

[7] D. Charilas, O. Markaki and E. Tragos, "A Theoretical Scheme for Applying Game Theory and Network Selection Mechanisms in Access Admission Control", *Proc. of Wireless Pervasive Computing (ISWPC)*, pp.202-307, May 2008.

[8] David K. and W. Ng., "Grey System and Grey Relational Model", *ACM SICICE Bulletin*, Vol. 20, No. 2, pp.2-9, Oct. 1994.
DOI: http://dx.doi.org/10.1145/190690.190691

[9] 3GPP, *QoS Concepts and Architecture*, TS 22.107 (v6.3.0), 2005.

[10] Y. M. Woo, S. B. Kang, and Y. M. Jang, "Network Selection Algorithm in Heterogenous Networks", *Proc. of KICS*, Vol. 2006, No. 7, pp. 1415-1418, 2006.

[11] C. Xuejun and L. Fang, "Network Selection for Group Handover in Multi-access Networks", *Proc. of ICC '08*, pp.2164-2168, May 2008.

김 남 선(Nam-Sun Kim) **[정회원]**

- 1991년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>
WCDMA, 멀티미디어 이동통신, Cognitive Radio