

셀룰러 인지 라디오 망에서 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 인지 사용자의 서비스 품질향상

Cognitive User's Quality of Service Enhancement by using Spectrum Hole Grouping in Cellular Cognitive Radio Networks

이진이

청운대학교 전자공학과

Jin-yi Lee

Department of Electronic Engineering, Chungwoon University, Incheon, 22100, Korea

[요 약]

본 논문에서는 셀룰러 인지 라디오 망에서 주 사용자들 (PU; primary user)의 다중 채널상에서 발생하는 스펙트럼 홀 (spectrum hole)을 그룹핑(grouping)하여, 광대역 인지 사용자 (WCRU; wideband cognitive radio user)의 서비스 품질 (QoS; quality of service)을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 스펙트럼 홀 그룹핑 방법은 같은 시간에 발생하는 스펙트럼 홀들을 위너예측과정으로 예측하고, 예측된 스펙트럼 홀을 그룹핑하여 광대역 인지 사용자를 지원함으로써 인지 사용자의 서비스 품질을 향상시킨다. 시뮬레이션을 통하여 단일 스펙트럼 홀 채널을 이용한 경우와 비교하여 핸드오프 호의 손실률과 초기 발생 호의 차단률을 줄일 수 있음을 보인다.

[Abstract]

In this paper, we propose first a scheme of grouping spectrum holes that are created in the multiple channels of primary users, and then by using the scheme we enhance quality of service (QoS) of wideband cognitive radio users in cellular cognitive radio networks. In our scheme, spectrum holes created in each primary channel are predicted by Wiener prediction process, and then the predicted spectrum holes happened in the same time are grouped into a group. The wideband cognitive radio users explore the group of spectrum holes to improve their QoS. Simulation results show that their handoff calls dropping rate and initial calls blocking rate are significantly reduced in our scheme, compared to those in the single primary channel.

Key words : Spectrum hole grouping, Wiener prediction process, Wideband cognitive radio user, Handoff calls dropping rate, Cellular cognitive radio network.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.4.322>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 6 August 2019; Revised 9 August 2019

Accepted (Publication) 23 August 2019 (30 August 2019)

*Corresponding Author; Jin-yi Lee

Tel: +82-32-770-8221

E-mail: jinyi@chungwoon.ac.kr

I. 서론

무선 통신 서비스의 다양화(모바일폰, 개인 휴대용 단말기, 스마트폰, 랩탑 등)로 인해 폭주하는 통신 트래픽을 고속으로 전송하기 위한 기술이 빠르게 발전되고 있다. 이러한 현대의 초고속 무선통신기술을 지원하기 위해서는 충분한 통신 주파수 스펙트럼 자원이 필요한데, 지금의 주파수 스펙트럼의 고정 할당방식에서 나타나는 미사용 주파수 스펙트럼 자원을 재사용 하고자 하는 기술이 CR (cognitive radio) 기술이다. CR 기술의 기본 개념은 J. Mitola에 의해 제안된 것으로 SDR (software define radio)을 기초로 한다[1],[2]. CR기술은 주파수 스펙트럼 고정 할당방식에 의해 스펙트럼 사용허가를 받은 주 사용자 (primary user)가 시간적으로 또는 공간적으로 할당받은 스펙트럼을 사용하지 않을 때, 스펙트럼 할당을 받지 않은 인지 사용자 (cognitive user)가 주 사용자에게 간섭을 주지 않고, 주 사용자가 사용하지 않는 스펙트럼 자원 (spectrum hole)을 일시적으로 사용하는 기술로 FCC(federal communications commission)에서 추진하는 미래 지향적인 통신기술이다.

CR기술은 크게 4가지로 구성된다. 스펙트럼 센싱기술: 주 사용자의 스펙트럼 홀을 찾아내는 기술, 스펙트럼 관리기술: 찾아낸 스펙트럼 홀 자원 중에서 가장 적절한 자원을 선택하는 기술, 스펙트럼 이동기술: 주 사용자가 다시 나타날 때 다른 스펙트럼 홀로 이동하는 기술, 스펙트럼 공유기술: 주 사용자의 스펙트럼 홀 자원을 여러 인지 사용자가 공유하는 기술로 구성된다[3].

셀룰러망에 CR기술을 적용한 대표적인 연구로 핸드오버 품질을 향상시키기 위해 CR기술을 사용하여 요구하는 대역폭 자원을 제공하는 CRHO (cognitive radio handover)기법이 제안되었다[4]. 여기서는 핸드오버의 성공률을 향상시키기 위하여 CR기술을 기초로 획득한 주파수 대역을 동적인 방법, 정적인 방법, 준정적인 방법으로 할당하여 성능을 비교하였다. 그리고 셀룰러 인지 라디오망에서 채널할당과 릴레이 선정문제를 상호 결합한 프레임 워크를 제안하여 채널사용의 공평성을 향상시킨 연구가 있다[5]. 이 연구에서는 Ad-hoc CRN(cognitive radio network)에서 트래픽 처리와 스펙트럼 사용률을 최대로 하기 위해 사용하였던 릴레이 선정문제를 셀룰러망에 적용한 것으로 릴레이를 사용하지 않는 경우와 비교하여 채널 사용의 공평성에서 성능이 향상됨을 보였다.

한편 CR기술에 의한 스펙트럼 홀과 시계열 예측기법들을 결합하여 인지 사용자의 품질을 보장 할 수 있는 기법들이 제안되어 있다. 시계열 예측기법으로는 위너(Wiener)예측기법, ARMA (autoregressive moving average)예측기법, 신경망 예측기법, MMOSPRED (multi-media one step prediction) 예측기법 등이 있다. 대표적인 것으로 CR기술에 의한 스펙트럼 홀과 그 스펙트럼 홀의 크기를 예측하는데 위너 예측기법을 이용하여 인지 사용자의 스펙트럼 핸드오버 성능을 향상시킨 연구가 있고[6], 인지 사용자 모바일의 셀 이동을 Ziv-Lempel 기법으로

예측하고, 신경망 기법으로 스펙트럼 홀을 예측하여 인지 사용자의 품질을 향상시킨 연구도 있다[7].

본 논문에서는 기존의 위너예측 알고리즘을 이용하여 PU의 각 채널에서 발생하는 스펙트럼 홀 자원의 크기를 예측하고, 이를 기초로 하여 같은 시간에 발생하는 스펙트럼 홀 자원을 그룹핑(grouping)하는 기법을 제안하고, 이를 이용하여 셀룰러 인지 라디오 망에서 광대역 인지 사용자 호의 서비스 품질을 향상시킨다. 2장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 구성과 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 인지 사용자 호의 서비스 알고리즘에 대해 기술한다. 3장에서는 제안하는 스펙트럼 홀 그룹핑 개념과 모바일 인지 사용자 호를 서비스하기 위한 스펙트럼 홀 자원의 공유기법을 나타낸다. 4장에서는 위너(Wiener)예측 알고리즘에 대해 기술하고, 5장에서는 스펙트럼 홀 그룹핑 기법과 기존의 방법에 의한 인지 사용자 호의 서비스 품질을 비교한다. 6장에서는 본 논문에 대한 결론과 향후 연구내용에 대해 기술한다.

II. 시스템 구성과 알고리즘

본 논문에서 고려하는 셀룰러 인지 라디오 망은 PU의 다중 채널의 채널상태 정보(CSI;channel state information)를 기초로 PU의 스펙트럼 홀을 그룹핑하여 광대역 인지 사용자 (WCRU;wideband cognitive radio user) 호에 할당하여 서비스 되도록 한다. 이를 위한 시스템은 셀룰러 망, 인지 라디오 기술로 구성되며, 인지 라디오 기지국(CRBS;cognitive radio base station)은 스펙트럼 인지 기술을 기초로 이전의 PU의 채널 상태의 프로파일(profile)을 이용하여 다중채널 상의 스펙트럼 홀을 위너예측기법으로 예측하고, 이들 예측된 주파수 대역을 그룹핑하여, 인지 사용자 호에 할당하여 심리스(seamless)한 통신을 할 수 있게 한다. 스펙트럼 홀 그룹핑 대역에 기초한 셀룰러 인지 라디오 망의 구성을 그림 1에 나타낸다.

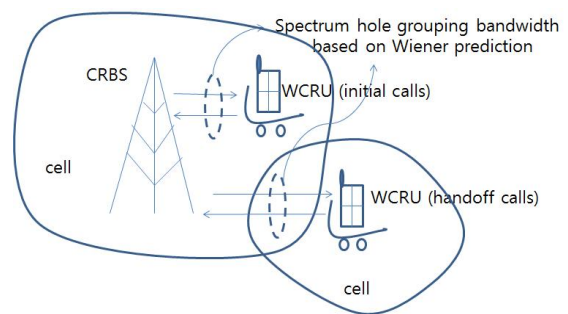


그림 1. 스펙트럼 홀 그룹핑 대역에 기초한 셀룰러 인지 라디오 망.

Fig. 1. Spectrum hole grouping bandwidth based cellular cognitive radio networks.

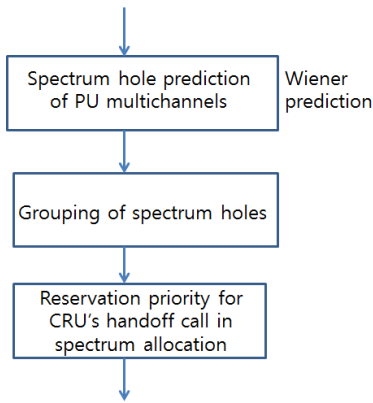


그림 2. 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 인지 사용자 호의 서비스.
 Fig. 2. WCRU's call service using spectrum hole grouping.

그림 2는 스펙트럼 홀의 그룹핑을 이용하여 인지 사용자 호의 서비스를 지원하는 과정을 나타낸 것이다. PU 채널의 스펙트럼 홀은 위너예측 기법으로 예측하고, 같은 시간에 발생하는 예측된 단일 PU 스펙트럼 홀들을 그룹핑 하여 인지 사용자의 핸드오프 호 서비스를 위해 예약하여 우선 할당한다.

III. 스펙트럼 홀 그룹핑과 스펙트럼 홀 자원의 공유기법

특정 셀에서 단일 PU 채널들의 스펙트럼 홀을 예측하여, 동일 시간에 발생하는 스펙트럼 홀들을 그룹핑 하는 방법, 스펙트럼 홀 자원을 모바일 인지 사용자의 서로 다른 호에 할당하는 방법, PU와 WCRU의 스펙트럼 공유모드에 대해 기술한다.

3-1 스펙트럼 홀 그룹핑 개념

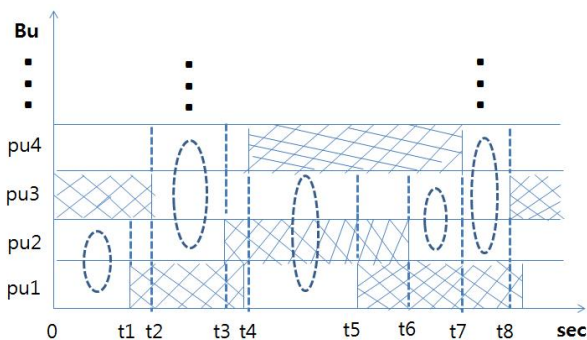


그림 3. 스펙트럼 홀 그룹핑 개념.
 Fig. 3. Spectrum hole grouping concept.

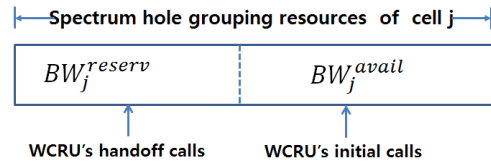


그림 4. WCRU 지원을 위한 동적 스펙트럼 홀 그룹핑 자원 할당.
 Fig. 4. Dynamic spectrum hole grouping based resources allocation for WCRU call services.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 스펙트럼 홀 그룹핑 개념을 나타낸다. 특정 셀에서 발생하는 PU 사용자 채널의 스펙트럼 홀의 그룹핑 방법을 인접 채널간의 그룹핑($0 \sim t_1, t_2 \sim t_3, t_6 \sim t_7, t_7 \sim t_8$)과 이격된 채널간의 그룹핑($t_4 \sim t_5$)을 나타낸 것이다. 그룹핑을 하게 되면 큰 대역의 자원을 요구하는 광대역 인지 사용자 호를 서비스할 때 기존의 단일 채널의 스펙트럼 홀을 이용하여 서비스 할 때 발생하는 핸드오프 호의 손실률(dropping rate) 과 초기 발생호의 차단률(blocking rate)을 줄일 수 있다.

3-2 WCRU호를 지원하기 위한 스펙트럼 홀의 할당방법

그림 4는 WCRU의 핸드오프 호와 초기 발생호의 지원을 위한 셀 j 의 스펙트럼 홀 그룹핑 자원의 할당기법을 나타낸다. 여기서, BW_j^{reserv} 는 셀 j 의 스펙트럼 홀 그룹핑 자원중에서 인지 사용자의 핸드오프 호를 위해 예약 후 할당하는 대역폭을 나타내며, BW_j^{avail} 는 핸드오프 호를 지원하기 위해 예약하고 남은 자원으로 초기 발생 호를 지원할 수 있는 대역폭 양이다.

3-3. PU와 WCRU의 자원 공유기법

WCRU가 PU의 스펙트럼을 액세스하는 방법에는 계획적인 스펙트럼 액세스 방법인 일렬모드 (overlay mode)가 있는데, 이 모드는 센싱이나 예측을 통하여 PU의 주파수 대역이 비어 (idle) 있을 때, WCRU가 PU의 주파수 대역을 이용 할 수 있어 WCRU의 전송이 PU에 간섭을 주지 않는 방법이다. 중첩모드 (underlay mode)는 WCRU가 PU의 스펙트럼을 같이 사용하는 방법으로 PU의 QoS를 보장하기 위한 간섭을 최소화하면서 PU의 대역을 공유하는 방법이다. 복합 일렬/중첩모드 (hybride overlay/underlay mode)는 PU의 대역이 비어 있을 때는 일렬모드로 PU의 대역을 사용하고, PU의 대역이 사용 중일때는 중첩모드로 동작하여 PU에 대한 허용 간섭을 지키면서 WCRU는 PU의 대역을 사용 할 수 있다.

그림 5는 본 논문에서 고려하는 광대역 WCRU사용자를 지원하기 위한 스펙트럼 일렬모드 구조를 나타낸다. 인지 사용자 호가 요구하는 주파수 대역은 PU의 $N Bu$ (bandwidth unit)를 사용하는 구조이다.

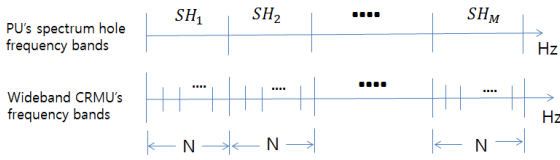


그림 5. PU의 스펙트럼 홀 대역과 WCRU 호 요구 대역의 일렬모드.
 Fig. 5. Overlay mode between PU spectrum hole bands and WCRU call bands.

IV. 위너 예측 알고리즘

위너 예측 알고리즘은 대표적인 랜덤 시계열 과정의 예측 알고리즘으로 개선된 다양한 형태의 위너예측 모델이 있다[8]. 본 논문에서는 PU의 각 채널에서 발생하는 스펙트럼 홀의 크기를 예측하는데 다음과 같은 방법을 사용한다. PU채널의 스펙트럼 홀의 크기를 $SH(t)$ 로 표시할 때, $SH(t)$ 는 확률과정으로 모델링되며 $SH(t)$ 의 이전의 값과 현재의 값을 이용하여 다음 시점에서의 미래의 값을 예측한다. Δt 를 스펙트럼 홀의 예측간격으로 둘 때, $SH(t)$ 의 변화량 $\Delta SH(t)$ 는 평균이 $\mu \Delta t$ 이고, 표준편차가 $\delta \sqrt{\Delta t}$ 인 랜덤 변수인 식(1)과 같이 표시된다.

$$\Delta SH(t) = SH(t) - SH(t - \Delta t) = \mu \Delta t + \alpha \delta \sqrt{\Delta t} \quad (1)$$

여기서 α 는 표준 정규 랜덤변수로 평균이 0이고 표준편차가 1이다. 현재의 시점 t 에서 이전의 k 개의 스펙트럼 홀의 크기 샘플값 $sh(t)$ 를 이용하여 μ 와 δ 값을 추정한다. 식(2),(3)은 모두 μ 와 δ 의 추정값을 나타낸다.

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (sh(t - i\tau) - sh(t - i\tau - \tau))}{k\tau} = \frac{sh(t) - sh(t - k\tau)}{k\tau} \quad (2)$$

$$\hat{\delta} = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{k-1} (sh(t - i\tau) - sh(t - i\tau - \tau) - \hat{\mu}\tau)^2}{k}} \quad (3)$$

여기서, τ 는 μ 와 δ 값을 추정할 때 사용하는 스펙트럼 홀 샘플 값의 간격을 나타낸다. 정확한 추정값을 얻기 위해서는 예측간격 Δt 내에서 τ 를 작게 하여 많은 샘플 값을 취할 필요가 있다.

V. 시뮬레이션

셀룰러 인지 라디오 망에서 단일 PU채널의 스펙트럼 홀과 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 성능을 비교하기 위해 사용하는 성능척도는 WCRU의 핸드오프 호 손실률 (dropping rate)과 초기 발생 호의 차단률 (blocking rate)이다.

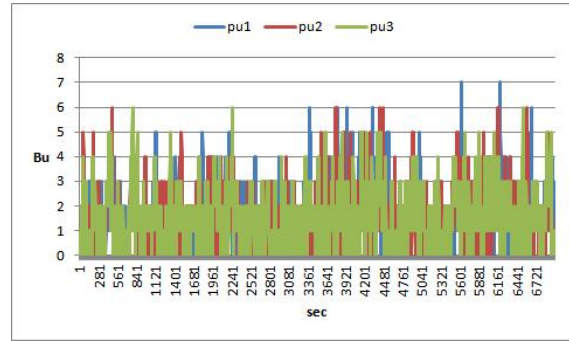


그림 6. PU1, PU2, PU3 채널의 점유 대역폭(Bu).
 Fig. 6. Channel occupied bandwidths of PU1, PU2 and PU3 (Bu).

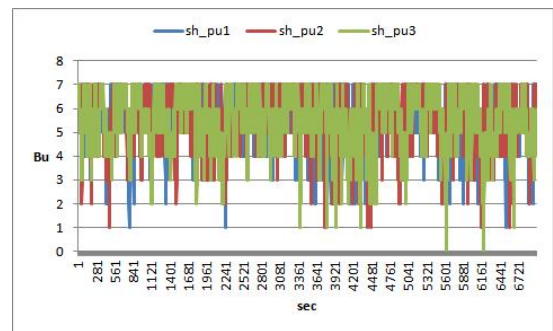


그림 7. PU1, PU2, PU3 채널의 스펙트럼 홀의 크기(Bu).
 Fig. 7. Channel spectrum holes of PU1, PU2 and PU3 (Bu).

PU와 WCRU의 스펙트럼 공유모드는 일렬모드로 PU채널 용량은 7 Bu이고, 광대역 인지 사용자의 요구 대역폭은 $N=2 Bu$ 이다. 3개의 PU채널을 고려하며, 각각의 채널 PU1, PU2, PU3의 트래픽의 대역 점유상태는 포아송(Poisson)분포의 호 도착과 지수함수의 서비스 시간 분포를 갖는다.

PU1채널: $\lambda_{PU1} = 0.1$ 개/초, $\mu_{PU1} = 0.08$ 개/초,
 PU2채널: $\lambda_{PU2} = 0.09$ 개/초, $\mu_{PU2} = 0.07$ 개/초,
 PU3채널: $\lambda_{PU3} = 0.08$ 개/초, $\mu_{PU3} = 0.06$ 개/초의 트래픽이 각각의 채널을 점유한다. WCRU의 호는 포아송 호 도착과 지수함수의 서비스 시간 분포를 갖는다. $\lambda_{CRMU} = 1 \sim 7$ 개/초, $\mu_{CRMU} = 0.82$ 1/초. WCRU의 초기 발생 호와 핸드오프 호의 발생확률은 각각 1/2로 동일하다. PU1, PU2, PU3 채널의 예측된 스펙트럼 홀의 크기는 위너예측으로 얻어지고, 파라메타 값은 $\Delta t = \tau = 1$ sec, $k = 25$ 이다.

그림 6은 주 사용자 PU1, PU2, PU3가 차지하는 대역폭을 나타내며 각 채널의 채널용량이 7 Bu 일때, PU1은 대역폭 이용률이 약 21%이고, PU2와 PU3채널은 약 20%이다.

그림 7은 PU1, PU2, PU3채널의 스펙트럼 홀의 크기를 나타낸다. 평균적으로 약 80%의 미사용률을 나타내고 있다.

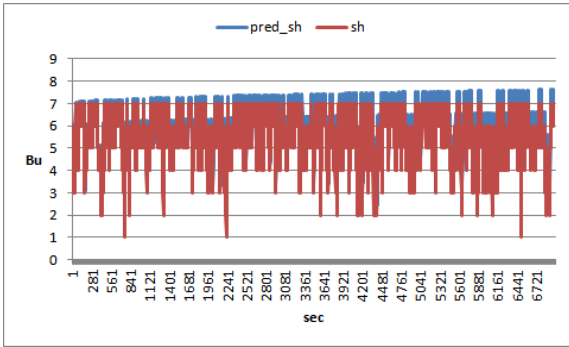


그림 8. 스펙트럼 홀의 위너 예측(PU1).
 Fig. 8. Wiener prediction based spectrum holes.

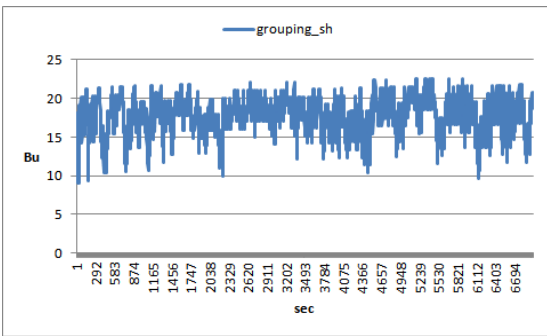


그림 9. 그룹핑 한 스펙트럼 홀의 대역폭(Bu).
 Fig. 9. Grouping spectrum hole bandwidth (Bu).

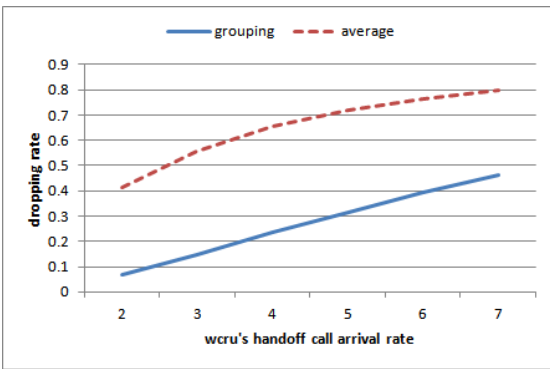


그림 10. 핸드오프 호의 손실률 비교.
 Fig. 10. Comparison of handoff call dropping rate.

그림 8은 PU1 채널의 스펙트럼 홀의 크기를 위너 예측기로 예측한 것을 나타낸다. 예측오차는 +1 Bu 이하임을 알 수 있다. 그림 9는 PU1, PU2, PU3의 스펙트럼 홀을 그룹핑한 대역폭을 나타낸다. 평균적으로 17.84 Bu의 대역폭을 WCRU가 이용할 수 있음을 알 수 있다.

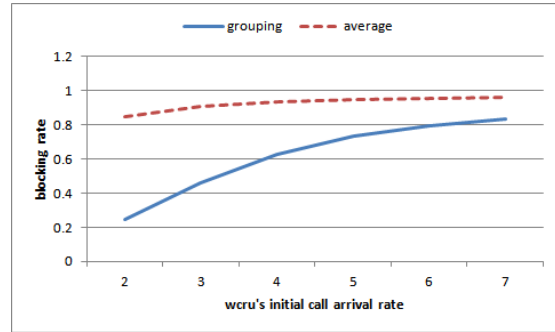


그림 11. 초기 발생 호의 차단율 비교.
 Fig. 11. Comparison of initial call dropping rate.

그림 10은 WCRU의 핸드오프호의 손실률을 3개의 PU채널에 대한 손실률을 평균한 것과 그룹핑에 의한 손실률을 비교한 것이다. 스펙트럼 홀 그룹핑에 의한 호 지원이 손실률을 현격하게 줄일 수 있음을 보였다.

그림 11은 WCRMU의 초기 발생호의 차단율을 3개의 PU채널에 대한 차단율의 평균값과 그룹핑에 의한 차단율을 비교한 것이다. 인지 사용자의 초기 발생호의 차단율도 훨씬 줄일 수 있음을 보였다.

따라서, PU1, PU2, PU3의 개개의 채널의 스펙트럼 홀로 지원할 경우 성능저하를 가져오는 광대역 인지 사용자호에 대해서는 스펙트럼 홀의 그룹핑으로 얻은 확장된 대역폭으로 지원할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 스펙트럼 홀의 그룹핑으로 인해 개개의 PU채널에서 발생하는 예측오차가 합해지는 문제점이 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 인지 라디오 망에서 위너 예측기법 의한 예측된 스펙트럼 홀을 그룹핑 하는 방법을 제안하고, 이를 이용하여 광대역 인지 사용자의 서비스 품질을 향상시킬 수 있음을 보였다. 또한 인지 사용자의 핸드오프 호에 스펙트럼 홀 사용의 우선권을 부여하여 스펙트럼 홀 예약을 통해 지원함으로써 초기 발생호 보다는 서비스 품질이 더욱 향상됨을 보였다. 향후 연구는 인지 사용자가 요구하는 대역폭을 기준으로 스펙트럼 홀을 선택적으로 그룹핑 함으로써 스펙트럼 홀의 이용률을 높일 수 있는 채널할당 방법과 스펙트럼 홀 그룹핑 기반 호 수락제어방법에 대한 것이다.

Acknowledgments

본 연구는 2019년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] J. Mitola, Cognitive Radio: An integrated agent architecture for software defined radio, Ph. D. dissertation, Royal Institute of Technology(KTH), Stockholm, Sweden 2000.
- [2] J. Mitola, "The software radio architecture," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33, Issue 5, pp. 26-38, May 1995.
- [3] M. M. Saleh, and H. Rallapall, "Quick detection and assignment of spectrum hole in cognitive radio," in *Proceedings of International Conference on Intelligent Systems, Data Mining and Information Technology*, Bangkok: Thailand, pp. 124-127, April 2014.
- [4] S. Tafazzoli, et al., "Cognitive radio handover in cellular network," *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 11, Issue 2, No 1, pp. 44-55, March 2014.
- [5] K. Lang, et. al., "Joint spectrum allocation and relay selection in cellular cognitive radio networks," in *Proceedings of The 5th Annual ICST Wireless Internet Conference(WICON)*, Singapore: Singapore, pp. 1-8, March 2010.
- [6] J. Y. Lee, "A channel allocation scheme based on spectrum hole prediction in cognitive radio wireless networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 19, No. 4, pp. 318-322, Aug. 2015.
- [7] J. Y. Lee, "Channel allocation using mobile mobility and neural net spectrum hole prediction in cellular-based wireless cognitive radio," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 21, No. 4, pp. 347-352, Aug. 2017.
- [8] J. C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivative Securities*, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993.



이진이 (Jin-Yi Lee)

1985년 : 송실대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 : 송실대학교 전자공학과 (공학석사)
1994년 : 송실대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 광대역 무선통신 망, CNS/ATM