

무선 인지 네트워크를 위한 통계적 연결수락제어 기법

준회원 박래혁*, 정회원 김기홍*, 황성호*, 종신회원 조성래*

Statistical Admission Control Scheme for Cognitive Radio Networks

Laihyuk Park* *Associate Member*, Kihong Kim*, Sungho Hwang* *Regular Members*,
Sungrae Cho* *Lifelong Member*

요약

주파수 대역의 한계성과 최근 무선기기 사용 급증으로 인하여 기회적으로 주파수를 사용할 수 있는 무선인지 네트워크 기술이 최근 각광받고 있다. 이러한 무선인지 네트워크의 MAC관련 기술은 라이선스를 보유하고 있는 1차 사용자에게 대한 간섭을 최소화 하는데 그치고 있으며, 라이선스를 보유하지 않고 기회적으로 네트워크를 사용하는 2차 사용자의 끊임이 없는 통신을 보장하는 연구는 부족한 현실이다. 본 연구에서는 연결수락제어를 통하여 1차의 간섭을 최소화시키면서 2차 사용자의 안정적인 채널사용을 보장하는 기법을 제안한다. 성능분석을 통하여 제안된 연결수락제어 기법이 1차 사용자의 접근 차단률을 1/40 이상 줄이고 2차 사용자에게 대해서는 90% 이상 끊임이 없는 서비스 보장뿐만 아니라 우수하고 안정적인 Throughput을 제공함을 증명하였다.

Key Words : Cognitive Radio Networks, Admission Control, Medium Access Control, MAC

ABSTRACT

Heavy utilization of a certain portion of spectrum results from significant competence of the free spectrum such as ISM (industrial, scientific, and medical) bands. This spectrum scarcity introduces cognitive radio (CR) concept. Existing cognitive radio MAC protocols have only focused on avoiding primary user's service interruption. However, their approaches have not taken into account secondary users' seamless transmission. A way of guaranteeing secondary users' QoS has remained a unsolved challenges. In this paper, we propose an admission control scheme to guarantee secondary user's QoS. The proposed admission control scheme exploits primary users' arrival pattern and guarantee primary as well as secondary user's seamless transmission. Through performance evaluation, we have shown that the proposed admission control scheme can effectively reduce primary users' blocking probability by 1/40 or more, and improve the secondary users' seamless communication by 90% and thus provide stationary throughput.

1. 서론

미국을 비롯한 세계 여러 나라의 무선 자원 관리 정책은 계약기간동안 사용자들에게 주파수에 대한 사용 권리인 라이선스 (License)를 발급함으로써, 외부

의 간섭으로부터 보호 받을 수 있도록 되어왔다. 현재 대부분의 주파수 대역에는 라이선스가 발급되어 있는 상태이기 때문에, 새로운 기술이 무선 환경을 사용하기 위해서는 라이선스를 필요로 하지 않는 주파수 대역에서의 경쟁이 심화되었다. 한편, 라이선스가 발급

※ 이 논문은 2007년도 교육인적자원부 학술연구조성사업비로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음. (NRF-331-2007-1-D00383)

* 중앙대학교 컴퓨터공학부 (srcho@cau.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-06-244, 접수일자 : 2010년 6월 1일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 15일

된 UHF, VHF와 같은 주파수 대역은 CATV, IPTV 등의 발달로 인하여 사용이 미미하게 되었다. 이러한 비효율적인 주파수활용을 타개하기 위하여 무선인지 네트워크 (CR: Cognitive Radio) 기술이 제안되었다^[1]. 무선인지 네트워크 기술은 라이선스를 보유하고 있는 사용자인 1차사용자에게 영향을 주지 않고 라이선스를 보유하지 않은 무선인지 네트워크 사용자인 2차사용자가 전파자원을 기회적으로 사용하는 기술이다.

현재까지 연구된 무선인지 네트워크 관련한 기술은 1차 사용자에게 영향을 주지 않는 방향으로 개발되었으나 2차 사용자의 끊임이 없는 (Seamless) 서비스를 고려한 채널할당 정책에 관한 연구는 아직 미미한 단계이다. 따라서 본 논문에서는 연결수락제어 기법을 통하여 1차 사용자에게 영향을 주지 않고 2차 사용자의 끊임이 없는 서비스를 보장할 수 있는 무선인지 네트워크 채널할당 정책을 제안하고자 한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 기존에 제안된 무선인지 네트워크 MAC 관련 기술 및 연결수락제어 기법에 대하여 기술하고, 3장에서는 무선인지 네트워크를 위한 연결수락제어기법을 제안하고, 4장에서는 제안된 기법에 대한 성능 평가 및 분석을 한다. 마지막으로 5장에서는 결론으로 논문을 맺는다.

II. 관련 연구 및 동향

무선인지 네트워크의 MAC 계층 기법에서는 다양한 주파수 공유 기술들이 제안되었으며 그 기본적인 개념은 다음과 같다^[2].

무선기기가 통신이 필요할 경우, 주파수 대역에서 기회를 탐색한다.

사용하지 않고 비어 있는 주파수 대역이 있을 경우 주파수 대역을 사용하되, 1차 사용자에게는 간섭을 주어서는 안 된다.

하지만 이러한 기술들은 기존에 채널을 사용하고 있는 2차사용자의 서비스 품질에 대하여는 고려하지 못하였다. 향후 홈네트워크 등의 다양한 환경에서 무선인지 네트워크는 각광을 받을 것으로 기대되며 그 중 HD급의 스트리밍 서비스 등의 연결지향적 서비스에서 2차사용자의 끊임없는 연결은 반드시 필요한 기술이다. 이를 위하여 연결수락제어기법은 2차사용자의 안정적인 서비스 제공을 보장할 것으로 기대한다.

최근 무선인지 네트워크를 위하여 제안된 연결수락제어기법들^[3-5]은 다음과 같다. [3]에서는 전송파워 제어 통한 연결수락기법이 제안되었다. 이 기법에서는 별도의 제어채널을 활용하여 2차사용자들의 전송파워

를 제어하게 함으로써 2차사용자의 연결을 통제한다. 이 기법은 1차 사용자에게 미치는 영향을 최소화하는데 목적을 두기 때문에 기존의 2차사용자에 대한 안정적 연결을 보장하지 못하는 단점이 있다. [4]에서는 빔포밍 (Beamforming)을 사용하는 연결수락제어기법이 제안되었다. 2차 사용자가 빔포밍을 사용할 경우 공간적으로 1차 사용자에 대한 간섭을 줄일 수 있으므로 2차사용자의 전송범위가 1차 사용자의 SINR (Signal Interference to Noise Ratio) 요구사항을 만족시킬 경우 연결을 수락하는 기법이 제안되었다. 이 기법에서는 빔포밍을 통한 1차 사용자에 대한 간섭회피에 초점을 두고 있으며 2차 사용자의 끊임없는 서비스 연결을 보장하지 않는다. [5]에서는 1차 사용자에 대한 간섭확률 계산을 통한 연결수락제어 기법이 제안되었다. 이 기법에서는 2차 사용자는 채널 상의 에너지 검출을 통하여 1차 사용자의 채널 사용에 대한 ON-OFF모형을 구성한다. 이를 통하여 2차 사용자는 1차 사용자에 대한 간섭확률을 계산하여 연결수락을 제어한다. 이 논문에서 2차 사용자는 1차 사용자와의 간섭을 최소로 하는 확률계산을 통하여 연결수락을 제어하기 때문에 기존 2차 사용자와의 간섭은 고려하지 않는다.

상기 논문들은 앞에서 기술한 바와 같이 기존의 2차 사용자에 대한 보호가 없으므로 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 예를 들어 1차 사용자의 출현이 발생하면 해당 채널을 점유 중인 2차사용자는 다른 채널로 이관해야하는 요구사항을 가진다. 이때 이관이 가능한 채널이 없으면 2차 사용자는 서비스를 중단해야 하므로 기존의 2차 사용자는 끊임없는 서비스가 불가능한 상황이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 2차 사용자의 채널 할당 시 1차 사용자의 출현을 예측하고 여분의 채널을 확보할 수 있는 방안으로서, 연결수락제어를 사용하여 2차 사용자의 끊임이 없는 서비스를 보장하고자 한다. 기존의 무선인지 네트워크의 연결수락제어 연구는 1차 사용자의 접근차단에 초점을 맞췄지만 본 논문에서 제안하는 연결수락제어기법은 1차 사용자의 접근차단 뿐만 아니라 2차 사용자의 서비스 보장에도 초점을 맞춘다.

III. 연결수락제어 기법

본 장에서는 본 논문에서 제안한 연결수락제어 기법에 대한 시스템 모델을 기술하며, 이를 통한 연결수락정책 및 연결수락제어를 위한 파라미터를 설명한다. 제안하는 연결수락제어 기법의 기본적인 아이디어

는 1차 사용자의 채널 점유 통계를 활용하여 1차 사용자의 출현을 예측하고, 예측을 통하여 기존 2차 사용자의 서비스를 보장하는 것이다.

3.1 시스템 모델

본 절에서는 연결수락제어 기법 개발을 위하여 사용될 시스템 모델에 대하여 기술한다.

3.1.1 네트워크 구성 및 가정

본 연구의 네트워크 구성은 그림1과 같이 2차 사용자들을 위한 한 개의 BS (Base Station)와 N 개의 CPE (Customer Premise Equipment)로 구성된 1-Hop 네트워크로 가정한다. 또한 2차 사용자들은 1차 사용자가 보유한 채널을 공유하지만 2차 사용자들과 1차 사용자들이 사용하는 네트워크 구성 및 프로토콜이 서로 상이하다고 가정한다. 다음은 네트워크 구성을 위하여 사용되는 변수들이다.

- $S_0 = \text{BS}$
- $S_i = \text{CPE}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N)$
- $N = \text{CPE의 개수}$
- $C = \text{채널의 개수}$

3.1.2 1차 사용자의 출현모델

1차 사용자들이 C 개의 채널에 랜덤하게 출현한다고 가정하면 다음과 같이 1차 사용자 출현 패턴을 모델링 할 수 있다.

채널 j 의 i 번째 1차 사용자와 $(i+1)$ 번째 1차 사용자의 출현 시간 간격을 A_i^j 로하며 A_i^j 의 확률밀도함수를 $f_{A_i^j}(a^j)$ 로 정의한다. 채널 j 의 i 번째 1차 사용자의 채널 점유 시간은 B_i^j 로 표시하며 B_i^j 의 확률밀도함수를 $f_{B_i^j}(b^j)$ 로 정의한다. 또한 모든 i 에 대하여 A_i^j 와 A_{i+1}^j 및 B_i^j 와 B_{i+1}^j 가 각각 서로 독립이며 같은 분

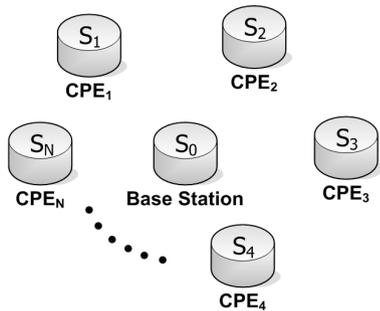


그림 1. 2차사용자의 네트워크 구성

포 (i.i.d.: Independent Identically Distributed)를 갖는다고 가정한다. 각 채널 별로 1차 사용자의 출현 프로파일 (Access Profile)은 다르다고 가정한다. 따라서 A_i^j 와 B_i^j 는 채널 j 별로 다른 통계치를 갖는다. 이러한 1차 사용자의 출현 프로파일은 BS가 취합한다고 가정한다.

3.2 연결수락제어 정책

본 절에서는 1절에서 제안한 시스템 모델을 바탕으로 하는 무선인지네트워크에서 1차 사용자를 보호하며 2차 사용자에게는 끊임이 없는 통신을 보장하는 연결수락제어 정책에 대하여 논한다.

3.2.1 1차 사용자 보호

일반적으로 무선인지 네트워크에서는 2차 사용자가 1차 사용자에게 간섭을 주지 않아야 하므로 본 연구에서는 다음과 같은 연결 수락제어 정책을 사용한다. 새로운 2차 사용자가 채널 요청을 했을 경우, 앞으로 출현할 수 있는 1차 사용자에게 간섭을 주지 않기 위해 새로운 2차 사용자가 요청하는 채널 사용시간을 BS와 협의를 통해 조절하도록 한다. 즉, P_B^j 를 1차 사용자가 출현했을 때 채널 j 가 사용될(Busy) 확률이라 표시하면,

$$P_B^j \leq P_B(\text{QoS})$$

을 만족해야 한다. 여기서 $P_B(\text{QoS})$ 는 P_B^j 의 최대허용치이다.

3.2.2 기존 2차 사용자 보호

새로운 2차 사용자의 연결 요구 시, 기존의 2차 사용자의 통신 품질을 보장하도록 해야 한다. 즉, 기존의 2차 사용자가 사용하던 채널에서 1차 사용자의 출현으로 2차 사용자가 부득이하게 다른 채널로 이관할 가능성을 고려하여 새로운 2차 사용자 채널 요청 수락여부를 결정해야 한다. 즉, 새로운 2차 사용자가 요청하는 채널 사용시간을 X^j 라고 표시하면 X^j 동안 최대사용채널의 개수가 시스템에서 제공되는 채널의 개수보다 커서는 안 된다. 따라서 $E[\text{향후 } X^j \text{ 동안 최대 사용 채널의 수}] \leq C$ 일 경우 이 새로운 2차 사용자의 요청을 수락한다.

따라서, 본 논문에서 연결 수락 제어를 위해 고려해야 할 사항은 채널 j 에 새로운 2차 사용자의 사용 요청이 올 때, X^j 동안 1차 사용자의 출현과 다른 채널을 사용하는 기존의 2차 사용자를 동시에 고려해야 한다.

3.3 연결수락제어를 위한 파라미터

본 절에서는 3.2.절에서 제안한 연결수락제어 정책을 사용하기 위하여 사용되는 파라미터를 정의한다.

3.3.1 $P_B^j(X^j|\Delta^j)$

$P_B^j(X^j|\Delta^j)$ 는 이전 1차 사용자 출현한 후 Δ^j 시간이 지난 후 새로운 2차 사용자가 채널 j 를 요청했을 때(X^j 의 채널 사용시간 요청과 함께) 1차 사용자 X^j 동안 출현할 확률로 다음과 같이 정의 된다

$$P_B^j(X^j|\Delta^j) = 1 - P(X^j \text{까지 PU 미출현} | \Delta^j \text{동안 PU 미출현}) = 1 - P(A^j > \Delta^j + X^j) = P(A^j \leq \Delta^j + X^j)$$

로 정리 할 수 있다.

이 확률은 각 $S_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 으로부터 취합된 채널 j 의 통계로 구할 수 있다.

3.3.2 E[향후 X^j 동안 최대 사용 채널의 수]

최대 사용 채널수의 기댓값은 다음과 같이 도출될 수 있다. τ 를 MAC의 슬롯 타임이라고 하면, X^j 동안 K 개의 타임 슬롯이 존재한다. 여기서 $K = \frac{X^j}{\tau}$ 이다. 그러면,

$$E[\text{향후 } X^j \text{ 동안 최대 사용 채널의 수}] = \max_{k \in \{1, 2, \dots, k\}} \left\{ \sum_{j=1}^c 1(\text{채널 } j \text{의 슬롯 } k \text{가 점유}) \times P_B(\tau \Delta^j + k\tau) \right\}$$

으로 계산 된다.

3.4 연결수락제어 알고리즘

본 절에서는 III장 논의된 연결수락제어 정책 및 파라미터를 바탕으로 하는 연결수락 알고리즘을 정의한다.

Step1 : 요청하는 $S_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 에서 전송했던 가용 채널 정보와 S_i 의 peer 스테이션 S_R 의 가용 채널 정보를 가지고 최소 채널 환경 이하의 채널을 제외한 할당 가능한 채널의 집합 Ω 를 채널 상태가 가장 좋은 순서대로 정렬한다.

$$\Omega = (C_1, C_2, \dots, C_M)$$

여기서 M 은 가용 가능한 채널의 개수이다.

만약 요청하는 채널의 개수 R 이 $R > M$ 이면 요청을 즉시 거절한다.

Step2 : Ω 의 각 채널 중에

$$P_B^j(X^j|\Delta^j) \leq P_B(QoS) | j \in \Omega \quad (1)$$

을 만족하는 채널을 요청하는 채널수만큼 추출한다. 만약 요청하는 채널수만큼 확보되지 않으면, (1)식을 만족하도록 X^j 를 줄여서 요청하는 채널수만큼 채널 수가 Ω 에서 확보되는 X^j 를 구한다.

Step3 : 만약 $E[\text{향후 } X^j \text{ 동안 최대 사용 채널의 수}] \leq C$ 을 만족하면 새로운 2차 사용자의 요청을 수락하고 그렇지 않으면 거절한다.

위 과정을 도식화하면 그림 2와 같다.

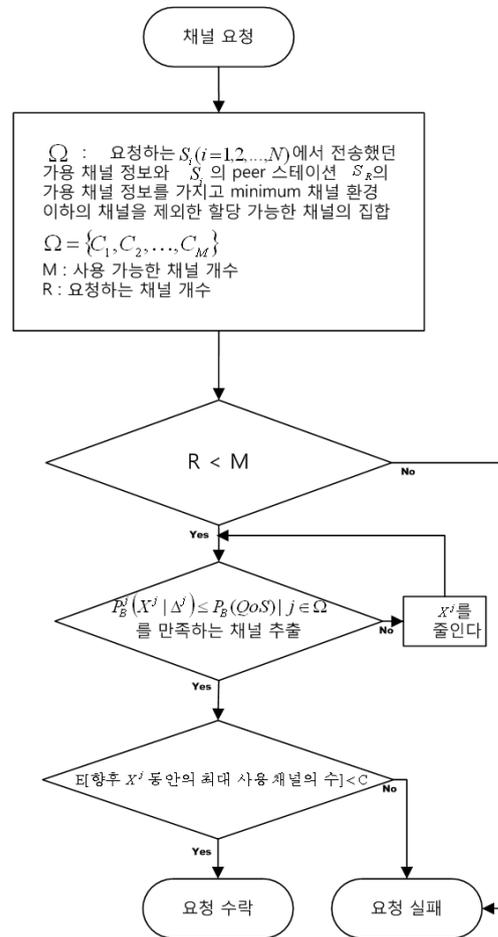


그림 2. 연결수락제어 알고리즘

IV. 성능평가

성능평가는 C++언어 이벤트기반 (Event Driven) 방식 시뮬레이터를 개발하여 구현하였으며 표 1과 같은 성능 평가 파라미터를 사용하였다.

본 논문에서는 1차 사용자의 접근 차단률, 2차 사용자의 서비스 보장률, Throughput, 그리고 채널 특성에 따른 채널 접근률에 대한 성능을 평가하였다. II장에서 언급한 바와 같이 본 기법과 직접적으로 비교할 수 있는 무선인지 네트워크의 연결수락제어기법은 전무하므로, 비교모델은 2차 사용자의 채널 요청 시, 중계기에서 사용 가능한 채널 집합 중 랜덤(Random)하게 할당해주는 방식을 이용하였으며 본 논문에서는 이를 R-MAC이라 명명한다.

본 연구의 목적은 통신 채널 링크상의 에러율과는 관계가 없기 때문에 통신 채널 상태로 인한 데이터 손실은 없고, 1차 사용자와 2차 사용자 혹은 2차 사용자 간의 충돌에 의한 데이터 손실만 가지고 있다고 가정하며 성능평가를 측정한다. 성능평가에서 사용하는 ρ 는 본 앞장에서 제안한 연결수락제어 정책에서 $P_B(QoS)$ 결정을 위한 파라미터로 1차사용자 출현 간격 통계에 대한 확률 기준 값이다.

표 1 성능평가를 위한 주요 환경변수

파라미터	값
Base Station	1개
데이터 전송 채널	5개
1차 사용자	5개
2차 사용자	50개
Time Slot	10ms
대역 폭	각 10Mbps
트래픽 모델 (1차 사용자)	Stochastic Exponentially Distributed ON and OFF times
트래픽 모델 (2차 사용자)	Stochastic Exponentially Distributed ON and OFF times
성능평가 측정 시간	14400분 (10일)

4.1 1차 사용자의 접근 차단률

1차 사용자의 접근 차단이란 1차 사용자가 채널에 접근했을 때, 2차 사용자의 채널 점유로 인하여 충돌 혹은 채널 접근이 불가능한 것을 말한다. 그림 3은 연결 수락제어를 통한 1차 사용자의 접근 차단률이고, 그림 4는 R-MAC을 통한 1차 사용자의 접근 차단률

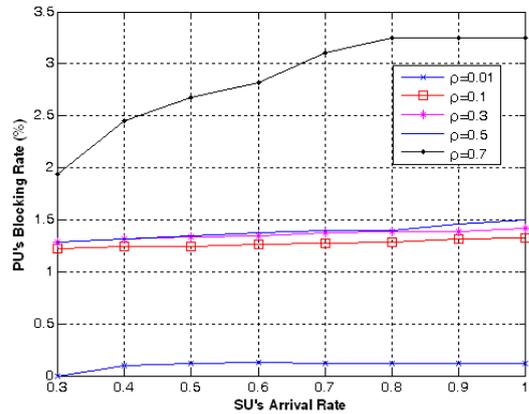


그림 3. 1차 사용자의 접근 차단률 (연결수락제어 적용)

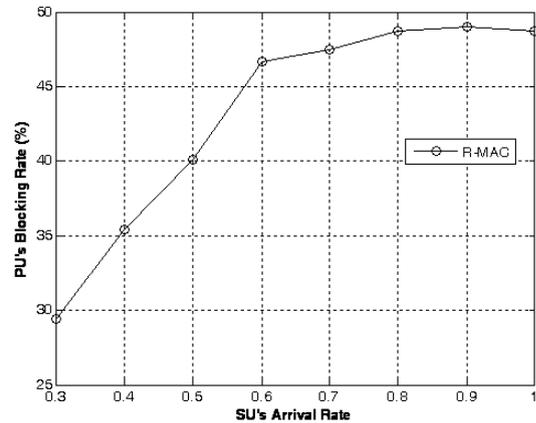


그림 4. 1차 사용자의 접근 차단률 (R-MAC)

이다. 연결수락제어 정책을 사용하지 않는 R-MAC의 경우 1차 사용자가 채널에 접근 했을 때 해당 채널이 2차 사용자의 사용에 의하여 30%에서 48%정도 간섭을 미치는 것을 볼 수 있다.

그림 3에서 연결 수락제어 적용 시, 다양한 ρ 값에 대한 1차 사용자의 접근 차단률을 볼 수 있다. ρ 값을 0.01로 했을 경우 0.1% 이하의 1차 사용자 간섭률을 보이고 있으며, ρ 값이 0.1, 0.3, 0.5일 경우에는 1.2%에서 1.5% 사이의 1차 사용자 접근 차단률을 보인다. 따라서 본 논문에서 제안한 연결수락제어기법을 사용할 경우 효율적으로 1차 사용자에 대한 간섭을 줄일 수 있음을 볼 수 있다.

4.2 2차 사용자의 서비스 보장률

2차 사용자의 서비스 보장이란, 2차 사용자가 통신을 시작한 후, 끊임이 없이 끝까지 통신을 할 수 있는 것을 말한다. 그림 5는 성능평가를 통하여 도출한 2차

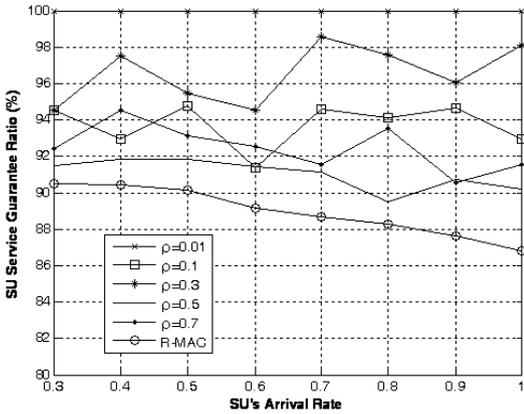


그림 5. 2차 사용자의 서비스 보장률

사용자의 서비스 보장률을 나타낸 것이다. ρ 를 0.01로 하여 연결수락제어 정책을 사용했을 경우, 2차 사용자는 100%에 가까운 서비스를 보장할 수 있다. 연결수락제어 정책을 사용할 때 ρ 값이 낮아질수록 2차 사용자의 서비스가 끊기는 빈도가 잦아짐을 볼 수 있으며, R-MAC의 경우 2차 사용자의 사용이 빈번할수록 서비스가 끊기는 빈도가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서 연결수락제어 정책을 통하여 기존 2차 사용자의 Seamless 한 통신을 보장할 수 있음을 볼 수 있다.

4.3 Throughput

Throughput은 2차 사용자가 BS에게 요청한 시간에 대한 전송률이다. 성능평가를 위한 각 채널은 10Mbps의 대역폭을 가지고 있으며, 각 하나의 1차 사용자를 보유하고 있다. 성능 평가를 통하여 그림 6과 같은 Throughput에 대한 지표를 얻었다. ρ 값이 0.01

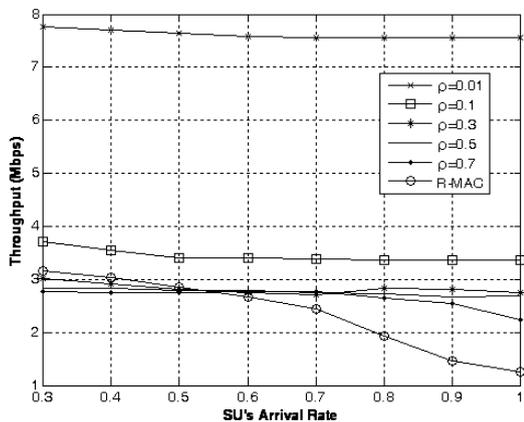


그림 6. Throughput

일 경우 2차 사용자는 100%가까운 끊임이 없는 서비스를 제공 받기 때문에 7Mbps의 Throughput을 보인다. ρ 값이 커질수록 끊김이 자주 발생하기 때문에 Throughput이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 연결수락제어 정책을 전혀 사용하지 않은 R-MAC의 경우 사용자의 사용이 빈번해질수록 급격하게 Throughput이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 연결수락제어정책을 통하여 Throughput이 보장될 수 있음을 볼 수 있다.

4.4 ρ 값의 결정

성능 평가를 통하여 제안된 통계적 연결수락제어 기법이 안정적으로 2차 사용자의 통신을 보장할 수 있으며, 1차 사용자에게 영향을 줄일 수 있고, 안정적인 Throughput을 제공하는 것을 확인하였으며 ρ 값의 변화에 따라 성능평가 측정 지표 값이 변화하는 것을 볼 수 있다. ρ 값이 커질수록 채널 할당 확률이 높아지므로 채널 사용률(Utilization)은 높아지지만 다른 성능지표들이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 2차 사용자의 연결수락제어 기법 시 ρ 값은 다음과 같이 사용될 수 있다.

1차 사용자가 명시한 접근 차단률을 보장

2차 사용자가 요구하는 서비스 보장률을 보장

2차 사용자가 요구하는 Throughput을 보장

1차 사용자 및 2차 사용자의 서비스 제공자의 요구에 따라 위 3가지의 조건을 보장하는 가장 큰 ρ 값을 선택하여 사용한다. 이를 통하여 서비스 제공자에 맞춤형 연결수락제어 기법을 제공한다.

V. 결론

본 논문에서는 무선인지 네트워크 (Cognitive Radio Networks)에서 연결수락제어 정책을 통하여 1차 사용자뿐만 아니라 기존 2차 사용자의 끊임이 없는 서비스를 보장하기 위한 기법을 제안하였다. 연결수락제어 정책을 사용할 경우 1차 사용자의 접근 차단률을 1/40 이상 줄임으로써 1차 사용자를 보호할 수 있고 2차 사용자에 대해서는 90% 이상 끊임이 없는 서비스 보장뿐만 아니라 우수하고 안정적인 Throughput을 제공하는 것을 성능평가를 통하여 증명하였다. 이는 다른 기법과는 달리 제안된 연결수락제어 기법이 2차 사용자가 1차 사용자의 출현을 예상하여 지능적으로 여유채널을 확보함으로써 통신을 하기 때문에 가능하다. 앞으로 무선 기술이 발달함에 따라 한정적인 무선 자원에 대한 욕구는 나날이 늘어남으로써 주파수 자원을 효율적으로 사용하는 무선인지 네트워크는 필수

적인 기술이 될 것으로 기대된다. 본 논문에서 제안한 연결수락제어기법은 무선인지 네트워크의 요구사항인 1차 사용자의 서비스를 보장하면서 무선인지 사용자의 서비스까지 안정적으로 보장하는 것을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, S. Mohanty, "NeXt Generation/ Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey," *Computer Networks*, January 2006, pp. 2197-2159.
- [2] C.-T. Chou, S. Shankar, H. Kim, and K. G. Shin, "What and How Much to Gain by Spectrum Agility?," *Journal on Selected Areas in Communications*, vol.25, no.3, April 2007.
- [3] L. J. Qian, X. F. Li, J. Attia, Z. Gajic, "Power control for cognitive radio Ad Hoc networks," in *15th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks*, Princeton, NJ, June 2007.
- [4] M. H. Islam, Y. Liang and A. T. Hoang, "Distributed Power and Admission Control for Cognitive Radio Networks Using Antenna Arrays," in *Proc. DySPAN 2007*, Dublin, Ireland
- [5] D. I. Kim, L. B. Le, and E. Hossain, "Joint Rate and Power Allocation for Cognitive Radios in Dynamic Spectrum Access Environment," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.7, no.12, December 2008.
- [6] IEEE 802.22 Specification, "Wireless Regional Area Networks Medium Access Control(MAC) and Physical layer(PHY) specification," 2006.
- [7] 유남철, "무선인지 (Cognitive Radio) 개념 및 기술동향", 『전자부품연구원 전자정보센터 보고서』, February 2006.
- [8] 고광진, 황성현, 송명선, 김창주, 강범주 "IEEE 802.22 WG에서의 CR응용: WRAN MAC 설계", 『한국전자과학회지』, 제17권 제2호, April 2006.

박 래 혁 (Laihyuk Park)

준회원



2008년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학부 학사
2010년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학부 석사
<관심분야> 무선인지네트워크, 지향성안테나용 MAC 프로토콜

김 기 흥 (Kihong Kim)

정회원



1987년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 12월 Georgia Tech., ECE, Ph.D.
1989년 5월~1998년 6월 한국 전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원
2005년 11월~현재 삼성전기 중앙연구소 수석연구원
<관심분야> 이동통신전송기술, 스펙트럼 센싱 기술, 무선인지(Cognitive Radio) 기술, 무선 통신 시스템에서의 간섭 검출 및 감쇄 기술등

황 성 호 (Sungho Hwang)

정회원



1996년 경일대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1998년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2003년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
2004년 2월 POSTECH 박사후 연구원
2006년 12월 Georgia Tech. 박사후 연구원
2007년 2월~현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
<관심분야> Cognitive Radio, 다중접속기술(MAC), 60GHz 대역용 MAC, 4세대 이동통신기술

조 성 래 (Sungrae Cho)

중신회원



1992년 2월 고려대학교 전자
전산공학과 학사

1994년 2월 고려대학교 전자공
학과 석사

2002년 12월 미국 조지아공대
전기및컴퓨터공학과 박사

1994년 2월~1996년 8월 한국
전자통신연구원 연구원

2003년 1월~2003년 7월 삼성 종합기술원 전문연
구원

2003년 8월~2006년 7월 미국 조지아서던대학교
컴퓨터학과 조교수

2006년 9월~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 부교수
<관심분야> 무선네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅