

무선 인지 기반 시스템에서 QoS 보장 동적 주파수 할당

A Dynamic Frequency Allocation for Provisioning QoS in Cognitive Radio System

이문호*, 이종찬**

*청운대학교 멀티미디어학과, **군산대학교 컴퓨터정보학과

ABSTRACT

Radio wave is the valuable resources in 21st century. It will be widely used in various applications such as DMB, USN, telematics, and home network as well as mobile and wireless communications. Cognitive Radio technology is devised to maximize the utilization of radio resources by sensing near-by spectrum and dynamic and allocating free resources dynamically and adaptively. Wireless links for the secondary user need to be frequently switched to idle frequencies during the transmission of multimedia data in the cognitive radio based system. This may cause delay and information loss, and QoS degradations occur inevitably. The efficient frequency allocation scheme is necessary to support the seamless multimedia service to the secondary user while maintaining QoS of the primary user. This paper suggests a frequency selection scheme which considers other parameters such as cell load, data rate, and available bandwidth than just received signal strength during the frequency selection process. The performance of our proposed scheme is analyzed by simulation.

1. 서론

21 세기 정보화 사회에서는 무선통신의 발전에 따라 주파수자원이 국가의 소중한 무형자산으로서 그 가치가 커지고 있다. 우리나라의 무선통신기술은 아날로그 세대에는 매우 제한적으로 사용되었으나 CDMA 이동통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하였다. 이동통신, 디지털 멀티미디어방송(DMB), 뿐만 아니라, 센서 네트워크 (USN), 텔레매틱스, 홈 네트워크 등의 다양한 용도로 전파를 이용하게 될 유비쿼터스 시대에는 주파수자원에 대한 수요가 공급에 비해 매우 많기 때문에 주파수 부족현상이 심각하게 된다. 반면 실제 분배된 주파수의 이용효율을 측정해보면 이용효율이 평균적으로 30%이하로 나타나고 있다[1]. 독점적으로 사용하던 전파의 효율성을 높이는 방법으로 전파의 유연한 이용을 위한 연구가 진행되어 왔다. SDR (Software Defined Radio) 기술[2]은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 광대역 신호처리가 가능한 하드웨어를 토대로 소프트웨어를 다운로드 받아서 다양한 기능을 수행하는 기술이다. 반면에 인지기술은 주변의 정보를 지속적으로 수집하여 스스로 학습하면서 주변 상황에 따라 대처하는 기술이다[3][4]. 이러한 두 기술이 결합되어 탄생된

Cognitive Radio (CR : 무선인지)는 주변의 스펙트럼을 감지하여 비어 있는 채널 정보를 활용하여 통신을 하는 기술로서 우선 사용자가 해당 주파수를 사용하는 경우에는 우선사용자에게 간섭을 주지 않고 다른 주파수 대역으로 옮겨서 통신을 한다. 이 때문에 부가 사용자가 현재의 주파수 사용을 중지하고 다른 주파수로 이동하더라도 이 사용자에게 끊김 없는 서비스를 제공할 수 있는 방안이 요구된다[5][6]. 각각의 이동통신 시스템은 고유의 특성을 가지고 있으므로 다중 모드 단말기가 특정 시간 및 장소에서 특정 서비스의 수행에 필요한 미사용 주파수 대역을 선택하는 것은 복잡한 문제이다. 본 논문에서는 이기종 시스템 환경에서 미사용 주파수 대역을 선정함에 있어 다양한 요소들을 고려함으로써, 끊김 없는 서비스를 제공하면서도 무선자원의 효율적 사용과 이기종 시스템간의 적절한 트래픽 배분을 통해 가입자 수용 능력을 증대시킬 수 있는 동적 주파수 할당 기법을 제안하고자 한다.

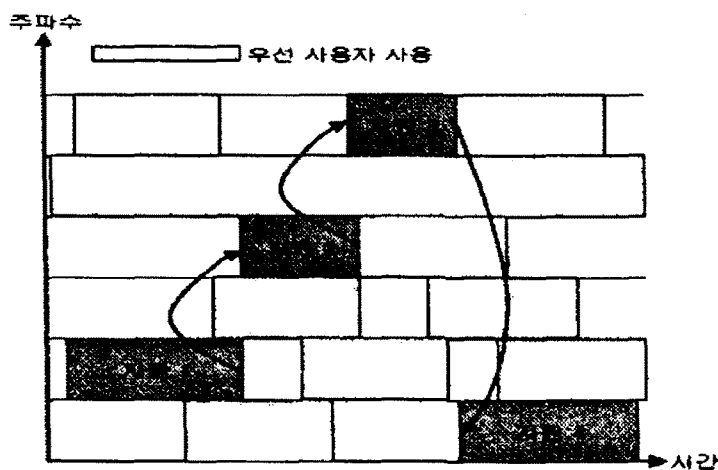
본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 CR 기술에 대한 간략한 고찰과 본 논문에서 제안하는 추론 구조에 대해 기술한다. 3 장에서는 2 장에서 기술한 개념에 기반으로 하여 본 논문에서

제안하는 동적 주파수 할당 방법에 대해 기술한다. 4 장에서는 주파수 할당 실패율과 핸드오프 실패율을 성능 척도로 하여 제안된 방법의 성능을 분석한다. 마지막으로 5 장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 기술한다.

2. CR 기술과 퍼지기반 추론구조

CR 기술은 장치가 있는 주변의 스펙트럼을 감지하여 비어 있는 채널 정보를 활용하여 통신을 하는 기술이며 주 사용자가 해당 주파수를 사용하는 경우에는 언제든지 주사용자에게 간섭을 주지 않고 다른 주파수 대역으로 옮겨서 통신을 한다. 이러한 기능을 위하여 CR 장치는 특정 주파수를 사용하는 동안에도 주기적으로 **quiet period** 를 두어 해당 주파수에 대해 주 사용자의 사용 여부를 측정하여야 한다.

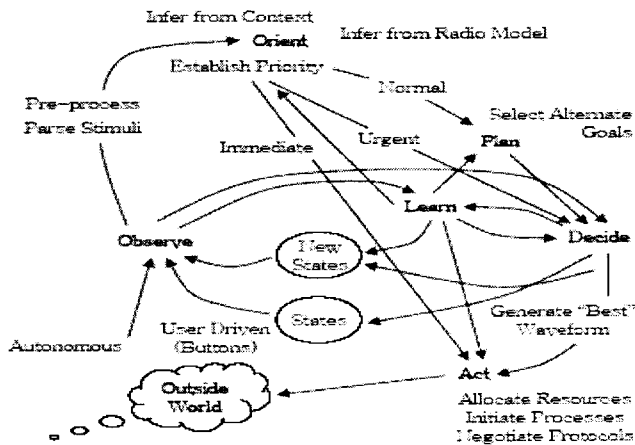
<그림 1>은 CR 장치가 스펙트럼을 측정하여 사용 가능한 주파수 목록을 바탕으로 통신하는 과정을 묘사하고 있다. 이와 같이 CR 장치는 비어 있는 대역폭에 따라서 적응적으로 통신하고, 또한 출력이나 전송방식 등을 주변의 환경 정보를 이용하여 스스로 제어한다.



<그림 1> Cognitive Radio 에서의 동적 주파수 선택

<그림 2>는 CR 장치가 동작하는 과정을 나타낸다. CR 장치는 주기적으로 외부 환경을 관측한다. 이 관측 단계에서 수집된 정보를 분석하여 통신의 긴급성을 판단한다. 예를 들어 휴대폰 사용자가 건물 안으로 진입하여 현재 통신하는 신호가 갑자기 약해질 경우에는 현재의 상태를 저장하든지 아니면 가용한 채널(예를 들면 WLAN)로 핸드오프하여 통신하는 방법을

모색하여야 한다. 이러한 일을 하는 단계가 orient stage 이다. 시간적으로 긴급하지 않은 정상적인 경우에는 계획 (plan) 단계를 거쳐 자원을 할당하고 (decide) 통신을 수행한다 (act). 이러한 사이클을 통하여 측정된 새로운 정보와 기존에 가지고 있는 정보를 활용, 학습 알고리즘을 통하여 후보 주파수 등의 여러 파라미터들을 갱신한다[1].



<그림 2> Cognitive Radio 에서의 인지 사이클

본 장에서는 이러한 파라미터들과 퍼지기법을 활용하여 주파수를 선정하기 위한 추론구조에 대하여 기술한다.

본 논문에서 제안하는 퍼지기반 주파수 선정 메커니즘의 첫 번째 구성요소에서는 관련 망들과 연동하여 사용자의 통신에 관련된 주변 상황을 인지하고, 지능적으로 연산하여 사용자의 통신 수요 및 요구 서비스에 적합한 주파수 자원의 할당 및 관리를 수행해야 한다. 여기서 얻어진 컨텍스트 정보들이 주파수 선정을 위한 퍼지화 모듈로 입력되고 각 소속 함수에 의하여 적절한 퍼지 입력 값으로 변환되며,

퍼지 추론 엔진에서 퍼지 규칙을 이용하여 적절한 퍼지 제어량을 결정한다. 마지막으로 이 퍼지 제어량은 비퍼지화 모듈을 통하여 실질적으로 주파수 선정을 위한 적절한 값으로 변환된다. 본 연구에서는 부가 사용자가 특정 주파수 대역의 접속 요구 사항에 근거하여 주파수 대역을 선정한다. 특정 시스템에 접속하는 것이 아니라 그 시스템에 할당된 주파수를 일시적으로 점유하여 사용하므로 시스템 내부 측면은 배제하며 전파 수신 감도, 데이터 전송률, 셀 부하, 그리고 가용 대역폭을 주파수 선택을 위한 파라미터로

이용한다. 이들 파라미터는 CR 기지국에서 주기적으로 감시하고 CR 기지국 내의 주파수 선택 모니터링 블록에 입력된다. 그 요소들은 다음과 같다.

- 부가 사용자의 전파 수신 감도, 즉 사용자의 현재 수신 신호 세기
- 부가 사용자의 데이터 전송률, 즉 사용자의 데이터 요구량으로서 실시간성 여부
- 검출된 주파수 대역의 주 사용자가 속한 기지국의 현재 호 도착율
- 기지국의 현재 사용 가능한 주파수 대역의 양

3. 동적 주파수 할당 방법

추론에 근거한 동적 주파수 할당 방법을 제시하기 위하여 의사 결정 매트릭스와 가중치 벡터를 사용한다. $A_i (i=1,2,\dots,n)$ 를 위치 결정 요소 $C_j (j=1,2,\dots,4)$ 에 의하여 평가되는 대안이라고 정의하면 각각의 대안들이 주파수대역 선택 요소를 만족시키는 정도를 표현하기 위한 의사 결정 매트릭스 μ 는 식 (1)과 같이 정의된다[7][8].

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_R(S_{11}) & \mu_R(L_{12}) & \mu_R(T_{13}) & \mu_R(B_{14}) \\ \mu_R(S_{21}) & \mu_R(L_{22}) & \mu_R(T_{23}) & \mu_R(B_{24}) \\ \mu_R(S_{31}) & \mu_R(L_{32}) & \mu_R(T_{33}) & \mu_R(B_{34}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_R(S_{m1}) & \mu_R(L_{m2}) & \mu_R(T_{m3}) & \mu_R(B_{m4}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, μ_R 는 주파수 대역 선정 요소 $C_j (j=1,2,\dots,4)$ 를 갖는 후보 주파수 대역을 의미하며 $A_i (i=1,2,\dots,n)$ 는 언어적 판단 결과를 나타낸다. w_j 는 위치 결정

요소 $C_j (j=1,2,\dots,4)$ 의 퍼지 가중치이며 이를 사용하여 가중치 벡터 W 을 정의하면 식 (2)과 같다.

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

퍼지화 절차를 통하여 성능 매트릭스 (performance matrix) $\mu \in [0,1]^{n \times m}$ 를 산출한다. 여기서 각 요소 μ_{im} 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 μ_m 을 나타낸다[7][8]. 산출된 의사 결정 매트릭스에 가중치 벡터의 논리곱으로서, 식 (3)의 성능 매트릭스를 산출한다.

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

소속 정도 퍼지 집합을 순위화하기 위하여 GMV(generalized mean value)방법을 사용한다[12]. 가중화된 소속 정도 $m(\mu_n)$.

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

여기서 $S_n = \mu_R(S_{n1}) \times w_1^S$,
 $L_n = \mu_R(L_{n2}) \times w_2^L$, 그리고
 $T_n = \mu_R(T_{n3}) \times w_3^T$,
 $B_n = \mu_R(B_{n4}) \times w_4^B$ 이다.

4. 성능평가

4.1 시뮬레이션 파라미터

제안된 방법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며 이동 단말기는 4개의 시스템에 허가된 주파수 대역에 접속 가능하다고 가정한다. 또한 자원은 서비스 수용을 위하여 자원을 일정 확보하고 있다고 가정한다. 각 기지국의 잉여 주파수 대역을 확보하기 위하여 4개의 접속 망 지역이 중첩적으로 구성된다고 가정하며, 부가 사용자는 중첩 구조의 망 지역에서 서비스 수준을 제공받을 수 있다고 가정한다. 주파수 대역 선택 요소로서 전파 수신 감도, 셀 부하, 데이터 전송률, 그리고 가용 대역을 사용한다. 이동속도에 따라 이동 단말기의 유형을 고속의 이동 단말기와 저속의 이동 단말기로 분류하였고 저속 이동 단말기는 60%, 즉 보행자는 정지 상태(50%)와

에 대한 GMV 를 구하는 식은 식 (4)와 같다.

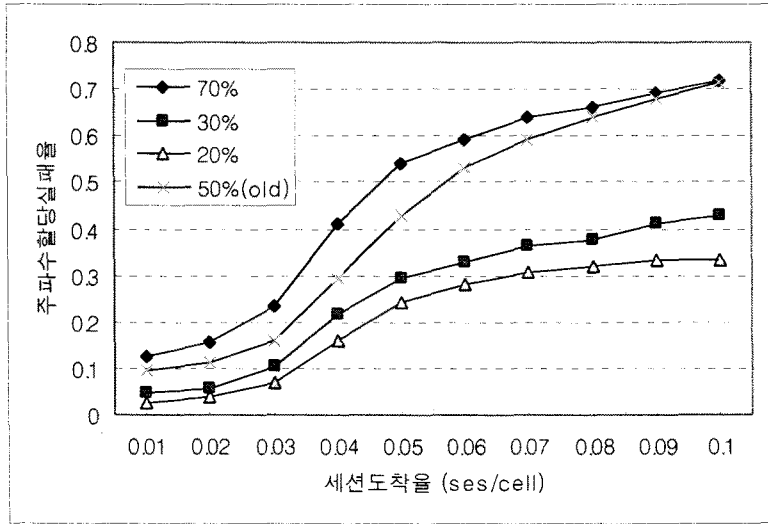
보행중인 상태(50%)로 분류하고 고속 이동 단말기는 40%로 가정하였다. path-loss에 의한 평균 신호 감쇠는 전파 거리의 3.5 배에 비례하고 shadowing은 6dB의 표준 편차를 갖는 log-normal 분포를 따르는 것으로 가정하고 수신 신호 세기가 -16dB 이하이면 수신 신호의 오류로 판단하여 평균 수신 신호 세기의 계산에서 제외한다. 멀티미디어 서비스는 지연 요구, 지속 시간, 전송률 등에 따라 다양한 특성을 가지므로 멀티미디어 세션에 대한 영향을 분석하기 위하여, 세션 지속 시간, 전송률, 에 따라 고품질 음성통신, 화상회의, VOD, FTP 등 네 가지의 서비스를 고려하였으며 각각 서비스가 요구하는 전송률은 32Kbps, 64-384 Kbps, 10-20 Mbps, 20 Mbps, 전송지연은 150ms, 150ms, 150ms, 10s 이고 패킷손실률 (%)은 0.5, 1, 1, 0 이라고 가정하였다.

4.2 성능분석

<그림 3>은 멀티미디어 세션의 수의 변화에 따른 주파수 할당 실패율을 보인다. <그림 3>의 범례에서 % 는 주사용자의 주파수 대역 점유율을 의미한다. 멀티미디어 세션의 수가 증가할수록, 주파수 사용량과 같은 통계적 방식에 의한

주파수 선정 방식[9](즉 주 사용자의 주파수 대역 점유율을 50% 로 설정하는 경우)에 비하여 본 논문에서 제안하는 주파수 선정 방식의 주파수 할당 실패율이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 주파수 선택 시, 주 사용자의 주파수 점유 확률이

낮은 주파수 대역을 선정하고 가용 자원이 많은 기지국의 주파수 대역을 선정함으로써, 주 사용자의 대역폭 점유로 인한 빈번한 주파수 대역 변경을 억제하여, 주파수 할당 시도 횟수를 줄인 결과이다.

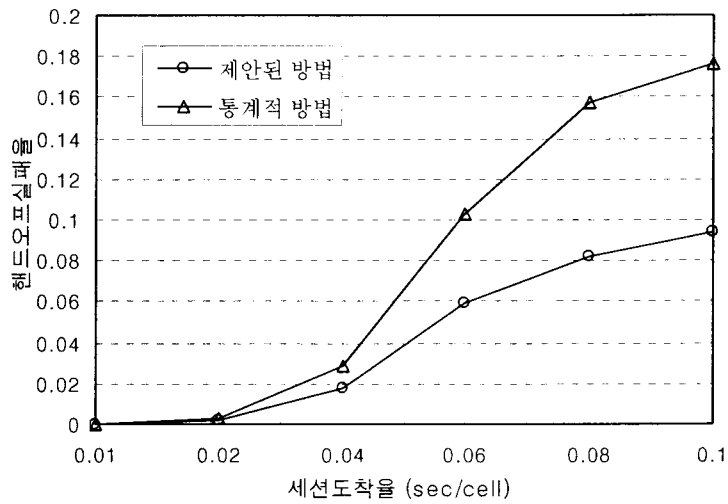


<그림 3>. 주파수 할당 실패율

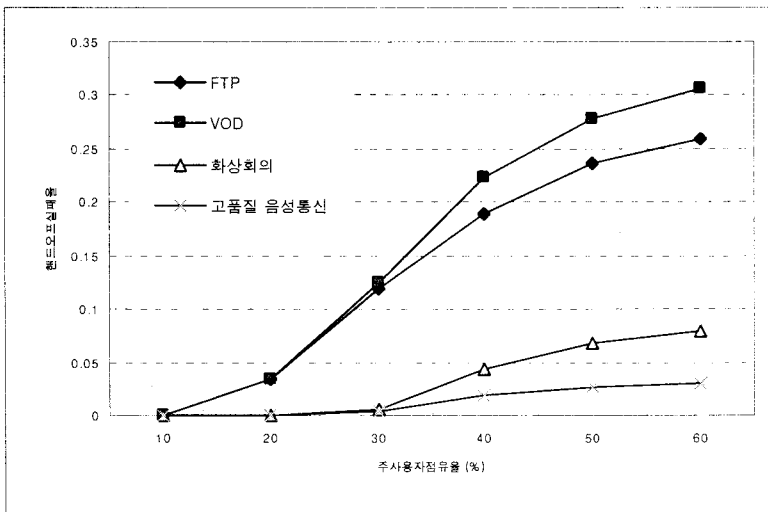
핸드오프 실패율을 평가한 결과이다. <그림 4>에서 보듯이, 제안된 방법은 이동 단말기가 다른 셀로 변경될 경우 계층화된 각각의 지연이나 손실 등의 지속적인 모니터링과 미사용 주파수 대역 선택 요소(parameter)의 고려를 통하여, 주파수 대역을 선정하여 할당함으로써 끊임 없는 서비스를 위한 무선자원의 효과적 사용을 가능케 할 수 있다. 신호 세기 기반의 스펙트럼 할당 방식에 비하여, 세션의 수가 증가할수록 핸드오프 실패율이 0.6-0.8 정도 감소함을 알 수 있다.

<그림 5>와 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 4>. 핸드오프 실패율 비교



<그림 5>. 세션 종류 별 핸드오프 실패율

5. 결론

무선 인지 시스템에서는 주 사용자가 해당 주파수를 사용하고자 하면 부가사용자는 이의 사용을 중지하고 다른

주파수로 이동하여야 하는데 이와 같은 주파수 이동이 빈번하게 이루어질 경우 전송지연이나 손실에 의한 QoS 저하를 최소화하여 부가 사용자에게도 끊임 없는 데이터 서비스를 제공하기 위한 방안이

필요하다. 본 논문에서는 부가 사용자를 위한 주파수 선정 과정에서 수신 전파 세기 뿐만 아니라 셀 부하, 데이터 전송률, 가용 대역 등을 고려하여 최적의 주파수 대역을 할당하는 방법을 제안하고 시뮬레이션에 의하여 기존 방법에 비하여 제안된 방법의 성능이 우수함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 김창주, "Cognitive Radio 기술동향",
전자통신동향분석 제 21 권 제 4 호,
한국전자통신연구원
pp. 62-69, 2006 년 8 월
- [2] J. Mitola and G. Maguire, "Cognitive Radio:
Making software radio more personal," *IEEE
Personal Communication*, Vol. 6, no. 4, pp.
13-18, Aug, 1999
- [3] J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible
Mobile Multimedia Communications,"
IEEE Mobile Multimedia Conference, pp.
3-10, 1999.
- [4] J. Mitola III, Cognitive Radio: An Integrated
Agent Architecture for Software Radio
Architecture, Ph. D Dissertation, Royal
Institute of Technology(KTH), May, 2000.
- [5] S. Haykin, "Cognitive Radio:
Brain-Empowered Wireless
Communications," *IEEE Journal on Selected
Areas in Communications*, vol. 23, no. 2,
pp.201-220, Feb., 2005.
- [6] Carl Stevenson, "Functional requirements for
the 802.22 WRAN standard," *IEEE 802.22
Draft*, Feb., 2006.
- [7] C. Naso and B. Turchiano, "A Fuzzy
Multi-Criteria Algorithm for Dynamic
Routing in FMS," *Proceedings of IEEE
ICSMC'1998*, vol. 1, pp. 457-462, Oct.,
1998.
- [8] C. H. Yeh and H. Deng, "An Algorithm for
Fuzzy Multi-Criteria Decision-making,"
Proceedings of IEEE ICIPS'1997, pp.
1564-1568, 1997.
- [9] A.C.C. Hsu, D.S.L. Wei, and C.C.J. Kuo, "A
Cognitive MAC Protocol Using Statistical
Channel Allocation for Wireless Ad-hoc
Networks," *Proceedings of IEEE WCNC
2007*, March 2007.