

무선 인지 네트워크에서 위너예측 이론에 의한 예약채널 할당기법

Channel Reservation Scheme Using Wiener Prediction Theory for Cognitive Radio Networks

이진이*

Jin-Yi Lee*

요 약

본 논문에서는 무선인지 망에서 2차 사용자가 1차 사용자의 스펙트럼 홀을 점유하여 서비스를 진행 하는 중에 1차 사용자가 다시 나타나 스펙트럼 핸드오프를 해야 할 경우, 2차 사용자 호의 강제 종료율을 줄이는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 1차 사용자가 출현하여 요구하는 채널의 양을 위너예측 모델로 예측하고, 그 예측된 채널의 양을 기초로 2차 사용자가 스펙트럼 핸드오프를 해야 할 경우, 2차 사용자 호의 전용채널을 이용하여 필요한 채널의 양을 미리 예약하여 끊임이 없는 서비스를 제공한다. 시뮬레이션을 통하여 예약을 하지 않고 랜덤하게 채널을 액세스하는 방법과 제안한 방법의 성능을 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 강제 종료율과 2차 사용자의 새로운 호의 액세스를 차단하는 차단율 및 채널이용률에 대해서 비교한다. 그 결과 본 논문에서 제안한 방법이 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 강제 호 종료율을 줄일 수 있음을 보인다.

Abstract

This paper presents a channel reservation scheme using Wiener prediction model in order to reduce the rate of forced termination of cognitive users in cognitive radio networks. The proposed method uses Wiener prediction model to predict the number of radio channel required by the reappearance of primary users, and then calculates and reserves the number of channels that cognitive users demand for their spectrum handoff. Through the simulation we investigate cognitive users' forced termination rate and blocking rate with and without channel reservation. In addition we show the bandwidth utilization efficiency for both cases. The results show that the proposed scheme can reduce the forced termination rate of cognitive users at the cost of slightly increasing in blocking rate. Also it is seen that there is little difference in bandwidth utilization efficiency for both cases.

Keywords : Cognitive radio networks, Wiener prediction model, Channel reservation, Forced termination rate,

I. 서 론

무선통신의 한정된 주파수 자원을 해결하기 위한

방법으로 무선인지(Cognitive Radio)기술이 소개되어 많은 연구들이 진행되고 있다[1]. 무선인지기술은 채널 사용의 허가를 받은 1차 사용자(primary user)가 항

* 청운대학교 전자공학과(Dept.of Electronics Engineering, Chungwoon University)

· 제1저자 (First Author) : 이진이

· 투고일자 : 2011년 9월 23일

· 심사(수정)일자 : 2011년 9월 23일 (수정일자 : 2011년 10월 24일)

· 게재일자 : 2011년 10월 30일

상 자신의 스펙트럼을 사용하는 것은 아니기 때문에, 사용하지 않은 채널(스펙트럼 홀)을 채널사용의 허가를 받지 않은 2차 사용자(secondary user)가 기회적으로 사용하는 기술로 통신 가용 채널을 최대한 효율적으로 사용하기 위한 기술이다. 무선인지 기술에는 사용하지 않는 스펙트럼을 감지하고 다른 사용자에게 간섭을 주지 않으면서 스펙트럼을 공유하는 스펙트럼 센싱기술(spectrum sensing), 사용자가 원하는 최적의 품질을 갖는 스펙트럼을 찾아내는 스펙트럼 관리 기술(spectrum management), 스펙트럼 핸드오프를 통한 끊임이 없는 지속적인 서비스를 보장하는 기술(spectrum mobility), 기존의 사용자들과 스펙트럼 사용에 있어서 공평성을 유지하기 위한 스펙트럼 스케줄링 기술(spectrum sharing) 등이 있다[2]. 본 논문은 2차 사용자의 호가 스펙트럼 핸드오프를 하여 끊임이 없이 지속적인 통신을 할 수 있도록 하기 위한 연구이다. 이와 관련한 연구에는 다음과 같은 것들이 있다. F. Capa[3]에서는 스펙트럼 사용효율을 높이는 것이 목적인 스펙트럼 풀링(pooling) 방식을 기초로 1차 사용자 와 2차 사용자의 채널점유 상태를 마르코프 과정으로 모델링하고, 1차 사용자는 자신의 채널을 2차 사용자가 사용할 수 있게 하고, 시스템에 여유 채널이 없을 때 만 2차 사용자의 호를 강제로 종료시킬 수 있는 제어채널할당(controlled channel assignment) 방식과 1차 사용자는 2차 사용자가 채널을 사용하고 있는지를 고려하지 않고 시스템에 여유 채널이 있을 때도 2차 사용자의 호를 강제로 종료시키는 비제어 채널 할당(uncontrolled channel assignment) 방식을 각각 소개하고 이들 두 방법을 차단확률, 강제종료확률, 대역폭 사용효율에 대해 성능을 비교하였다. 그 결과 대역폭 사용효율과 차단확률에서는 두 방식에서 성능차이가 거의 없지만 강제종료확률에서는 제어채널 할당방식이 뚜렷한 성능향상을 보여 실시간 응용에서 신뢰성 있는 통신을 보장할 수 있는 것으로 되어 있다. X. Zhu[4]에서는 무선인지스펙트럼의 1차 사용자와 2차 사용자의 호의 스펙트럼 액세스 과정을 마르코프 체인으로 모델링하여 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프가 있는 경우와 없는 경우에 대해 2차 사용자의 강제 종료확률, 차단확률, 트래픽 처리량에 대해 성능을 비교하고, 2차 사용자의 강제

종료 확률을 줄이기 위해 채널 예약하는 방법을 제시하였다. W. Ahemed[5]에서는 X. Zhu[4]에서의 2차 사용자 호의 강제 종료확률 과 차단확률을 구하는 식의 오류를 정정하여 올바른 식으로 나타내었고, I. F. Akyildiz[2]에서 보여준 채널예약방법에서는 시스템의 처리량의 향상은 없음을 보였다. 박래혁[6]에서는 2차 사용자의 끊임이 없는 통신을 보장하기 위하여 1차 사용자의 접근을 어느 정도 차단하는 방법을 제안하고, 1차 사용자와 2차 사용자의 트래픽을 ON-OFF 모델을 적용하여 제안한 방법의 성능을 평가하였다.

무선 인지망에서 트래픽 예측과 관련한 연구에는 다음과 같은 것이 있다. Y. Liu[7]에서는 신경망을 이용한 트래픽 예측을 위해 파라메타를 환경파라메타와 트래픽 파라메타로 구분하고, 예측의 정확성에 미치는 환경 파라메타의 영향은 미소함을 보였고, 트래픽 크기의 변동이 심한 환경에서 정확한 예측을 위해서는 신경망의 입력수가 매우 많이 필요함을 보였다. 또한 신경망모델에 의한 트래픽 예측은 신경망의 학습을 위한 학습파라메타와 입력트래픽 패턴에 의해 망의 가중치가 정해지기 때문에 인지망에서의 트래픽 패턴이 다르게 되면 다른 특성의 신경망 모델을 재 구성해야하는 단점을 갖고 있어, 인지 AP를 통한 인터넷 접속에서는 부정적인 영향을 주는 것으로 되어 있다. 본 연구에서 이용한 워너예측모델과 관련하여, 무선 이동통신망에서의 트래픽 예측과 관련한 연구는 다음과 같은 것들이 있다. N. Baldo[8]에서는 무선망의 트래픽 예측을 위해 전통적인 예측기법인 ARIMA(Auto Regressive Integrated Moving Average)를 사용한 경우와 신경망을 사용한 경우를 비교하고, 신경망 기법이 우수함을 보였다. N. Baldo[9]에서는 모바일 Ad-hoc 무선망에 적용하기 위해 선형 regression 모델과 신경망 모델의 성능을 비교하고, 신경망 모델이 더 적합함을 보였다. Tao Zhang[10]에서는 IP 망에서의 핸드오프 호의 손실율을 줄이기 위해 핸드오프 호가 요구하는 자원의 양을 예측하는데 워너모델과 시계열 모델(ARIMA), MMOSPRED(Multimedia One Step Prediction) 모델을 적용하여 예측의 정확성 등에 대해 성능을 평가하였다. 그 결과 워너 모델에 기초한 예측예약 방법이 핸드오프호의 손실율과 신

규호의 차단율에서 우수함을 보였다. 이진이[11]과 이진이[12]에서는 각각 기존의 위너모델에 지수함수 파라메타와 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 적용하여 예측오차를 줄이는 방법을 연구하였다.

본 논문에서는 지금까지의 연구결과를 기초로 무선 인지 망에서 2차 사용자 호의 강제 종료율을 줄이기 위해 1차 사용자의 호가 요구하는 채널의 크기를 위너예측모델을 사용하여 예측하고, 2차 사용자가 스펙트럼 핸드오프를 해야 할 경우에는 미리 예약된 채널을 사용함으로써 2차 사용자의 호가 지속적으로 통신을 할 수 있도록 한다. 이러한 2차 사용자의 서비스를 완료하도록 하기 위한 채널예약방법은 실시간 서비스인 경우는 더욱 중요한 의미를 갖는다. 제 2 장에서는 위너예측모델에 대해서 기술하고, 3 장에서는 본 연구에서 제안한 위너예측에 의한 채널할당 방법과 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호와 새로운 2차사용자 호의 액세스를 처리하는 방법에 대해 기술한다. 4 장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법의 성능을 평가하고, 5장에서는 본 연구의 결과와 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

II. 위너예측모델

위너모델에서 다음 상태는 단지 현재 상태에 의해 결정되는 마르코프 과정의 성질을 갖으며, 랜덤변수 값을 갖는 확률과정(stochastic processes)을 모델링 하는데 쓰인다. 특히 무선 이동통신망에서 특정 시간에 핸드오프 호가 요구하는 자원의 양, IP 층의 대역폭, 시스템의 전체용량, 각각의 서비스 클래스의 호 뿐만 아니라 모든 클래스의 호가 요구하는 자원의 양 등을 모델링하는데 사용되고 있다[13]. 본 논문에서는 무선 인지 망에서 1차 사용자의 출현으로 인해 2차 사용자 호가 스펙트럼 핸드오프 해야 할 경우를 대비해, 1차 사용자가 요구하는 채널의 크기를 예측하는데 위너예측모델을 사용한다.

위너과정(Wiener process)에 기초한 무선인지 망에서의 무선자원(채널) 요구량의 예측방법에서는 무선 자원 요구량의 증가분 ΔR 을 표준 정규분포로 모델링하고, 예측시점 t 와 관계없이 ΔR 는 서로 독립

이고, 그 다음 시점에서 ΔR 은 단지 현재의 ΔR 값에 의존하는 마르코프 과정(Markov process)으로 식 (1)과 같이 표시된다.

$$\Delta R = R(t) - R(t - \Delta t) = \alpha \sqrt{\Delta t} \quad (1)$$

여기서, α 는 $N(0, 1)$ 인 확률변수이고, Δt 는 자원의 예측 간격이다. 이 기본 위너모델을 기초로 ΔR 의 평균과 표준편차를 도입한 수정된 위너모델 식 (2) 와 같다.

$$\Delta R = \mu \Delta t + \alpha \delta \sqrt{\Delta t} \quad (2)$$

여기서, μ 와 δ 는 각각 ΔR 의 평균과 표준편차를 나타낸다. 식 (2)는 ΔR 을 평균이 $\mu \Delta t$, 표준편차가 $\delta \sqrt{\Delta t}$ 인 정규분포를 갖는 확률변수로 모델링 한 것으로 μ 와 δ 값은 다음 식으로 추정된다.

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} [r(t - i\tau) - r(t - i\tau - \tau)]}{k\tau} \quad (3)$$

$$= \frac{r(t) - r(t - k\tau)}{k\tau}$$

$$\hat{\delta} = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{k-1} [r(t - i\tau) - r(t - i\tau - \tau) - \mu\tau]^2}{k}} \quad (4)$$

여기서, τ 는 시간간격을 나타낸다. $r(t)$ 는 t 에서 사용한 자원의 크기이다. k 는 μ 와 δ 값을 추정하기 위해 고려하는 예측시점 이전에 사용된 자원의 개수이다.

III. CR 망에서 위너예측모델에 기초한 예약채널 할당방법

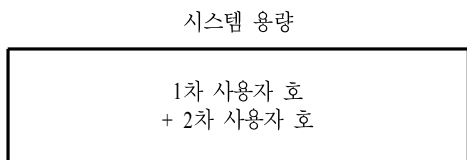
무선 인지 망에서 채널을 할당하는 방법을 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 지속적인 통신을 보장하기 위해 전용예약채널을 이용하는 방법과 1차 사용자와 2차사용자가 랜덤하게 채널을 액세스하는 방법으로 구분한다.

3-1 랜덤 채널 할당방법

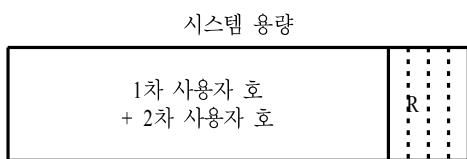
2차 사용자 호가 1차 사용자 호의 스펙트럼 홀을 사용하는 중에 1차 사용자가 나타나면 1차 사용자는 시스템의 여유용량이 있을 때는 그 용량을 사용하고, 없을 때는 2차 사용자가 사용하고 있는 스펙트럼 홀 대역을 사용하는 방법으로 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호를 위해 따로 채널을 마련해 두지 않는 방법이다.

3-2 워너예측모델에 기초한 2차 사용자 호의 예약 채널할당방법

1차 사용자 호의 출현으로 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호가 강제로 종료되는 것을 줄이기 위해, 1차 사용자의 호가 요구하는 채널의 크기를 워너예측 모델을 이용하여 예측하고 2차 사용자의 호가 자신이 사용하고 있는 채널을 1차 사용자에게 넘겨주고 스펙트럼 핸드오프를 해야 할 경우, 2차 사용자 호의 전용채널영역에 스펙트럼 핸드오프에 필요한 채널의 양을 예약하여 할당하는 방법이다. 그림 1에 두 가지 채널 할당방법을 나타내었다.



(a) 랜덤 할당기법
(a) random access scheme



(b) 예약 할당기법
(b) reservation access scheme
R: 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호를 위해 예약된 채널

그림 1. 채널 할당방법
Fig. 1. Channel Allocation Scheme

2차 사용자 호가 1차 사용자의 스펙트럼 홀을 사용하는 중에 1차 사용자가 스펙트럼 사용을 요구하

면 2차 사용자는 예약된 채널로 스펙트럼 핸드오프 하여 계속 통신할 수 있게 해야 한다. 제안된 알고리즘에서는 1차 사용자가 사용할 채널의 크기를 워너 예측모델로 예측하여 2차 사용자가 스펙트럼 핸드오프를 해야 할 경우, 필요한 채널의 양을 예약하여 할당함으로써 2차 사용자 호의 강제 종료율을 줄인다. 그림 2는 제안한 알고리즘을 나타낸다. 그림 2(a)는 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 처리과정을 나타낸다. 여기서, C , C_s^{on} , C_p^p , r 는 각각 시스템 용량, 서비스 진행 중인 2차 사용자 채널수, 예측된 1차 사용자 채널수, 예약량을 나타낸다. 그림 2(b)는 2차 사용자의 새로운 호의 처리과정을 나타낸다. C_s^n 는 새로 발생된 2차 사용자의 채널 수를 나타낸다.

Secondary User's Spectrum Handoff Call Control

```

{ find  $C, C_s^{on}, C_p^p$ 
 $key = C - C_s^{on} - C_p^p$ ;
if ( $key < 0$ )
    reserve  $r$ ;
if ( $(key + r) < 0$ )
    forced terminate;
else
    on going;
}
```

(a) 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호 처리
(a) spectrum handoff calls of cognitive users

Secondary User's New Call Control

```

{ find  $C_s^n$ 
if ( $(key \leq 0)$ )
    reject;
else if ( $(key - C_s^n) < 0$ )
    reject ;
else
    accept;
}
```

(b) 2차 사용자의 새로운 호 처리
(b) new calls of cognitive users

그림 2. 2차 사용자 호의 처리과정
Fig. 2. Cognitive users call processing

IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

무선 인지망에서 1차 사용자와 2차 사용자는 같은 스펙트럼을 사용하며 1차 사용자가 사용하는 M 개의 기본대역(primary bands) 각각은 N개의 부대역(sub bands)으로 나누어 2차 사용자가 사용한다. 따라서 2차 사용자는 NM 개의 부대역을 사용할 수 있으며, 1차 사용자는 M 개의 기본 대역을 사용한다. 1차 사용자는 스펙트럼을 사용하는데 우선권을 갖고 있어, 일시적으로 2차 사용자가 사용하는 부대역들을 요구할 수 있다. 시뮬레이션에서는 M=3, N=6 로 한다. 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 1차 사용자와 2차 사용자가 사용하는 주파수 대역을 표시한 것이다.

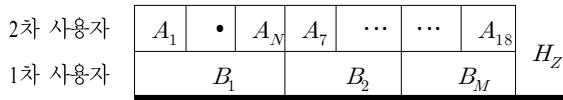


그림 3. 주파수 대역
Fig. 3. Frequency bands

1차 사용자와 2차 사용자의 호 도착은 Poisson 분포를 하며, 채널 점유시간은 각각 지수함수 분포를 한다. 1차 와 2차 사용자 호의 평균 도착율은 각각 λ_p [개/sec], λ_s [개/sec]으로 나타내고, 1차 와 2차 사용자 호의 평균서비스율은 각각 μ_p [1/sec], μ_s [1/sec]으로 나타낸다. 2차 사용자 호가 요구하는 채널의 크기는 1[BU] 으로 한다. 시뮬레이션은 총 $T = 7 \times 10^4$ [sec] 동안 수행하였다.

4-1 Wiener 예측성능

그림 4 는 위너 예측기법을 사용하여 1차 사용자가 요구하는 채널의 양을 예측한 양과 실제 요구량을 비교한 것이다. 정확하게 1차 사용자가 요구하는 채널의 양을 예측함을 알 수 있다. 예측오차는 제일하단의 선으로 나타내었으며, 예측채널 수에는 영향을 주지 않는 것을 볼 수 있다. 1차 사용자 호의 도착은 $\lambda_p = 0.1$ [개/sec], $\mu_p = 0.06$ [1/sec] 으로 하고, 특정 시점에 1차 사용자 호가 요구하는 채널의 양을 예측을 위해 사용하는 이전에 사용된 자원의 크기는 25 [sec] 동안에 관측된 25 개의 샘플 자원값을 사용한다($k=25$). $\tau = \Delta t = 1$ [sec] 으로 한다.

4-2 2차 사용자 호의 강제종료율과 차단율

2차 사용자 호의 강제 종료율을 줄이기 위해 예약을 하는 경우($r = 1, 2, 3, 4$ [개])와 예약을 하지 않고 랜덤하게 액세스하는 경우($r = 0$)에 대해 2차 사용자 호의 강제 종료율과 차단율을 비교한다. 강제 종료율과 차단율은 각각 식 (5)와 (6)으로 나타낸다.

$$\text{차단율} = \frac{\text{연결 실패한 호 수}}{\text{T 동안 새로 연결을 시도한 2차 사용자의 호 수}} \quad (5)$$

$$\text{강제종료율} = \frac{\text{강제 종료 호 수}}{\text{T 동안 이미 서비스가 진행중인 2차 사용자의 호 수}} \quad (6)$$

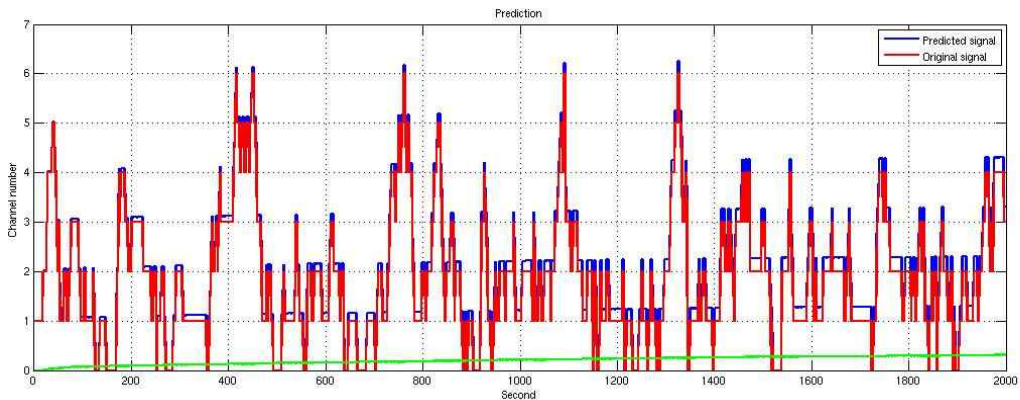
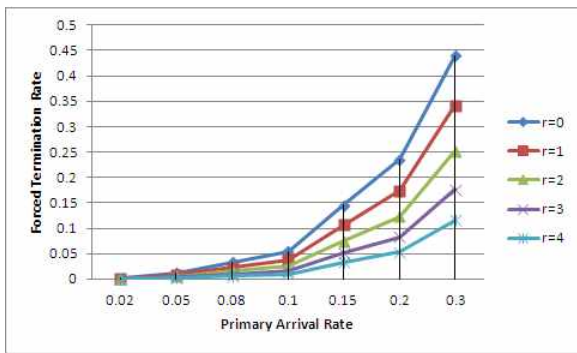
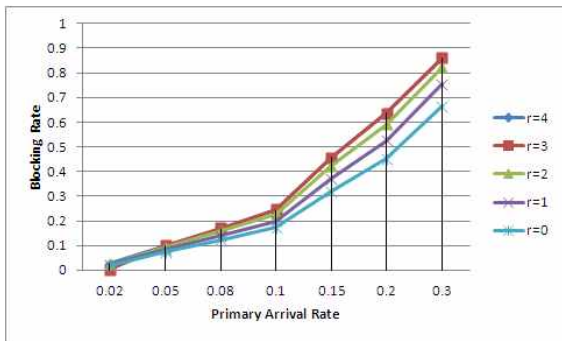


그림 4. 1차 사용자 호 가 요구하는 예측된 채널의 양과 실제 요구량의 비교
Fig. 4. The number of actual and predicted channel of primary users. ($\lambda_p = 0.1, \mu_p = 0.06$)

그림 5는 랜덤 액세스 방법과 예약에 의한 채널 액세스 방법을 $\mu_s = 0.82, \lambda_s = 0.68, \mu_p = 0.06$ 일 때 예약량 r 에 따른 2차 사용자의 호 강제 종료율 과 차단율을 나타낸다. 예약량이 $r = 0 \sim 4$ 범위 내에서 커짐에 따라 스펙트럼 핸드오프 호의 강제 종료율이 줄어들 수 있다. 반면에 새로운 2차 사용자 호의 차단율은 증가함을 볼 수 있다. 따라서 1차 사용자 호의 도착율이 $0.02 \sim 0.1$ 범위에서는 예약을 함으로써 약간의 차단율을 감수하고 우리가 원하는 스펙트럼 핸드오프 호의 강제 종료율을 유지할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 강제 종료율
(a) forced termination rate



(b) 차단율
(b) blocking rate

그림 5. 1차 사용자의 호 도착율(λ_p) 에 따른 2차 사용자 호의 강제 종료율(a) 과 차단율(b)
Fig. 5. forced termination rate & blocking rate of cognitive users($\mu_s = 0.82, \lambda_s = 0.68, \mu_p = 0.06$)

4-3 채널 이용률

그림 6은 랜덤 액세스 방법과 위너예측에 의한 예

약방법의 대역폭 사용효율을 비교한 것이다. 대역폭 사용효율은 $r = 0 \sim 4$ 범위의 예약량에 대해서는 거의 변화가 없음을 나타낸다. 이것은 정확한

예측에 의한 예약량이 모두 사용되고 있음을 나타낸다.

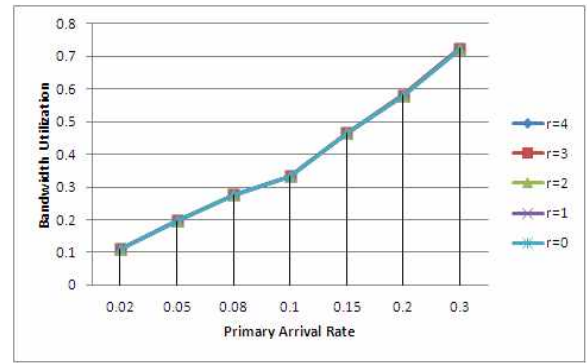


그림 6. 1차 사용자의 호 도착율에 따른 랜덤 액세스 방법 ($r = 0$) 과 예약에 의한 액세스 방법의 대역폭 사용효율
Fig. 6. Bandwidth utilization efficiency : random access & reservation access($\mu_s = 0.82, \lambda_s = 0.68, \lambda_p = 0.1$)

V. 결 론

본 논문에서는 무선 인지망에서 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 강제 종료율을 줄일 수 있는 위너예측에 의한 예약기법을 제안하였다. 제안된 기법은 1차 사용자의 출현으로 인해 요구하는 채널의 양을 위너예측기법을 사용하여 예측하고, 2차 사용자가 스펙트럼 핸드오프해야 할 경우 필요한 채널의 양을 예약함으로써 2차 사용자의 끊임이 없는 통신을 보장하도록 하기 위한 것이다. 시뮬레이션을 통하여 랜덤 액세스 기법과 위너예측에 의한 예약기법을 2차 사용자의 강제 종료율과 차단율, 자원 사용 효율에 대해 성능을 비교하였다. 그 결과 위너예측에 의한 예약방법이 랜덤 액세스 방법에 비해 2차 사용자의 스펙트럼 핸드오프호의 강제 종료율을 줄일 수 있음을 보였고, 대역폭 사용효율에 있어서도 주어진 예약량에 대해서는 거의 일정함을 보임으로써 예약된양이 충분히 사용되고 있음을 보였다. 향후 연구는 센서망을 통한 스펙트럼 할당기술에 관한 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Mitola III, "Cognitive radio : an integrated agent architecture for software defined radio," *Ph.D. thesis, KTH Royal Institute of Technology, Sweden*, May 2000.
- [2] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, et al., "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks : a survey," *Computer Networks*, vol. 50, pp.2127-2159, 2006.
- [3] F. Capa, et al., "Comparison of Bandwidth Utilization for Controlled and Uncontrolled Channel Assignment in a Spectrum Pooling System," *IEEE 55th Vehicular Technology Conf.*, vol. 3, pp. 1069-1073, 2002.
- [4] X. Zhu, L. Shen, and T.-S.P. Yum, "Analysis of Cognitive Radio Spectrum Access with Optimal Channel Reservation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 11, pp.304-306, Apr. 2007.
- [5] W. Ahemed, et al., "Comments on Analysis of Cognitive Radio Spectrum Access with Optimal Channel Reservation," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 8, no.9, Sept. 2009.
- [6] 박래혁 외, "무선인지네트워크를 위한 통계적 연결 수락제어기법", *한국통신학회논문지*, 10-10, vol. 35, no.10, pp. 1479-1486, 2010
- [7] Y. Liu, et al., "Traffic Prediction for Cognitive Networking in Multi-Channel Wireless Networks," *Proc., of IEEE INFOCOM 2010*.
- [8] N. Baldo and M. Zorzi, "Learning and adaptation in cognitive radios using neural networks," *Proc. of IEEE CCNC*, pp. 998-1003, Jan. 2008.
- [9] N. Baldo and M. Zorzi, "Fuzzy Logic for Cross-layer Optimization in Cognitive Radio Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no.4, pp.64-71, April 2008.
- [10] Tao Zhang, Eric van den Berg, Jasmine Chennikara, Prathima Agrawal, Jyh-Cheng Chen, and Toshikazu Kodama, "Local Predictive Resource Reservation for Handoff in Multimedia Wireless IP Networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.19, no.10, Oct. 2001.
- [11] 이진이, "무선셀룰러 망에서 위너모델에 기초한 자원예측 방법의 성능개선" *한국정보처리학회논문지*, 제12-C권, 제1호, pp.69-76, 2005. 2.
- [12] 이진이, "멀티미디어 무선 IP 망에서 핸드오프 호의 자원예측을 위한 LMS- 위너모델" *한국통신학회논문지*, Vol. 30, No 2A, pp. 26-33, 2005. 2.
- [13] Tao Zhang, Eric van den Berg, Jasmine Chennikara, Prathima Agrawal, Jyh-Cheng Chen, and Toshikazu Kodama, "Local Predictive Resource Reservation for Handoff in Multimedia Wireless IP Networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.19, no.10, Oct. 2001

이진이(李鎭伊)



1985. 숭실대학교 전자공학과 학사
 1988. 숭실대학교 전자공학과 석사
 1994. 숭실대학교 전자공학과 박사
 1999-2001. The winters & summers
 vacations, rsch. scholar, Okla. State
 University, USA.
 2011. Visiting Professor, UBC, Canada.

1995.3.~현재 청운대학교 전자공학과 교수

관심분야 : Broad bandwidth wireless networks, Mobile
 System