

다기준 요소를 고려한 ANP 기반 이기종 무선 네트워크 자원관리 방안

정회원 신 충 용*, 종신회원 조 진 성*

An ANP-based Resource Management Scheme in Heterogeneous Wireless Networks Considering Multiple Criteria

Choongyong Shin* *Regular Member*, Jinsung Cho*^o *Lifelong Member*

요 약

다양한 무선 기술이 증가함에 따라 이기종 네트워크 환경은 여러 무선 기술들이 중첩 되어 공존하는 환경으로 변화되고 있다. 이렇게 혼재하여 공존하는 여러 무선 네트워크들의 효율적인 관리를 위해 통합자원관리 방안 (Common Radio Resource Management: CRRM)이 제안되었다. 통합자원관리 방안은 중첩되어 존재하는 다양한 이기종 네트워크들의 자원을 하나의 자원과 같이 통합적으로 관리하는 방안이다. 다양한 네트워크가 중첩되어 존재하고 네트워크에 따른 무선 서비스의 종류도 증가함에 따라 CRRM에서 다양한 네트워크들의 통합적인 자원관리를 위해서는 고려해야 할 사항이 더욱 증가하게 된다. 본 논문에서는 여러 가지 고려요소를 바탕으로 최적의 선택을 결정하는 다기준 의사 기법의 하나인 Analytical Network Process (ANP)를 사용하여 통합자원관리 방안을 제안하였다. 또한 본 논문에서는 무선 환경에서 널리 사용되고 있는 Adaptive Modulation and Coding (AMC)를 고려하여 채널 상태 (channel condition)에 따라 할당되는 대역폭 모델을 제안하였다. 시뮬레이션에서는 자원관리 시에 고려될 수 있는 다양한 요소를 적용하여 고려하는 요소에 따라 최적의 자원관리가 적용됨을 확인하였다.

Key Words : Heterogeneous network, CRRM, Radio bandwidth model, MCDM, ANP

ABSTRACT

In a heterogeneous wireless environment, a variety of Radio Access Technologies (RATs) coexist. Since the number of RATs is anticipated to increase in the near future, it is desirable to have radio and network resources managed in a cooperative manner using the Common Radio Resource Management (CRRM) strategy. In order to make RAT-specific radio resources manageable in CRRM, this paper proposes the Analytical Network Process (ANP) based resource management scheme that efficiently allocates resources among heterogeneous wireless networks. The proposed ANP-based method is flexible enough to be used in any network environment and can consider a multitude of decision factors. In addition, the proposed scheme uses a radio bandwidth model, which properly reflects transmission rates under given channel conditions, as the actual radio resources to be allocated. The model considers the AMC (Adaptive Modulation and Coding) scheme that is widely used in current broadband wireless access technologies, and thus, packet service characteristics, such as response time, can be analyzed. The effectiveness and flexibility of the proposed method are demonstrated by implementing a number of existing factors on heterogeneous networks environment.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1121-0003))

* 경희대학교 컴퓨터공학과 모바일 & 임베디드 시스템 연구실 (shinsyo, chojs@khu.ac.kr), (°: 교신저자)

논문번호: KICS2011-07-283, 접수일자: 2011년 7월 6일, 최종논문접수일자: 2011년 8월 1일

I. 서론

다양한 무선 네트워크 접속기술은 빠른 속도로 발달하며 증가하고 있다. 이러한 환경에서 사용자는 요구사항에 따라 단말이 가지는 다양한 인터페이스를 사용하여 무선 네트워크 (Radio Access Technologies: RAT) 서비스를 받을 수 있게 되었다. 그러나 중첩되어 존재하는 서로 다른 무선 네트워크들의 자원관리 (Radio Resource Management: RRM)는 각각 독립적으로 관리되고 있다. 그러므로 이기종 네트워크 환경에서 서로 다른 무선 네트워크들의 자원관리를 전체적인 네트워크들의 상황에 맞게 효율적으로 관리하기 위한 방안이 필요하다. 통합자원관리 방안 (Common Radio Resource Management: CRRM)은 이러한 다양한 이기종 네트워크들의 자원을 전체적인 네트워크들의 관점에서 고려하여 통합적으로 무선 자원을 관리하기 위해 제안되었다. 통합자원관리를 통해 이기종 네트워크들의 무선 자원이 관리되면 사용자는 현재 상황에 따라 최적의 서비스를 받을 수 있으며 네트워크 오퍼레이터(network operator)는 네트워크들의 제한된 자원을 더욱 효율적으로 분배 및 관리할 수 있다.

그림 1과 같이 통합 자원관리 방안 모델은 크게 두 부분으로 나뉠 수 있다^[1]. 그림 1과 같이 하위 RRM은 각 특정 네트워크의 무선자원을 할당하고 관리하며 CRRM은 상위에서 서로 다른 여러 RRM의 자원들이 전체적인 관점에서 효율적으로 관리되도록 하는 역할을 한다. RRM과 CRRM이 얼마나 밀접하게 결합되어 있는가에 따라 자원관리와 관련된 기능들이 위치가 달라지며 CRRM에 자원관리와 관련된 기능들이 더욱 많이 존재하게 될수록 더욱 적극적인 통합자원 관리가 가능하게 된다. 그러나 이를 위해서는 기존 RRM과의 메시지 교환, 지연시간 등 요구사항이 만족되어야 한다^[2].

본 논문에서는 다양한 이기종 무선 네트워크가 존재하는 환경에서 효율적인 무선 자원 관리를 위한 통합자원관리 방안을 제안한다. 본 방안은 전체적인 네트워크들의 무선자원관리를 위해 네트워크, 사용자 그

리고 서비스 특성에 따라 고려되어야 하는 다양한 요소를 함께 반영하여 고려한다. 예를 들어 사용자 단말 이 서비스나 버티컬 핸드오버 (vertical handover) 요청 시, 통합자원관리 방안을 통해 현재 중첩되어 존재하는 사용 가능한 네트워크들을 고려하여 단말이 요구하는 최적의 대역폭을 할당 할 수 있다. 제안하는 방안을 사용하여 RAT 선택, 버티컬 핸드오버, 접속 제어 (admission control), 혼잡 제어 (congestion control)등 CRRM을 수행하기 위한 기능들에 적용이 가능하다.

이기종 네트워크들의 자원을 통합적으로 관리하기 위해서는 네트워크, 사용자 및 서비스 특성에 따라 고려해야 할 사항들이 다양하게 된다. 본 논문에서는 여러 가지 요소를 고려한 자원관리를 위해 다기준 의사결정 기법 중 하나인 Analytic Network Process (ANP)를 적용하였다^[3]. ANP는 다양한 요소를 동시에 고려하여 여러 가지 대안 중 최적의 대안을 선택할 때 사용하는 기법으로 고려하는 요소가 많더라도 각각의 고려하는 요소들을 1:1로 비교할 수 있어 고려하는 요소들 간의 중요도를 간단하고 직관적으로 비교할 수 있으며 각각 계산된 요소의 중요도가 고려하는 모든 요소들에 반영되어 더욱 정확한 대안 선택이 가능하다. ANP를 적용하여 사용자, 네트워크, 서비스 특성에 따라 고려될 수 있는 요소와 위치나 상황에 따라 바뀌는 사용 가능한 네트워크들 중에 최적의 네트워크를 선택할 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 방안을 네트워크가 혼재하는 환경에 적용하여 네트워크 선택 시 고려될 수 있는 요소들을 함께 반영하고 시뮬레이션을 수행하여 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 자원관리 방안의 관련연구 및 ANP를 설명하고 3장에서 문제정의 및 이를 해결하기 위한 ANP에 기반을 둔 통합자원관리 방안에 대해 제안한다. 4장에서는 성능평가를 보이며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 배경 연구

2.1 Analytic Network Process (ANP)

다기준 의사결정 방법인 AHP (Analytic Hierarchy Process)^[4]와 ANP는 여러 요소를 고려하여 다양한 대안 중 최적의 대안을 선택 할 때 사용한다. AHP는 그림 2와 같이 여러 가지 대안과 고려요소들의 관계를 계층화하고 이를 바탕으로 복잡한 문제를 여러 개로 나누어 좀 더 간단한 문제로 세분화한다. 이렇게 세분화된 문제들은 고려하는 요소들간 1:1 비교를 통해 좀

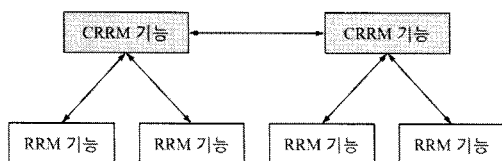


그림 1. CRRM 상호 작용 모델

더 쉽게 각 요소들간 중요도를 계산할 수 있다. 그러나 AHP에서 최적의 대안을 찾을 때 사용하는 관계 구조는 대안과 고려요소만의 관계를 고려하는 수직적인 계층적 구조로 이루어져 있어 서로 다른 여러 고려요소들 간의 관계를 고려하지 않으며 모든 종류의 문제를 다루기에는 제한이 따른다. ANP는 그림 2와 같이 이러한 수직적 계층구조를 사용하는 AHP에서 표현할 수 없는 상황을 보완하기 위해 제안되었으며 대안들과 고려요소간의 관계가 네트워크 형태의 구조로 되어 대안들과 고려요소들의 상호관계를 좀 더 정확하게 표현할 수 있다. 기본적으로 ANP는 AHP와 유사한 계산 방식을 가지며 최종적으로 대안들과 고려하는 요소들의 관계를 네트워크 형태로 고려하기 위해 대행렬 (super matrix)을 통해 적용하는 방법이 추가된다. ANP를 계산하는 단계는 다음과 같이 3단계로 나눌 수 있다. 먼저 선택하고자 하는 대안들과 선택 시 고려하고자 하는 요소들을 선정하고 이를 토대로 관계구조를 만든다. 선정된 고려요소들을 바탕으로 각 요소들 간의 중요도를 계산한다. 마지막으로 각 요소들간의 중요도를 통합하는 대행렬을 만들어 각 요소들의 중요도를 종합하고 최종 대안을 선택한다. 단계에 따른 계산방법은 다음과 같다.

2.1.1 대안과 고려할 요소 선택

ANP의 첫 번째 단계로 문제해결을 위해 고려되는 여러 가지 대안과 최적의 대안을 선택하기 위해 고려해야 하는 요소들을 선정해야 한다. 예를 들어 최적의 네트워크 선택 시는 네트워크들의 서비스 가격, 신호세기, 가용 대역폭등을 고려요소로 정할 수 있다. 대안으로는 이기종 네트워크 환경에서의 선택 가능한 다양한 네트워크들이 될 수 있다. ANP는 그림 2와 같이 각각의 고려요소들과 대안으로 상관관계를 가지는

네트워크 구조를 만들 수 있다.

2.1.2 고려요소들의 가중치 계산

두 번째 단계로 선택 가능한 대안들의 중요도를 구하기에 앞서 각 요소들의 상호평가를 위한 각각의 대안을 기준으로 하는 요소들의 가중치와 요소를 기준으로 하는 대안들의 가중치를 구해야 한다. 가중치를 구하기 위해서는 가중치 행렬을 만들고 각 행렬은 다음 각 요소를 하나씩 이원 비교하여 중요도를 계산하며 1:1 비교를 통해 각 요소간의 중요도를 산정한다. 중요도를 산정하기 위한 행렬 A는 다음과 같다.

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

행렬 A에서 a_{ij} 는 i번째 요소가 j번째 요소에 대하여 얼마나 중요한가를 나타낸다, 요소의 중요도는 표 1^[3]과 같이 1부터 9까지의 값으로 나타낼 수 있다. 비교하는 두 요소 중 i번째 요소가 더 중요할수록 더 높은 가중치를 표 1을 참조하여 가지게 된다. 또한 행렬에서 요소 비교 시 결정된 중요도는 대응되는 행렬 값의 반대 결과를 가지게 된다. 예를 들어 행렬 a_{12} 요소 비교 시 결정된 중요도는 대응되는 행렬 a_{21} 요소에서는 반대 결과를 가지는 역수가 된다. 각 요소의 1:1 가중치 값을 적용한 행렬 A에서 각 고려요소의 가중치를 구하기 위해 행렬 A의 고유값은 $\lambda W = \lambda_{\max} W$ 로 표현할 수 있으며 W는 고유벡터가 된다. λ_{\max} 는 스칼라 값 (scalar value)으로 고유값이다. 고유벡터 W를 표준화하여 얻는 결과는 고려요소의 가중치 값을 가지게 되며 다음과 같이 표현할 수 있다.

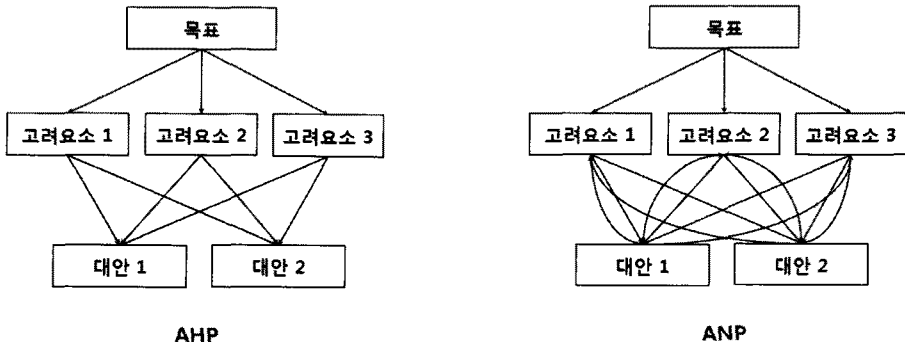


그림 2. AHP와 ANP의 대안과 고려요소 상관관계 구조

표 1. 가중치 비교 값

가중치 값	중요도
1	동등
3	약간 중요
5	다소 중요
7	매우 중요
9	절대적 중요

표 2. 랜덤 인덱스 값

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

$$W = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n)^T \quad (2)$$

2.1.3 고려요소 가중치들의 무결성 검증

식 (1)의 모든 요소들이 $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 와 $a_{ik} \cdot a_{kj} = a_{ij}$ 를 만족한다면 행렬 A는 무결성을 만족시킨다. 그러나 표 1을 사용하여 비교된 값들을 기준으로 나온 값은 사람의 주관적인 선택에 의해서 정확한 결정이 이루어지지 않을 수 있으므로 consistency ratio(CR)을 사용하여 이를 검증해야 한다. CR은 ratio of consistency index (CI)와 random index (RI)를 사용하여 구할 수 있으며 식은 다음과 같다.

$$CR = CI/RI \quad (3)$$

RI는 표 2^[1]를 사용하여 얻을 수 있으며 CI는 다음 식을 통하여 얻을 수 있다.

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (4)$$

만약 CR이 0.1이하이면, 계산된 가중치 결과는 신뢰할 수 있다. CR이 0.1 이상이면 결과는 신뢰할 수 없는 수준이며 행렬 A의 값이 재조정 되어야 한다.

2.1.4 고려요소 가중치들의 무결성 검증

ANP에서는 고려하는 대안을 기준으로 고려하는 요소들에 대한 가중치와 고려요소를 기준으로 하는 각 대안들의 가중치를 구하여 최종 대안을 산정하기 위한 대행렬(super matrix)을 만든다. 식 (1)을 사용하여 요소들과 대안들의 행렬을 만들고 식 (2)를 적용하여 각각의 가중치 값을 산정한 후 무결성 검증이 완료 되면 대행렬에 기존의 가중치 값들을 적용하여 최종 대안을 결정할 수 있다. 대안들을 C, 고려요소를 F라

고 할 때 대행렬은 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{matrix}
 & C_1 & \dots & C_m & F_{m+1} & \dots & F_{m+n} \\
 C_1 & \left(\begin{matrix} w_{11} & \dots & w_{1m} & w_{1m+1} & \dots & w_{1m+n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_m & w_{m1} & \dots & w_{mm} & w_{mm+1} & \dots & w_{mm+n} \\ F_{m+1} & w_{m+11} & \dots & w_{m+1m} & w_{m+1m+1} & \dots & w_{m+1m+n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ F_{m+n} & w_{m+n1} & \dots & w_{m+n m} & w_{m+n m+1} & \dots & w_{m+n m+n} \end{matrix} \right) & (5)
 \end{matrix}$$

대행렬을 구성하는 요소에서 영향을 미치지 않는 부분에 대해서는 0의 값을 가진다. 식 (5)에 식 (1), (2)를 통해 계산된 고려요소들과 대안들의 가중치를 적용한 후 주어진 대행렬에서 모든 열의 값이 같아질 때까지 반복적인 행렬 곱 연산을 수행한 후 대안들의 최종 가중치를 얻을 수 있다. 상대적인 값을 고려하는 행렬 내의 모든 대안과 고려요소의 가중치들은 반복적인 행렬 곱 연산을 통해 상호간에 영향을 받게 된다. 최종적으로 대행렬에서 계산된 대안들의 최종 가중치는 모든 가중치가 고려되어 지며 행렬 내 대안들의 최종 가중치를 구하면 다음과 같다.

$$W_{final} = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_m)^T \quad (6)$$

대안들의 최종 가중치들 중 가장 큰 값을 가지는 대안이 최종 대안으로 선택 될 수 있다.

2.2 관련연구

CRRM을 구성하는 기능들은 RAT선택, 버티컬 핸드오버, 접속 제어 그리고 혼잡 제어 등이 있다. RAT 선택, 버티컬 핸드오버 시 접속 제어와 혼잡 제어는 일반적으로 함께 작용하며 이와 관련된 기존 연구들에 대해 살펴본다.

대부분의 버티컬 핸드오버 방안은 사용자에게 끊임 없는 서비스를 제공하기 위한 목적으로 사용된다^[5-7]. 그러나 다음 방안들은 접속/혼잡제어를 위해 버티컬 핸드오버를 사용하였다. Taha 연구진은 기존 네트워크의 가용자원이 부족하여 새로운 사용자를 더 수용할 수 없을 경우 기존에 서비스 받는 사용자를 중첩된 다른 네트워크로 이동시켜 새로운 사용자를 위한 자원을 확보하는 방안^[8]을 제안하였다. Gelabert 연구진은 GSM EDGE Radio Access Network (GERAN)와 UMTS Terrestrial Radio Access Network(UTRAN)에서 혼잡제어를 해결하기 위한 방안을 버티컬 핸드오버와 비트레이트 감소 (bit-rate reduction)를 사용하여 제안하였다^[9]. 이 방안에서는 GERAN 네트워크의

대역폭이 부족할 경우 UTRAN 네트워크 사용자의 비트레이트(bit-rate)를 낮추고 GERAN 네트워크 사용자를 UTRAN 네트워크로 버티컬 핸드오버 시켜 네트워크의 혼잡을 제어한다. 네트워크 특성상 GERAN 네트워크에서는 비트레이트 감소를 사용할 수 없으므로 GERAN, UTRAN 두 네트워크가 혼잡시에는 UTRAN 네트워크로의 버티컬 핸드오버는 어렵다.

버티컬 핸드오버와는 다르게 RAT선택은 CRRM과 좀 더 밀접한 관련이 있으며 서비스 선택 및 버티컬 핸드오버에도 적용이 가능하다. RAT 선택은 부하균배 (load-balancing)기반, 서비스 종류(service-type) 기반, RAT 종류 기반으로 나눌 수 있다.

부하균배는 CRRM의 혼잡제어를 위한 기본적인 방법으로 Tolli 연구진은 부하균배 기반의 CRRM 방안을 제안하였다¹⁰⁾. 제안한 방안에서 만약 네트워크 부하 (load)가 일정 임계치 값 (threshold value)을 초과 하게 되면 주변의 부하가 적은 다른 네트워크로 RAT를 선택하게 하는 방안이다. 또한 저자는 기존의 방안에 임계치 값을 주변 네트워크의 상황에 따라 동적으로 수정하는 방안¹¹⁾을 제안하였다. Piqueras 연구진은 네트워크 서비스 가격을 고려한 RAT 선택방안을 제안하였다¹²⁾. 각 RAT의 가격은 시간에 따라 변경되며 네트워크 부하를 기반으로 사용자가 특정 네트워크에 집중될 경우 상대적으로 저렴한 다른 RAT를 선택하게 한다.

서비스 종류 (service-type)기반에서 RAT선택 방안은 실시간 서비스 (예: 음성 서비스)와 비 실시간 서비스 (예: WWW)의 두 가지 방안으로 나누어 볼 수 있다. Romero 연구진은 서비스 종류와 사용자 위치에 대응하는 정책을 바탕으로 상황에 따라 네트워크를 선택하는 VG, VU 방안을 제안하였다¹³⁾. 그러나 결과적으로 이 방안에서는 사용자 위치보다는 서비스 종류에 기반하여 음성 서비스는 간섭(interference)에 강한 GERAN에 할당하고 WWW 서비스는 대역폭이 높은 UTRAN에 할당하여 각 서비스에 따라 네트워크를 선택하게 하는 방안이다. Hasib 연구진은 WLAN, WWAN 환경에서 실시간 서비스는 끊김이 적은 WWAN에 할당하고 비 실시간 서비스는 대역폭이 높은 WLAN에 할당하는 방안을 제안하였다¹⁴⁾.

RAT 종류 기반 선택은 네트워크의 특성에 따라 선택하는 방법이다. Romero 연구진은 실내에서 CDMA 네트워크가 간섭에 약하고 FDMA/TDMA 기반 GERAN 네트워크가 간섭에 강한 특성을 고려하여 실외 사용자들은 CDMA 기반 UTRAN에 할당하게 하는 방안을 제안하였다¹³⁾. 이와 유사한 방안으로 사용

자가 네트워크 셀(cell) 주변에 있어 셀 간 간섭에 영향을 받을 경우 FDMA/TDMA 네트워크에 서비스를 할당하는 방안이 제안되었다^{15, 16)}. 이와 반대로 셀 간 간섭이 적은 사용자는 서비스를 CDMA 네트워크로 할당한다.

위에서 언급한 방안들은 네트워크 부하, 서비스 종류, RAT 특성 등 한 두 가지 요소를 고려하고 있다. 그러나 다양한 이기종 네트워크의 자원을 통합적으로 관리해야 하는 CRRM에서는 서로 다른 네트워크들의 자원을 통합하여 관리하는 만큼 여러 가지 네트워크 특성에 따라 다양한 요소들의 고려가 필요하다. Pillekeit 연구진은 UMTS/GSM 네트워크 환경에서 네트워크 부하, QoS(Quality of Service), 이전 핸드오버 시간, 핸드오버 시 발생하는 시그널 오버헤드 이렇게 네 가지 요소를 고려하여 네트워크를 선택하는 방안을 제안하였다¹⁷⁾. 네 가지 요소들은 각각의 가중치를 가지며 네 요소를 종합하여 가장 큰 값을 가지는 네트워크를 선택하게 된다. 여러 가지 요소를 고려하는 다른 방안으로 Agusti 연구진은 fuzzy-neural 이론을 적용한 CRRM방안을 제안하였다^{18,19)}. 이 방안에서는 fuzzy-neural algorithm, reinforcement learning, multiple decision making 이라는 세 가지 메인 블록을 정의 하고 있다. Fuzzy-neural algorithm은 Fuzzy Selected Decision (FSD)이라는 가중치를 0부터 1의 값으로 할당한다. FSD 값은 신호세기나 가용대역폭, 단말의 속도를 고려하여 정해진다. Reinforcement learning은 fuzzy-neural algorithm에서 사용되는 고려 요소를 선택하고 조절하는 기능을 수행한다. 마지막으로 multiple decision making block은 fuzzy-neural block의 요소와 서비스 가격과 같은 사용자나 네트워크 오퍼레이터의 요소를 고려하여 최종 RAT를 선택한다.

위에서 알아본 기존 연구들은 고정된 특정 요소나 특정 네트워크에 특화된 방안으로 점차 복잡해지고 다양해지고 있는 이기종 무선 네트워크 환경에 적용하기 위해서는 더욱 다양한 고려요소가 필요하다. 그러므로 본 논문은 다양한 이기종 무선 네트워크 환경에 여러 가지 요소를 함께 고려하기 위한 방안을 제안한다. 다음 장에서는 통합 자원관리를 위해 이기종 네트워크 환경에서 다양한 고려요소들을 ANP 기반으로 적용하는 방안에 대해 기술한다.

III. ANP기반 통합 자원관리 방안

본 장에서는 제안하는 ANP 기반 자원관리 방안에

대해서 기술한다. 제안하는 방안은 CRRM의 기능인 RAT 선택, 버티컬 핸드오버, 접속제어, 혼잡제어 등을 수행하는데 사용된다. 제안하는 방안의 목표는 이기종 네트워크 환경에서 자원관리를 위해 고려될 수 있는 요소들 (서비스 종류, 네트워크 혼잡상태, 무선 채널 상태, 자원 효율성, 서비스 가격, 사용자 선호도 등)을 고려하여 사용자와 네트워크 상황에 따른 최적의 자원 할당을 하고자 하는데 있다.

먼저 제안하는 방안에 대한 설명에 앞서 무선 대역폭 (radio bandwidth)에 대한 정의가 필요하다. 현재 광대역 무선 접속 기술들은 사용자에게 하나 또는 그 이상의 무선 자원 단위 (radio resource unit)이 할당된다. 예를 들어 그림 3은 Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) 시스템에서의 무선 자원 단위를 나타낸다. OFDM에서 하나의 단위(unit)는 이차원(시간, 주파수 도메인)으로 표현될 수 있으며 3GPP 패킷 채널에서는 이를 'radio unit'(RU)라고 부른다. 3GPP2 1xEV-DO에서 무선 자원 단위는 시간 도메인 상에서 일차원으로 표현될 수 있으며 이를 'time slot'이라고 부른다.

각각의 무선 자원 단위는 사용자의 채널 상태에 따라 Adaptive Modulation and Coding (AMC)이 적용된다. 그러므로 무선 자원 단위의 데이터양은 달라질 수 있다. 예를 들어 High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA)에서 한 사용자 u_1 이 채널 상태가 좋지 않은 상황에서 1.8Mbps의 자원을 간섭에 강하고 데이터 전송률이 낮은 QPSK 변조 방식으로 받는 경우와 14.4Mbps의 자원을 간섭에 약하고 데이터 전송률이 높은 64-QAM 변조 방식으로 받는 사용자 u_2 가 있을 때 하나의 무선 자원 단위에 대한 효율이 달라지게 된다.

위의 경우에서 사용자 u_1, u_2 는 동일한 하나의 무선 자원 단위를 각각 할당 받지만 u_1 에 비해 u_2 는 같은 시간에 8배 이상의 데이터를 더 받을 수 있다. 바

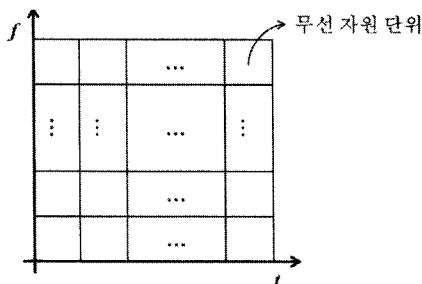


그림 3. OFDM 시스템에서의 무선 자원 단위(radio resource unit)

꾸어 말하면 u_1 과 u_2 에 같은 양의 데이터를 보낼 때 u_1 은 8배 이상의 무선 자원 단위가 더 필요하게 된다. CRRM에서 RAT 특성에 따른 자원관리를 위해 주어진 채널 상태에 따라 실제로 할당되는 무선 자원을 무선 대역폭으로 정의 하였다.

다음은 무선 대역폭이 할당되는 절차를 설명한다.

- 1) 초기 베이스 스테이션의 무선 대역폭은 다음과 같고 $\Phi = \Phi_{MAX}$, Φ_{MAX} 는 최대 전송속도를 나타낸다.
- 2) 만약 사용자 u_i 가 실시간 서비스(예: VoIP)를 r_i 의 전송률로 요청하고 채널 상태가 c_i 일 경우 무선 대역폭은 $\phi_i = f(r_i, c_i)$ 와 같이 표현할 수 있으며 ϕ_i 는 사용자 u_i 에 할당된다. $f(r_i, c_i)$ 는 요구되는 무선 대역폭과 채널 상태에 따라 할당되는 실제 전송 대역폭 (actual transmission bandwidth)과의 관계를 나타낸다. 베이스 스테이션이 무선 대역폭 ϕ_i 를 사용자 u_i 에 할당하게 되면 베이스 스테이션의 무선 대역폭은 다음과 같이 변하게 된다. $\Phi = \Phi - \phi_i$
- 3) 만약 사용자 u_j 가 채널 상태가 c_j 인 상황에서 비실시간 서비스 (예: WWW)를 요청할 경우 베이스 스테이션의 가용 무선 대역폭(available radio bandwidth)은 l 명의 비실시간 서비스를 요청한 사용자가 함께 공유하게 된다. 그러므로 u_j 는 $r_j = g(\Phi/l, c_j)$ 의 전송률을 가지게 되며 $g(\phi_j, c_j)$ 는 사용자가 채널 상태가 c_j 인 상태에서 무선 대역폭 ϕ_j 가 가지는 전송률을 나타낸다. 이러한 개념을 proportional fair scheduling^[20] 이라고 한다.

제안한 방안을 적용하기 위한 첫 번째 단계로 해결하고자 하는 문제를 정의하고 이에 따라 고려되는 요소와 대안들을 선정하여야 한다. 고려하는 요소 $F_i = (1 \leq i \leq n)$ 가 n 개 있고, m 개의 선택 가능한 대안 네트워크 $N_j = (1 \leq j \leq m)$ 이 있을 때 그림 4와 같이 표현 할 수 있다. 상위 단계는 자원할당을 위한 목표에 해당되며 중간 단계는 자원할당을 위해 고려하는 요소 $F_i = (1 \leq i \leq n)$ 들이 된다. 그리고 마지막 하위 단계는 선택 가능한 대안 네트워크 $N_j = (1 \leq j \leq m)$ 들이 된다.

두 번째 단계로 2장에 언급 했던 바와 같이 대안이 되는 네트워크들에 대한 각 고려요소들의 중요도 가중치를 구하고 반대로 각 고려요소들에 대하여 대안 네트워크들의 중요도 가중치를 구해야 한다. 식 (1)을

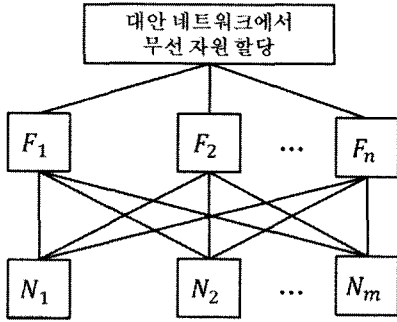


그림 4. CRRM에서의 대안(가용 네트워크)과 고려요소의 상관관계

사용하여 표 1의 값을 적용하여 m 개의 네트워크에 대한 요소 $F_i = (1 \leq i \leq n)$ 개의 중요도를 비교하고 식 (2)를 사용하여 고유 벡터 통해 각 요소들 간의 가중치를 얻을 수 있다. 또한 같은 방법으로 n 개의 고려 요소에 대한 네트워크 $N_j = (1 \leq j \leq m)$ 개의 가중치를 식 (1), (2)를 사용하여 구할 수 있다. 이렇게 계산된 가중치는 식 (3), (4)를 통해 무결성 검증을 수행하고 최종적으로 검증된 네트워크와 요소들의 가중치를 식 (5)의 대행렬 (super matrix)에 적용하고 최종적으로 식 (6)을 통해 대안 네트워크들의 최종 가중치 값을 찾게 된다. 대안 네트워크들의 가중치 W_{final} 중 가장 큰 값을 가지는 가중치가 최종 대안 네트워크가 된다. 제안된 방안은 그림 5와 같다.

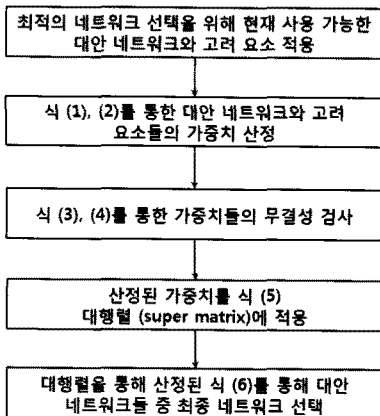


그림 5. 대안 네트워크와 고려요소를 적용한 ANP 프로세스

IV. 성능 평가

본 장에서는 제안한 ANP 기반 자원관리 방안을 이 기종 네트워크 환경에 적용하고 결과를 분석하였다.

먼저 시뮬레이션 환경과 독립적인 트래픽 (traffic), 사용자 (user), 무선 대역폭 (radio bandwidth) 모델을 소개하고 이기종 네트워크 환경에 적용한 시뮬레이션 모델을 설명한다.

트래픽 모델은 VoIP (실시간)와 WWW (비 실시간)의 두 가지 서비스를 고려한다. VoIP의 전송률이 V 일 때 서비스 시간은 평균 T_s 의 시간을 가지는 지수 분포 (exponential distribution)를 따르며 WWW 서비스도 지수분포에 따라 평균 웹 페이지 크기 S 를 가지도록 하였다.

VoIP와 WWW 사용자 도착 시간은 T_v 와 T_w 의 평균 시간을 가지는 지수분포를 따르게 하였으며 데이터 서비스를 많이 사용하는 점을 감안하여 전체 서비스 요청의 40%는 음성서비스를 60%는 WWW 웹 서비스를 발생하게 하였다. 각각의 사용자들은 사용자 특성에 따른 선호도 (preference)를 가지게 하였다. (예: 서비스 가격선호, QoS선호 등)

3장에서 언급한 무선 대역폭 모델 $f(r, c)$, $g(\phi, c)$ 를 적용하기 위해서는 실제 전송 대역폭 r 과 무선 대역폭 ϕ 그리고 채널 상태 c 에 대한 정의가 필요하다. 그러므로 본 시뮬레이션에서는 4단계의 채널 상태를 가정하였고 이에 대응하는 4단계의 코딩률 (coding rate)을 적용하였다. 채널 상태 c 는 사용자 단말과 베이스 스테이션의 거리에 따라 1, 1/2, 1/4, 1/8의 값을 가지며 ϕ , r 의 관계는 다음과 같다.

$$\phi = f(r, c) = r/c \tag{7}$$

$$r = g(\phi, c) = \phi \cdot c \tag{8}$$

네트워크의 전체 대역폭에서 40%는 실시간 서비스를 위해 수락제어를 통하여 제어하게 하였다. 표 4의 요약된 시뮬레이션 파라미터는 [24,25]에서 적용한 값을 활용하였다.

제안한 방안을 그림 6과 같이 WLAN, WiMAX, WCDMA가 혼재하는 이기종 무선 네트워크 환경에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 사용자 그룹은 ANP를 사용하여 네트워크를 선택하는 그룹과 사용 가능 네트워크 중 랜덤 (random)하게 네트워크를 선

표 3. 네트워크 파라미터^[21-23]

파라미터	WLAN	WiMAX	WCDMA
대역폭	11Mbps	40Mbps	14Mbps
가격	\$0.10/1MB	\$0.20/1MB	\$0.39/1MB
셀 반경	100m	500m	1000m

표 4. 시뮬레이션 파라미터^[24,25]

기호	파라미터	값
V	VoIP 전송률	19200bps
T_s	VoIP 서비스 시간	30초
S	웹 페이지 크기	3223bytes
T_V	VoIP 사용자 평균 도착시간	180초
T_W	WWW 사용자 평균 도착시간	30초

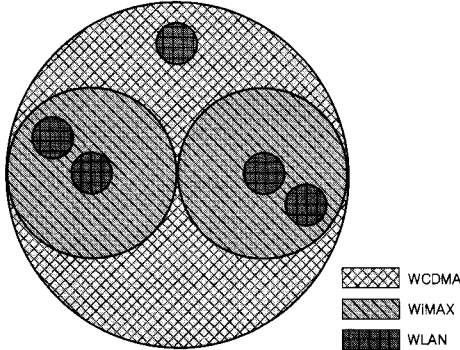


그림 6. 중첩된 이기종 네트워크 시뮬레이션 환경

택하는 그룹으로 비교하였으며 ANP를 사용하여 네트워크 선택 시 고려요소는 서비스 가격 (service cost), 가용 대역폭 (available bandwidth), 네트워크 채널 상태 (channel state)를 고려하였다. 시뮬레이션 환경의 네트워크와 고려요소는 다음과 같이 적용하였다.

- 1) 그림 4와 같이 F_1 은 서비스 가격을 F_2 는 사용 가능한 대역폭, F_3 는 채널 상태를 고려요소로 적용하였고 대안으로는 N_1, N_2, N_3 를 각각 WLAN, WiMAX, WCDMA 네트워크로 지정하여 대안 네트워크들을 적용하였다.
- 2) 고려요소들의 가중치는 단말이 위치한 지역에서 사용 가능한 네트워크들의 값을 고려하여 서비스 가격, 가용 대역폭, 네트워크 채널 태에 따라 가중치를 계산하였다. 네트워크들간의 가중치는 음성서비스 사용자는 VoIP 음성 서비스의 요구대역폭 V 를 만족하면서 가장 저렴한 서비스 가격을 가지는 네트워크에 가장 높은 가중치를 적용하였다. WWW 서비스에서는 초당 평균 웹 페이지 크기 S 를 제공할 수 있는 네트워크 중 서비스 가격이 저렴한 네트워크가 가장 높은 가중치를 가지게 하였다. 고려요소와 대안 네트워크들의 가중치는 식 (1), (2)를 사용하여 계산하였다. 예를 들어 서비스 가격 요소 F_1 의 경우 WLAN과 WCDMA 네트워크가 중첩된

지역에서는 상대적으로 가격이 저렴한 WLAN 네트워크가 표 1에 따라 더 높은 중요도를 가지게 된다.

- 3) 마지막으로 고려요소와 대안 네트워크들의 가중치를 식 (5)의 대행렬에 적용하여 대안 네트워크들의 최종 가중치 값인 식 (6)을 구하고 식 (6)을 통해 얻은 대안 네트워크들의 최종 가중치 W_{final} 값 중 가장 높은 값을 가지는 네트워크가 최종 대안 네트워크로 선택되게 하였다.

그림 7은 제안한 방안과 선택 가능한 네트워크들 중 랜덤하게 선택하는 방안과의 VoIP 서비스 평균 블록킹 확률 (blocking probability)을 비교하였다. 제안한 방안은 네트워크의 가용대역폭과 채널 상태를 함께 고려하여 네트워크들의 부하균배 (load balancing)을 고려할 수 있어 랜덤선택 보다 더욱 많은 사용자를 수용할 수 있음을 알 수 있다. 그림 8은 제안하는 방안과 랜덤선택의 평균 VoIP 서비스 가격을 차이를 보

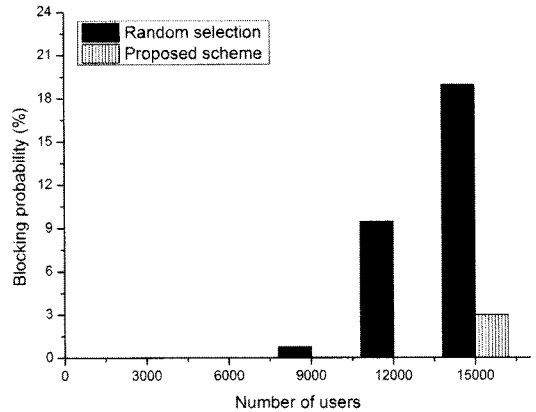


그림 7. 랜덤선택과 제안방안과의 블록킹 확률 비교

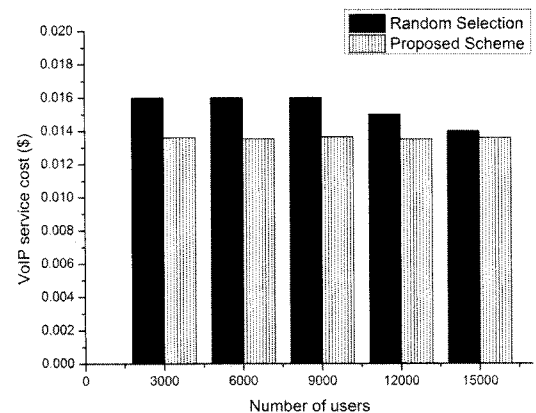


그림 8. 랜덤선택과 제안방안과의 VoIP 서비스 가격 비교

여준다. 그림 8과 같이 제안하는 방안은 고려요소로 서비스 가격 F_1 을 고려하고 있어 기존의 VoIP 서비스 전송률 V 가 만족될 경우 가장 저렴한 네트워크를 선택하여 낮은 서비스 가격을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 9는 WWW 서비스의 패킷 지연시간을 보여 주는 결과로 랜덤선택의 경우 주변 네트워크의 자원 고려 없이 특정 네트워크로 사용자가 집중되어 제안한 방안과 큰 차이를 보임을 알 수 있다. WWW 서비스에서도 VoIP 서비스와 마찬가지로 사용 가능한 대역폭 (available bandwidth) 요소 F_2 와 채널상태 요소 F_3 를 함께 고려하여 부하균배를 통한 효율적인 자원 사용이 가능하며 전체 네트워크의 자원을 고르게 사용하여 더욱 적은 서비스 지연시간을 가짐을 볼 수 있다. 그림 10은 WWW 서비스의 평균 가격을 비교하였으며 제안한 방안에서는 가격요소를 함께 고려하여 네트워크가 중첩된 지역에서는 사용자가 서비스 가격이 저렴한 네트워크(WLAN, WiMAX)를 더 많이 선택

했음을 알 수 있다.

다양한 네트워크의 기술이 더욱 증가함에 따라 네트워크들은 중첩되어 존재하게 되고 네트워크들의 제한된 자원이 독립적으로 관리될 경우 중첩되어 존재하는 무선자원은 효율적으로 관리되기 어렵다. 본 논문에서는 다양한 이기종 네트워크 환경과 다양한 고려요소의 적용을 위해 다기준 의사결정 방법인 ANP를 CRRM 방안에 적용하여 제안하였다. ANP를 통해 시뮬레이션 환경에서 적용한 고려요소와 네트워크들 이외의 요소들과 네트워크들을 추가적으로 반영할 수 있어 변화하는 무선 환경에 적용이 용이하다.

V. 결 론

무선 접속기술의 증가로 무선 네트워크 환경은 더욱 복잡하고 중첩된 환경으로 변화되고 있다. 이렇게 다양한 이기종 네트워크들이 혼재한 환경에서 각 네트워크들의 무선자원을 통합하고 효율적으로 관리하기 위해 CRRM 방안이 제안되었다. CRRM을 사용하여 사용자는 더욱 나은 서비스를 받을 수 있으며 네트워크 오퍼레이터는 전체적인 네트워크들의 제한된 자원을 효율적으로 관리할 수 있다. 현재 제안되어있는 CRRM 관련 방안들은 여러 특성을 가지는 이기종 네트워크 환경에 다양한 요소를 고려하여 적용하기에는 제한이 따른다. 본 논문에서는 다기준 의사결정 방법인 ANP를 CRRM에 적용하여 다양한 이기종 네트워크 환경에서 자원관리 시 고려해야 하는 여러 요소들을 함께 고려할 수 있으며 서로 다른 특성을 가지는 다양한 네트워크 환경에도 적용할 수 있다. 또한 본 논문에서 무선 대역폭(radio bandwidth)모델을 제안하고 이기종 무선 네트워크 환경에 적용하여 시뮬레이션을 진행하였고 다양한 요소들을 고려하여 적용가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Wu, L., Sandrasegaran, K., "A Survey on Common Radio Resource Management," Proc. of *Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*, pp.60-66, Aug. 2007.
- [2] Sallent, O., "A Perspective on Radio Resource Management in B3G," Proc. of *Wireless Communication Systems*, pp.30-34, Sep. 2006.
- [3] Saaty, T. L., "Decision Making with Feedback: The Analytical Network Process," RWS

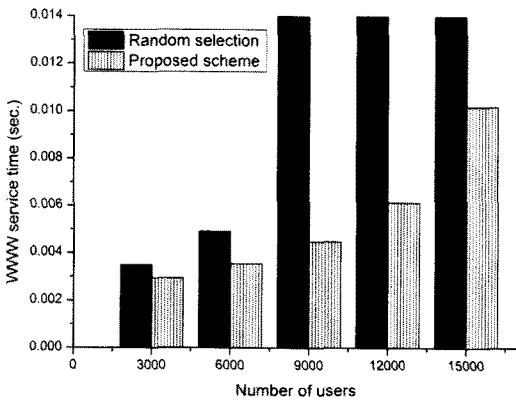


그림 9. 랜덤 선택과 제안방안과의 WWW 서비스 지연시간 (service delay) 비교

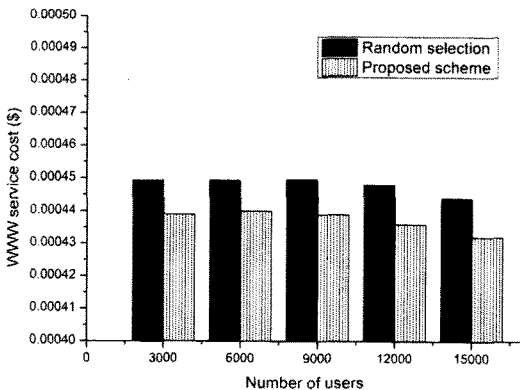


그림 10. 랜덤선택과 제안방안과의 WWW 서비스 가격 비교

- Publications, Pittsburg, PA, 1996.
- [4] Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications," Pittsburg, PA, 1990.
- [5] Stevens-Navarro, E., Wong, V.W.S., Lin, Y., "A Vertical Handoff Decision Algorithm For Heterogeneous Wireless Networks," Proc. of *Wireless Communications and Networking Conference*, pp.3199-3204, Mar. 2007.
- [6] Wang, L.C., Chen, A., Chen, H.H., "Network Selection With Joint Vertical and Horizontal Handoff in Heterogeneous WLAN and Mobile WiMAX Systems," Proc. of *Vehicular Technology Conference*, Spring, pp.794-798, Apr. 2007.
- [7] Stevens-Navarro, E., Wong, V.W.S., "Comparison Between Vertical Handoff Decision Algorithms for Heterogeneous Wireless Networks," Proc. of *Vehicular Technology Conference*, Spring, pp.947-951, May 2006.
- [8] Taha, A.E.M., Hassanein, H.S., Mouftah, H.T., "Exploiting Vertical Handoffs in Next Generation Radio Resource Management," Proc. of *Communications*, pp.2083-2088, Jun. 2006.
- [9] Gelabert, X., Perez-Romero, J., Sallent, O., Agusti, R., "On Managing Multiple Radio Access Congestion Events in B3G Scenarios," Proc. of *Vehicular Technology Conference*, Spring, pp.1137-1141, Apr. 2007.
- [10] Tolli, A., Hakalin, P., Holma, H., "Performance Evaluation of Common Radio Resource Management (CRRM)," Proc. of *Communications*, pp.3429-3433, May 2002.
- [11] Tolli, A., Hakalin, P., "Adaptive Load Balancing Between Multiple Cell Layers," Proc. of *Vehicular Technology Conference*, Fall, pp.1691-1695, Sep. 2002.
- [12] Piqueras, R., Perez-Romero, J., Salient, O., Agusti, R., "Dynamic Pricing for Decentralised RAT Selection in Heterogeneous Scenarios," Proc. of *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1-5, Sep. 2006.
- [13] Perez-Romero, J., Salient, O., Agusti, R., "Policy-Based Initial RAT Selection Algorithms in Heterogeneous Networks," Proc of *7th Mobile Wireless Communication Networks*, pp.1-5, Sep. 2005.
- [14] Hasib, A., Fapojuwo, A.O., "Performance Analysis of Common Radio Resource Management Scheme in Multi-Service Heterogeneous Wireless Networks," Proc. of *Wireless Communications and Networking Conference*, pp.3296-3300, Mar. 2007.
- [15] Perez-Romero, J., Salient, O., Agusti, R., Garcia, N., Wang, L., Aghvami, H., "Network-Controlled Cell-Breathing for Capacity Improvement in Heterogeneous CDMA/TDMA Scenarios," Proc. of *Wireless Communications and Networking Conference*, pp.36-41, Apr. 2006.
- [16] Perez-Romero, J., Ferrus, R., Salient, O., Olmos, J., "RAT Selection in 3GPP-Based Cellular Heterogeneous Networks: From Theory to Practical Implementation," Proc. of *Wireless Communications and Networking Conference*, pp.2115-2120, Mar. 2007.
- [17] Pillekeit, A., Derakhshan, F., Jugl, E., Mitschele-Thiel, A., "Force-Based Load Balancing in Co-located UMTS/GSM Networks," Proc. of *Vehicular Technology Conference*, Fall, pp.4402-4406, Sep. 2004.
- [18] Agusti, R., Salient, O., Perez-Romero, J., Giupponi, L., "A Fuzzy-Neural Based Approach for Joint Radio Resource Management in a Beyond 3G Framework," Proc. of *Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks*, pp.216-224, Oct. 2004.
- [19] Giupponi, L., Agusti, R., Perez-Romero, J., Sallent, O., "A Novel Joint Radio Resource Management Approach With Reinforcement Learning Mechanisms," Proc. of *Performance, Computing, and Communications Conference*, pp.621-626, Apr. 2005.
- [20] Bender, P., Black, P., Grob, M., Padovani, R., Sindhushyana, N., Viterbi, A., "CDMA/HDR: A Bandwidth Efficient High Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," *IEEE Communications Magazine*, pp.70-77, Jul. 2000.

[21] <http://www.wireless.att.com/>
 [22] <http://www.sprint.com/>
 [23] <http://www.verizonwireless.com/>
 [24] Das, S.K., Lee, E., Basu, K., Kakani, N., Sen, S.K., "Performance Optimization of VoIP Calls Over Wireless Links Using H.323 Protocol," Proc. of *INFOCOM*, pp.1386-1394, Jun. 2002.
 [25] Timmins, P.J., McCormick, S., Agu, E., Wills, C.E., "Characteristics of Mobile Web Content," Proc. of *Hot Topics in Web Systems and Technologies*, pp.1-10, Nov. 2006.

조진성 (Jinsugn Cho)

종신회원



1992년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
 2000년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
 1998년 IBM T.J. Watson

Research Center Visiting Researcher

1999년 9월~2003년 삼성전자 책임연구원
 2003년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <관심분야> 모바일 네트워크, 임베디드 시스템.

신충용 (Choongyong Shin)

정회원



2005년 경희대학교 컴퓨터공학과 학사
 2007년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
 2007년~현재 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 이기종 네트워크 통합 및 자원관리, 모바일 네트워크, 임베디드 시스템.