

# 퍼지 집합 이론을 활용한 무선인지 주파수 할당 알고리즘

정회원 이 문 호\*, 이 중 찬\*\*<sup>o</sup>

## A Frequency Allocation Method for Cognitive Radio Using the Fuzzy Set Theory

Moonho Lee\*, Jongchan Lee\*\*<sup>o</sup> *Regular Members*

요 약

무선 인지 기반의 시스템에서, 주 사용자를 위한 주파수 할당을 보장하면서도 부가 사용자에게도 끊임없는 서비스를 제공해야 한다. 부가 사용자의 멀티미디어 데이터의 전송 시 무선 링크의 빈번한 변경 때문으로 인한 데이터 전송 지연과 손실이 발생할 경우 QoS 저하를 피할 수 없게 된다. 부가 사용자에게도 끊임없는 서비스를 유지하기 위해서는 효율적인 주파수 자원 관리가 필요하다. 본 논문에서는 퍼지 다기준 의사 결정 방법에 근거한 주파수 선정 방법을 제안한다. 제안되는 주파수선정 방법은 퍼지 집합 이론을 활용하며 주파수 선택을 위한 결정 프로세스에 기존의 전파 수신 감도 이외에 셀 부하, 데이터 전송률, 가용 대역 등을 고려한다. 시뮬레이션을 통하여, 제안된 방법이 수신 신호 세기만을 사용하는 기존의 방법보다 우수함을 보인다.

**Key Words** : Cognitive radio, QoS, Channel Allocation, Fuzzy set theory, Seamless multimedia service

### ABSTRACT

In a cognitive radio based system, quality of service (QoS) for the secondary user must be maintained as much as possible even while that of the primary user is protected all the time. In particular, switching wireless links for the secondary user during the transmission of multimedia data causes delay and information loss, and QoS degradations occur inevitably. The efficient resource management scheme is necessary to support the seamless multimedia service to the secondary user. This paper proposes a novel frequency selection method based on Multi-Criteria Decision Making (MCDM), in which uncertain parameters such as received signal strength, cell load, data rate, and available bandwidth are considered during the decision process for the frequency selection with the fuzzy set theory. Through simulation, we show that our proposed frequency selection method provides a better performance than the conventional methods which consider the received signal strength only.

### I. 서 론

800MHz 및 1.8GHz 대역의 2세대 이동통신 시장의 성장과 더불어, 2GHz 대역의 3세대 이동통신 서비스가 출현하였으며, 그 외에도 2.4GHz ISM 대역 및 5GHz에서의 무선 LAN 활성화와 2.3GHz

대역에서의 WiBro 서비스의 활성화를 앞두고 향후 광대역 이동 인터넷 액세스 서비스에 대한 지속적인 수요가 예상되고 있다<sup>1-2)</sup>. 그러나 급속히 발전하는 다양한 형태의 무선 통신 기술들은 사용 가능한 주파수 대역이 포화되고 있어서 상용화가 제약되고 있는 실정이며, 특히 낮은 주파수 대역을 사용할 수

\* 청운대학교 멀티미디어학과 (mhlee@cwunet.ac.kr), \*\* 군산대학교 컴퓨터정보공학과 (chan2000@kunsan.ac.kr)(<sup>o</sup>: 교신저자)  
논문번호: KICS2008-04-172, 접수일자: 2008년 4월 14일, 최종논문접수일자: 2008년 8월 26일

있는 여지가 거의 없다. 이 때문에 4세대 이동통신의 표준화를 앞두고 새로운 주파수 대역의 할당을 위한 정책적 쟁점이 예상되며, 기존 대역의 활용도를 극대화하기 위한 새로운 기술의 개발이 요구된다. 기존의 전파 관리 방식이 갖는 비효율성을 제거하기 위해서는 스펙트럼 할당 방식을 유연하게 할 필요가 있다. 즉 주파수, 시간, 위치 등에 따라 스펙트럼 접근 권한을 유연하게 조절하는 방식을 사용하면, 스펙트럼 이용 효율을 높일 수 있고 궁극적으로 스펙트럼 고갈 문제를 해결할 수 있다<sup>3-4)</sup>.

무선 인지(Cognitive Radio)는 기존의 무선통신 주파수 이용자에게 간섭 신호를 일으키지 않고 비어 있는 주파수를 검색하여 유휴 주파수 대역을 사용하는 기술로서, 이동통신 시스템 규격이 다양하고 할당되는 주파수들이 서로 다른 점을 고려할 때 이 기존 시스템과 다양한 사업자에게 할당된 주파수 대역에 구애 받지 않고 언제 어디서나 무선 채널을 접속하고 특정 채널을 임의로 선택하기 위한 Digital RF/IF의 실현은 필수적이라 할 수 있다. 또한 무선 인지는 비어있는 주파수를 사용하는 방식이므로, 주 사용자(Primary user)가 해당 주파수를 사용하고자 하면 주파수 사용을 중지하고 다른 주파수로 이동하더라도 사용자에게 끊임없는 서비스를 제공하는 방법이 필요하다<sup>5)</sup>.

SDR 기반의 다중 모드 단말기(multi-mode terminal)는 주파수 대역을 선택해야 하지만, 모든 이동통신 시스템은 각각의 시스템 특성과 역할을 가지고 있으므로 특정 시간 및 장소에서 특정한 서비스를 수행하기 위한 미사용 주파수 대역을 선택하는 것은 복잡한 문제이다. 본 논문에서는 이기종 시스템 환경에서 사용자 및 운영자의 다수의 미사용 주파수 대역 선택 요소(parameter)를 고려하여 일련의 미사용 주파수 대역을 선정함으로써 끊임없는 서비스를 위한 무선자원의 효과적 사용과 이기종 시스템의 트래픽 분배를 통한 가입자 수용 능력의 증대 방법을 제공하기 위한 퍼지 다기준 의사 결정(MCDM; Multi-Criteria Decision Making) 기반의 동적 주파수 할당 방법(Dynamic Spectrum Allocation(DSA) with Fuzzy MCDM)을 제안한다.

본 논문의 II장에서는 제안된 추론 구조를 기술하고, III장에서는 동적 주파수 할당 방법을 제안한다. IV장에서는 성능을 평가하기 위하여, 주파수 할당 실패율과 핸드오프 실패율을 분석하였다. 마지막으로 V장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 기술한다.

## II. 추론 구조

### 2.1 주파수 선정기

그림 1은 퍼지 기반의 주파수 선정을 위하여 본 연구에서 제안한 주파수 선정기 (Frequency Selector)의 추론 구조이다. 주파수 선정기는 관련 망과 연동하고, 사용자의 통신에 관한 모든 주변 상황을 인지하고 고려하며, 지능적으로 연산하여 사용자의 통신수요 및 요구 서비스에 적합한 주파수 자원의 할당 및 관리를 수행해야 한다. 주파수 선택 감시기(monitor for frequency selection)로부터 퍼지화 모듈 (fuzzification module)로 주파수 선정을 위한 컨텍스트 정보 (context information)가 입력되고 각 소속 함수(membership function)에 의하여 적절한 퍼지 입력 값(fuzzy input vector)으로 변환되며, 퍼지 추론 엔진(fuzzy inference engine)에서 퍼지 규칙(fuzzy rule base)을 이용하여 적절한 퍼지 제어량 (fuzzy output vector)을 결정한다. 마지막으로 이 퍼지 제어량은 비퍼지화모듈(defuzzification module)을 통하여 실질적으로 주파수 선정을 위한 적절한 값으로 변환된다.

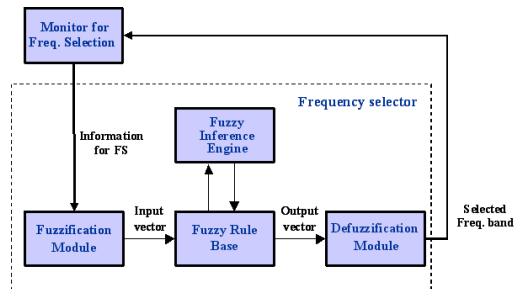


그림 1. 추론 구조

### 2.2 주파수 선정을 위한 컨텍스트 정보

본 연구에서는 부가 사용자(secondary user)가 특정 주파수 대역의 접속 요구 조건에 근거하여 주파수 대역을 선정한다. 특정 시스템에 접속하는 것이 아니라 그 시스템에 할당된 주파수를 일시적으로 점유하여 사용하므로 시스템 측면은 모두 배제한다. 따라서 전파 수신 감도, 데이터 전송률, 셀 부하, 그리고 가용 대역폭을 주파수 선택을 위한 파라미터로 사용한다. 이들 의사 결정 요소는 CR-기지국(Cognitive Radio-기지국)에서 주기적으로 감시하고 CR-기지국 내의 주파수 선택 모니터링 블록(monitor for frequency selection)에 입력된다. 그

표 1. 주파수 선택 요소와 그 요구 사항

주파수 선택 요소	요구 사항
전파 수신 감도 (S)	수신 신호 세기의 최대화
셀 부하 (L)	셀 부하의 최소화
데이터 전송률 (T)	데이터 전송량의 최대화
가용 대역 (B)	가용 대역의 최대화

구성 요소를 표 1에 보인다. 주파수 선정기는 요구 하는 데이터 전송량을 충족시키고, 잠재적으로 주 사용자가 신규 발생할 확률이 작으며, 충분한 가용 자원을 가진 기지국의 주파수 점유를 원칙으로 한다. 이는 빈번한 주파수 대역 변경에 따른 QoS 저하를 억제하고, 이를 통하여 끊임없는 서비스 (seamless service)를 제공하기 위한 것이다.

첫째로 부가 사용자의 전파 수신 감도이다. 이는 사용자의 현재 수신 신호 세기의 정도로서 우수한 신호의 질을 유지하기 위해서는 신호 세기가 높은 주파수 대역을 선정하는 것이 필요하다. 둘째로 검출된 주파수 대역의 주 사용자가 속한 기지국의 현재 셀 부하이다. 셀 부하가 높을 경우, 검출된 주파수 대역이 주 사용자에게 의하여 사용될 가능성이 높 아지므로 셀 부하가 작은 기지국의 주파수 대역을 점유하는 것이 끊임없는 서비스를 제공하기 위하여 필요하다. 셋째로 부가 사용자의 데이터 전송률이다. 이는 사용자의 데이터 요구량으로서, 데이터의 성격 이 실시간 또는 비-실시간 인지에 따라서 처리 방법을 달리할 수 있다. 실시간 데이터는 전송 동안 동 일한 대역폭이 필요하지만, 비실시간 데이터는 환경 에 따라서 좁은 주파수 대역폭에서는 전송률을 줄 일 수 있고, 시간이 지나면서 주파수 대역이 넓어지 면 전송량을 더욱 증가시켜 전송할 수 있다. 넷째로 기지국의 현재 사용 가능한 주파수 대역의 양이다. 가용 자원이 적을 경우, 주 사용자에게 의하여 점유될 가능성을 높이는 결과를 가져온다. 따라서 가용 자 원이 많은 기지국의 주파수 대역을 사용하는 것이 빈번한 주파수 대역 변경을 억제할 수 있다.

### III. 동적 주파수 할당 방법

제 III장에서는 주파수 선정기의 추론에 근거한 동적 주파수 할당 방법을 제시한다. 본 연구에서는 각각의 대안(alternatives)이 각 위치 결정 요소를 만족시키는 정도를 표현하기 위하여 의사 결정 매트릭스(decision matrix)를 사용하고, 평가할 문제에

대한 각 위치 결정 요소 중요성을 표현하기 위하여 가중치 벡터를 사용한다.  $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 를 위치 결정 요소  $C_j (j = 1, 2, \dots, 4)$ 에 의하여 평가되는 대안 이라고 정의하자. 각 대안들이 셀 선택 요소를 만족 시키는 정도를 표현하기 위하여 의사 결정 매트릭 스  $\mu$ 를 식 (1)과 같이 정의한다<sup>6-7)</sup>.

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_R(S_{11}) & \mu_R(L_{12}) & \mu_R(T_{13}) & \mu_R(B_{14}) \\ \mu_R(S_{21}) & \mu_R(L_{22}) & \mu_R(T_{23}) & \mu_R(B_{24}) \\ \mu_R(S_{31}) & \mu_R(L_{32}) & \mu_R(T_{33}) & \mu_R(B_{34}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_R(S_{n1}) & \mu_R(L_{n2}) & \mu_R(T_{n3}) & \mu_R(B_{n4}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $\mu_R$ 는 주파수 대역 선정 요소  $C_j (j = 1, 2, \dots, 4)$  를 갖는 후보 주파수 대역을  $A_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 의 언어 적 판단 결과를 나타낸다. 이는 VP(Very Poor), P(Poor), F(Fair), G(Good), VG(Very Good)의 언어 변수 집합으로 표현한다. 의사 결정 매트릭스에 사용 된 언어 변수 값의 퍼지 수는 그림 2와 같다.

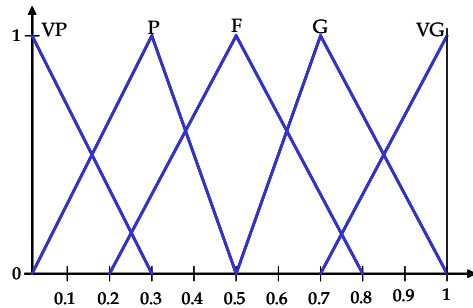


그림 2. 의사 결정 매트릭스를 위한 언어 변수 값의 퍼지 수

퍼지 집합 이론<sup>6)</sup>의 언어 변수 집합을 사용하여 위치 결정 요소의 중요도를 나타내는 가중치 벡터 를 정의한다.  $W_j$ 는 주파수 대역 선정 요소  $C_j (j = 1, 2, \dots, 4)$ 의 퍼지 가중치이다. 이는 LTI (Least important), LSI (Less important), I (Important), MEI (More important), MTI (Most important)의 언어 변수 집합으로 표현하며, 이를 사용하여 가중 치 벡터  $W$ 을 정의하면 식 (2)과 같다.

$$W = (w_1^S, w_2^L, w_3^T, w_4^B) \quad (2)$$

가중치 벡터  $W$ 에 속해있는 언어 변수 값의 소속 함수는 그림 3과 같다.

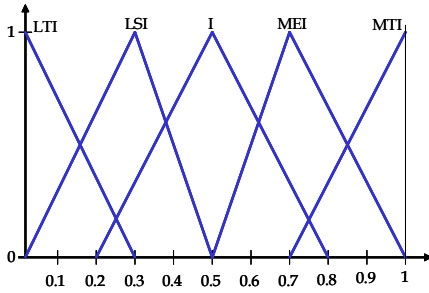


그림 3. 가중치 벡터  $W$ 를 위한 언어 변수 값의 퍼지 수

퍼지화 절차 (fuzzification procedure)를 통하여 성능 매트릭스 (performance matrix)  $\mu \in [0, 1]^{n \times m}$ 을 산출한다. 여기서 각 요소  $\mu_{nm}$ 은  $n$ -번째 대안 (alternative)이  $m$ -번째 기준치 (criterion)를 어느 정도 만족하는 가를 나타낸다. 그러므로 성능 매트릭스의 각 열은 모든 대안들의  $m$ -번째 기준치에 대한 만족도를 표현하는 퍼지 집합  $\mu_m$ 을 나타낸다<sup>6,7</sup>. 산출된 의사 결정 매트릭스에 가중치 벡터의 논리 곱으로서, 식 (3)의 성능 매트릭스를 산출한다.

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_R(S_{11}) \times w_1^S & \mu_R(L_{12}) \times w_2^L & \mu_R(T_{13}) \times w_3^T & \mu_R(B_{14}) \times w_4^B \\ \mu_R(S_{21}) \times w_1^S & \mu_R(L_{22}) \times w_2^L & \mu_R(T_{23}) \times w_3^T & \mu_R(B_{24}) \times w_4^B \\ \mu_R(S_{31}) \times w_1^S & \mu_R(L_{32}) \times w_2^L & \mu_R(T_{33}) \times w_3^T & \mu_R(B_{34}) \times w_4^B \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_R(S_{n1}) \times w_1^S & \mu_R(L_{n2}) \times w_2^L & \mu_R(T_{n3}) \times w_3^T & \mu_R(B_{n4}) \times w_4^B \end{bmatrix} \quad (3)$$

소속 정도 퍼지 집합을 순위화하기 위하여 GMV(generalized mean value)방법을 사용한다<sup>6</sup>. 가중화된 소속 정도  $m(\mu_n)$ 에 대한 GMV를 구하는 식은 식 (4)와 같다.

$$m(\mu_n) = \frac{(T_n + B_n)^2 - (S_n + L_n)^2 + S_n \cdot L_n - T_n \cdot B_n}{3 \cdot [(T_n + B_n) - (S_n + L_n)]} \quad (4)$$

여기서  $S_n = \mu_R(S_{n1}) \times W_1^S$ ,  $L_n = \mu_R(L_{n2}) \times W_2^L$ ,  $T_n = \mu_R(T_{n3}) \times W_3^T$ , 그리고  $B_n = \mu_R(B_{n4}) \times W_4^B$ 이다.

### IV. 시뮬레이션 및 결과

#### 4.1 시뮬레이션 파라미터

이동 단말기의 이동 경로와 이동 속도는 도로 구조에 의해 영향을 받으며 방향의 변화 및 속도의

변화는 이동 단말기의 이동 패턴을 지배한다. 이동 단말기의 유형에 따라 고속 이동 단말기와 저속 이동 단말기로 분류하였고 저속 이동 단말기는 60%, 즉 보행자는 정지 상태(50%)와 보행중인 상태(50%)로 분류하고 고속 이동 단말기는 40%로 가정하였다. 고속 MT의 이동 방향은 직진, 좌/우회전 그리고 U턴을 고려하였다. 경로 손실(path-loss)에 의한 평균 신호 감쇠는 전파 거리의 3.5 배에 비례하고 섀도잉(shadowing)은 6dB의 표준 편차를 갖는 log-normal 분포를 따른다. 그리고 수신 신호 세기가 -16dB 이하이면 수신 신호의 오류로 판단하여 평균 수신 신호 세기의 계산에서 제외한다.

멀티미디어 서비스는 다양한 지연 요구, 지속 시간, 전송률 등을 갖는다. 따라서 멀티미디어 세션에 대한 영향을 분석하기 위하여 전송률, 전송 지연, 그리고 패킷 손실률에 근거하여 표 2의 여섯 가지의 서비스를 고려하였다.

이동 단말기는 4개의 시스템에 허가된 주파수 대역에 접속 가능하다고 가정한다. 또한 자원은 서비스 수용을 위하여 자원을 일정 확보하고 있다고 가정한다. 본 연구에서는 평가 인덱스로서 전파 수신 감도, 셀 부하, 데이터 전송률, 그리고 가용 대역 등을 사용한다. 표 3에 평가 인덱스의 값을 보인다.

표 2. 멀티미디어 서비스

Application	Packet rate	Transmission delay	Packet loss rate
High Quality Voice	32k	150ms	0.5
VOD	10-20M	150ms	1
Image Conference	64-384k	150ms	1
www	< 2M	20s	0
Electronic Commerce	64-384k	4s	0
FTP	< 20M	10s	0

표 3. 기지국의 주파수 대역 평가 파라미터

평가 인덱스	Wibro	WiFi	W-LAN	Ad-Hoc
전파 수신 감도	0.5	1	0.7	0.3
셀 부하	0.6	0.5	0.8	0.3
데이터 전송률	150	30	200	100
가용 대역	1	0.3	0.7	0.8

#### 4.2 시뮬레이션 결과

그림 4는 전체적인 시뮬레이션 환경을 보이고 있다. 각 기지국의 잉여 주파수 대역을 확보하기 위하

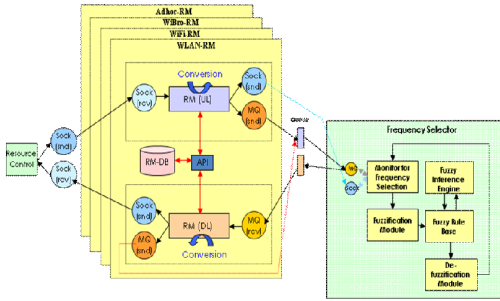


그림 4. 시뮬레이션 시나리오

여 4 개의 접속 망 지역이 중첩적으로 구성된다고 가정하며, 부가 사용자는 중첩 구조의 망 지역에서 서비스 수준을 제공받을 수 있다고 가정한다. 부가 사용자는 주파수 선정기의 수행 결과에 근거하여 선정된 주파수 대역을 점유한다. 메시지 큐가 신규 세션 및 핸드오버 요구를 위한 프리미티브(primitive)를 위하여 사용되고, RM-DB(resource manager-DataBase)는 접속 망의 자원 및 부하 등의 현재 상태 정보를 저장하고, 주파수 선택 감시기에 연결된다.

그림 5는 멀티미디어 세션의 수에 근거하여 주 사용자의 사용 정도를 변화시켜 얻은 결과이다. 그림 5의 범례에서 % 는 주사용자의 주파수 대역 점유율을 의미한다. 멀티미디어 세션의 수가 증가할수록, 주파수 사용량과 같은 통계적 방식을 사용하여 주파수를 선정(DSA with statistical analysis)하는 방식<sup>[8]</sup>(즉 주 사용자의 주파수 대역 점유율을 50%로 설정하는 경우)에 비하여 주파수 할당 실패율이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 주파수 선택 시, 주 사용자의 대역폭 점유로 인한 빈번한 주파수 대역 변경을 억제하기 위하여 주 사용자의 주파수 점유 확률이 낮은 주파수 대역을 선정하고 가용 자원이 많은 기지국의 주파수 대역을 선정함으로써, 주파수 할당 시도 횟수를 줄인 결과이다.

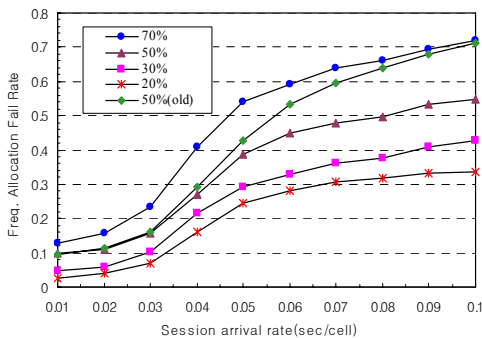


그림 5. 주파수 할당 실패율 비교

그림 6과 7은 부가 사용자의 이동성을 추가하여 각 서비스의 핸드오프 실패율을 평가한 결과이다. 그림 6에서 보듯이, 제안된 방법은 이동 단말기가 다른 셀로 변경될 경우 계층화된 각각의 지연이나 손실 등의 지속적인 모니터링과 미사용 주파수 대역 선택 요소의 고려를 통하여, 주파수 대역을 선정하여 할당함으로써 끊임없는 서비스를 위한 무선자원의 효과적 사용을 가능케 할 수 있다. 신호 세기 기반의 스펙트럼 할당 방식에 비하여, 세션의 수가 증가할수록 핸드오프 실패율이 0.6-0.8 정도 감소함을 알 수 있다.

그림 7과 같이 사용자 수의 증가에 따라, 비-실시간 서비스(FTP)와 실시간 서비스(VOD)의 핸드오프 실패율의 차이가 발생한다. 비-실시간 서비스의 경우, 지연에 둔감하므로 연결 요구와 데이터를 일시적으로 큐잉(queuing)하여 저장함으로써 주파수 대역의 반복적인 요구가 가능하다. 반면에 지연에 민감한 실시간 서비스는 주파수 재 요구 절차를 수행할 수 없고 이는 핸드오프 실패율의 증가를 가져온다. 또한 실시간 서비스는 핸드오프 시, 동일한 대역폭의 할당이 필요한 반면에, 비-실시간 서비스는 핸드오프 셀의 상태에 따라서 낮은 주파수 대역폭으로 전송률을 줄여서 핸드오프하고, 후에 주파수 대역이 넓어지면 전송량을 증가시켜 전송할 수 있으므로 핸드오프 실패율을 감소시킬 수 있다.

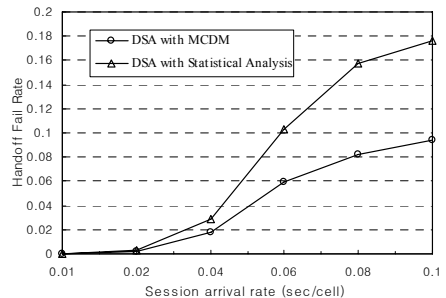


그림 6. 핸드오버 실패율 비교

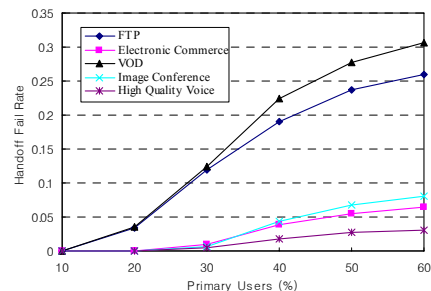


그림 7. 세션 종류 별 핸드오버 실패율 비교

## V. 결 론

무선 인지는 비어있는 주파수를 사용하는 방식이기 때문에, 만일 주 사용자가 해당 주파수를 사용하고자 하면 이의 사용을 중지하고 다른 주파수로 이동하여야 하기 때문에 사용자에게 끊임없는 데이터 서비스를 제공하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 사용자의 전파 수신 감도 상태나 셀 부하, 데이터 전송률, 셀 부하 등을 기반으로, 멀티미디어 서비스의 QoS를 제공할 수 있게 하기 위하여 최적의 주파수 대역을 할당하는 방법을 제시하였다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 주파수 할당 실패율, 핸드오프 실패율을 주요 성능 척도로 규정하고, 수신 감도를 기반으로 일정 규칙에 따라 자원을 선정하는 기존의 방법과 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 의하면 기존의 방법에 비하여 성능이 우수함을 확인하였다. 다만, 사용자 수가 증가하면 실시간 서비스의 핸드오프 실패율이 과도하게 증가하므로, 실제 시스템에서는 이에 대한 적절한 파라미터가 고려되어야 하며, 실제 시스템 구축 시에는 주파수 대역 중 실시간 서비스에 대한 예약 가능 용량의 비율을 선정하는 것이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia communications," Mobile Networks and Applications, Vol.6, part5, pp.435-442, 2001.
- [2] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," IEEE J. Select. Areas Commun, Vol.23, No.2, Feb, 2005.
- [3] D. Cacic, S. M. Mishra, R. W. Brodersen, "Implementation Issues in Spectrum Sensing for Cognitive Radios", 38th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Nov, 2004.
- [4] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," IEEE J. on Select. Areas in Commun., Vol.23. No.2, pp.201-220, Feb, 2005.

- [5] Carl Stevenson, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard", IEEE 802.22 Draft, Feb, 2006.
- [6] C. Naso and B. Turchiano, "A Fuzzy Multi-Criteria Algorithm for Dynamic Routing in FMS," IEEE ICSMC'1998, Vol.1, pp.457-462, Oct. 1998.
- [7] C. H. Yeh and H. Deng, "An Algorithm for Fuzzy Multi-Criteria Decisionmaking," IEEE ICIPS'1997, pp.1564-1568, 1997.
- [8] ACC Hsu, DSL Wei, CCJ Kuo, "A Cognitive MAC Protocol Using Statistical Channel Allocation for Wireless Ad-hoc Networks," IEEE WCNC 2007, March 2007.

이 문 호 (Moonho Lee)

정회원



서울대학교 공과대학 공학사  
 숭실대학교 공학석사(전산공학)  
 숭실대학교 공학박사(전자계산)  
 한국전자통신연구원 연구원  
 현대전자(주) 과장  
 청운대학교 멀티미디어학과 교수  
 <관심분야> 차세대 이동통신,

무선 멀티미디어, QoS Management

이 종 찬 (Jongchan Lee)

정회원



1994년 2월 군산대학교 전자계산학과 학사  
 1996년 8월 숭실대학교 컴퓨터과학과 석사  
 2000년 8월 숭실대학교 컴퓨터과학과 박사

2000년 10월~2005년 4월 한국

전자통신연구원 선임연구원

2005년 4월~현재 국립군산대학교 컴퓨터정보공학과 조교수

<관심분야> 차세대 이동통신, 센서 네트워크, 무선 멀티미디어