

셀룰러 기반 무선 인지망에서 모바일 이동성과 신경망 스펙트럼 홀 예측에 의한 채널할당

Channel Allocation Using Mobile Mobility and Neural Net Spectrum Hole Prediction in Cellular-Based Wireless Cognitive Radio Networks

이진이

청운대학교 전자공학과

Jin-yi Lee

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

[요 약]

본 논문에서는 셀룰러 기반 무선 인지망에서 스펙트럼 인지(CR)기술을 이용하여 모바일 사용자의 핸드오버 호의 손실확률을 줄이는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 모바일이 방문할 셀을 Ziv-Lempel 알고리즘을 이용하여 예측하고, 방문할 셀에 할당된 채널이 부족할 때는 CR기술에 기초한 스펙트럼 홀 자원을 예측하여 모바일 사용자를 지원한다. 스펙트럼 홀 자원의 크기는 신경망기법으로 예측하며, 예측된 스펙트럼 홀 자원은 핸드오버 호가 초기 발생 호 보다 우선하여 사용할 수 있게 한다. 시뮬레이션을 통하여 셀룰러 이동 통신망에 CR기술을 사용함으로써 모바일 사용자의 핸드오버 호 손실확률을 줄일 수 있음을 보인다.

[Abstract]

In this paper, we propose a method that reduces mobile user's handover call dropping probability by using cognitive radio technology(CR) in cellular - based wireless cognitive radio networks. The proposed method predicts a cell to visit by Ziv-Lempel algorithm, and then supports mobile user with prediction of spectrum holes based on CR technology when allocated channels are short in the cell. We make neural network predict spectrum hole resources, and make handover calls use the resources before initial calls. Simulation results show CR technology has the capability to reduce mobile user handover call dropping probability in cellular mobile communication networks.

Key words : CR technology, Ziv-Lempel algorithm, Mobility prediction, Neural net spectrum hole prediction, Handover dropping probability.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.4.347>



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 21 July 2016; Revised 26 July 2017

Accepted (Publication) 23 August 2017 (30 August 2017)

*Corresponding Author; Jin-yi Lee

Tel: +82-32-770-8221

E-mail: jinyi@chungwoon.ac.kr

I. 서론

인지 라디오(CR; cognitive radio)기술은 채널사용의 허가를 받지 못한 cu사용자(cognitive user)가 채널사용의 권한을 갖고 있는 pu사용자(primary user)에게 할당된 스펙트럼 대역을 일시적으로 사용하는 기술로 무선응용의 급속한 성장으로 인한 스펙트럼 부족현상과 고정스펙트럼 할당방식에 의한 스펙트럼 이용의 비효율성을 해결 할 수 있는 기술이다. 이 기술은 cu사용자가 pu사용자에게 어떠한 간섭도 주지 않고, pu사용자의 스펙트럼 대역을 이용하며, cu사용자는 pu사용자가 스펙트럼 대역을 요구할 때는 사용하던 스펙트럼 자원을 비워주고, 사용하지 않는 다른 pu스펙트럼 대역(spectrum hole 또는 white spectrum)으로 스펙트럼 핸드오프(spectrum handoff)하여 데이터 전송을 마칠 수 있게 하는 동적 스펙트럼 액세스(DSA; dynamic spectrum access)기법이다[1].

CR기술에는 특정시간과 특정장소에서 스펙트럼 홀 자원을 찾아내어, pu사용자에게 간섭을 주지 않고 cu사용자가 통신을 할 수 있도록 하는 스펙트럼 인지능력(cognitive capability)과 cu사용자가 변화하는 스펙트럼 자원과 통신환경에 적응하여 통신을 할 수 있게 하는 통신기술의 재설정(reconfigurability)을 큰 특징으로 한다. 전자에는 스펙트럼센싱, 스펙트럼관리(스펙트럼분석, 스펙트럼결정), 스펙트럼이동성, 스펙트럼공유가 포함되며, 후자에서는 하드웨어적인 변화 없이 라디오주파수, 전송전력, 변조기법, 통신프로토콜 등을 변화시킬 수 있다[2],[3].

셀룰러망에서 모바일의 이동으로 인한 핸드오버(handover)와 관련한 채널할당 방법에는 크게 정적인 방법과 동적인 방법이 있으며, 정적인 방법에서는 각각의 셀에 고정된 채널수가 할당되며, 모바일 사용자가 주변 셀로 핸드오버할 때 여유채널이 없으면 핸드오버 호는 손실(dropping)되고 만다. 그러나 동적인 방법은 핸드오버하려는 셀에 여유채널이 없을 경우에는 이웃 셀의 여유채널을 이용하여 핸드오버를 성공시킨다[4]. 대부분의 논문은 원하는 핸드오버 호의 성공률을 보장하기 위해 동적인 채널할당방법을 이용하였다. 그러나 동적인 방법은 핸드오버의 실패를 최소화할 수 있지만, 주변셀의 통신여건의 탐색, 정보의 업데이트와 관련된 많은 제어신호의 오버헤드로 인해 호의 품질저하를 초래하여 실제 사용되지는 않고 있다[5]. 셀룰러망에서 CR기술을 사용하여 모바일의 핸드오버를 실현하는 논문으로 [5]가 있으며, 이 논문에서는 채널할당에서 우선순위를 pu사용자의 핸드오버 호 연결에 최고순위로 두고, pu사용자의 초기 호 연결, cu사용자의 핸드오버 호 연결, cu사용자의 초기 발생 호 연결순으로 하여, 연결의 성공률을 비교하였고, CR기술에 의한 자원할당기법을 사용하여 HO(handover)를 지원하는 과정을 CRHO(cognitive radio handover)라고 명명하였다.

무선 인지망에서 cu사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 손실률을 줄이기 위해 예측기법을 사용한 연구로는 [6]이 있으며, 여기서는 pu사용자의 출현을 위너예측(wiener prediction)기법으로 예측하고, cu사용자가 스펙트럼 핸드오프해야 할 경우에

는 전용채널을 이용하여 cu사용자가 서비스를 마치도록 하였다. [7]에서는 cu사용자의 호를 실시간 호와 비실시간 호로 구분하고, 셀룰러망의 전통적인 자원 스케줄링 기법을 수정하여 실시간 호의 손실률을 줄였다. 여기서는 cu사용자의 도착을 신경망기법을 사용하여 예측하였다.

무선 인지망에서 스펙트럼 홀 예측 기법을 처음 제안하여 cu사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 손실률을 줄이는 방법이 있다[8]. 여기서는 위너예측이론을 이용하여 pu사용자의 유희자원인 스펙트럼 홀 자원을 예측하고, 이 자원 중에 일부를 스펙트럼 핸드오프 호가 전용(guard scheme)으로 사용할 수 있게 하여 cu사용자의 스펙트럼 핸드오프 호의 손실률을 줄였다.

본 논문에서는 인지 라디오기술을 셀룰러 망구조의 이동통신망에 적용하여 모바일의 이동으로 인한 셀 간의 핸드오버 호의 손실률을 줄인다. 이를 위해 cu사용자 모바일의 셀 이동성을 Z-L(Ziv-Lempel)알고리즘으로 예측하고, 셀에 할당된 자원이 부족 할 때는 예측된 스펙트럼 홀 자원을 이용하여 cu사용자의 셀 간의 핸드오버 호 손실률을 줄인다. 스펙트럼 홀 자원의 크기는 신경망기법으로 예측한다. 이러한 방법은 인지 라디오기술을 이용하여 기존의 셀룰러 이동통신망에서 셀 이동으로 발생하는 핸드오버 호의 손실을 줄일 수 있는 새로운 방법이다. 2장에서는 본 논문의 셀룰러 기반 무선인지 이동통신 시스템에서 모바일의 이동 셀과 CR기술에 의한 pu사용자와 cu사용자의 자원할당 구조를 나타낸다. 3장에서는 데이터 압축에 사용하는 Z-L알고리즘을 이용하여 모바일이 방문할 셀을 예측하는 방법과 신경망이론을 이용하여 방문할 셀의 스펙트럼 홀 자원을 예측하는 방법에 대해 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 CR기술을 이용한 셀룰러망의 핸드오버 호의 손실률을 줄이는 알고리즘에 대해 기술한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통하여 셀룰러 이동통신망에서 CR기술을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 핸드오버 호 손실확률과 초기발생 호의 차단확률을 비교하여, CR기술을 이용함으로써 끊음이 없는(seamless)통신을 보장할 수 있음을 보였다. 6장에서 본 논문의 결론과 향후 연구내용에 대해 기술한다.

II. 시스템 모델링

cu모바일이 이동하는 셀의 경로를 Ziv-Lempel 알고리즘을 이용하여 예측하고, 방문할 셀에 할당된 여유채널이 있을 경우에는 그 채널을 할당하여 cu모바일사용자의 핸드오버를 지원한다. 그러나 할당된 스펙트럼 자원이 부족할 경우에는 CR기술에 의한 방문셀의 스펙트럼 홀 자원을 신경망기법으로 예측하고, 필요한 자원을 예약하여 cu의 핸드오버 호를 지원한다.

그림1은 cu모바일이 이동하는 셀과 CR기술에 의한 pu사용자와 cu사용자의 스펙트럼 공유구조를 나타낸다. 스펙트럼 공유구조는 일렬구조(overlay)이며, 일렬구조에서는 pu사용자가

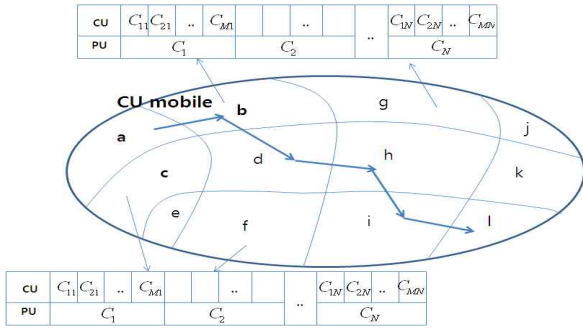


그림 1. cu모바일의 이동성과 CR기술에 의한 셀 스펙트럼의 일렬구조.
 Fig. 1. CU mobile's mobility and overlay spectrum structure based on CR technology.

점유하는 하나의 주파수 대역은 cu사용자에게는 M개의 부대역(subband)으로 구성되어, pu사용자의 하나의 주파수 대역을 M개의 cu사용자 호가 pu사용자에 간섭을 주지 않고 기회적으로 사용할 수 있다.

III. cu모바일의 이동성 예측과 스펙트럼 홀의 예측

cu모바일의 이동성 예측은 Ziv-Lempel 알고리즘을 이용한 [10]. 이 알고리즘은 입력 문자열(input string)을 부 문자열(substrings)로 파싱(parsing)한 다음, 루트(root)로부터 잎(leafs)에 이르는 트리(trie)를 구성한 후, 주어진 구(phrase)다음에 올 단어(context)를 추정한다. 본 논문에서는 이 방법을 이용하여 cu모바일이 이동할 셀을 예측하고, 이동할 셀의 스펙트럼 홀의 크기는 신경망 예측기를 이용한다.

3-1 Ziv-Lempel 알고리즘

부호기는 입력 문자열 x 를 n 개의 부 문자열 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 로 파싱한다. 그림2에 나타낸다.

입력 문자열 $x : aababbbbaabccddcbaab..$ 은 부 문자열 $x_1, x_2, \dots, x_n : a, aa, b, ab, bb, bba, abc, c, d, dc, ba, aab..$ 로 파싱한다. 파싱된 부 문자열을 이용하여 트리를 구성하면 그림 3과 같다. 그림에서 $a(5)$ 는 a 로 시작하는 서브 스트링의 개수이다. 루트에서 시작하여 마지막 잎에 도달한 서브 스트링 $(aab), (abc), (ba), (bba), (c), (dc)$ 의 확률은 각각 $1/12$ 로 동일하다.



그림 2. Ziv-Lempel 부호기.
 Fig. 2. Ziv-Lempel Encoder.

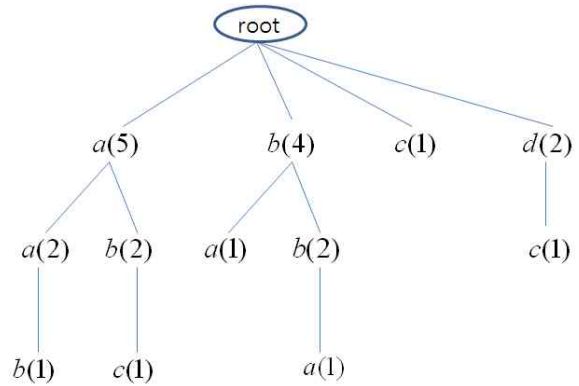


그림 3. Tree 구조.
 Fig. 3. Tree structure.

3-2 이동성 예측

모바일의 이동성 예측은 근본적으로 텍스트 압축기법에 사용되는 부분매칭기법(partial matching)[9]와 유사하다. 모바일이 이전에 방문한 셀에 대한 지식을 바탕으로 셀 방문 예측기는 트리의 확률정보를 이용하여 방문할 다음 셀의 확률을 추정한다.

Ziv-Lempel encoder의 입력 스트링은 cu모바일이 방문한 셀들을 나타내며, 파싱에 의한 부 스트링에 의해 구성된 이동성 트리(mobility trie)를 이용하여 cu모바일이 다음에 방문할 셀을 예측한다. cu모바일이 마지막으로 방문한 셀이 'aab'일 때 다음에 방문할 셀의 확률을 구하여 예측한다. 'a', 'b', 'c', 'd' 셀을 방문할 확률이 p_a, p_b, p_c, p_d 이다.

$$p_a = w_2 p_{2a} + w_1 p_{1a} + w_0 p_{0a} \quad (1)$$

$$p_b = w_2 p_{2b} + w_1 p_{1b} + w_0 p_{0b} \quad (2)$$

$$p_c = w_2 p_{2c} + w_1 p_{1c} + w_0 p_{0c} \quad (3)$$

$$p_d = w_2 p_{2d} + w_1 p_{1d} + w_0 p_{0d} \quad (4)$$

여기서, $w_n (0 < w_n < 1)$ 은 가중치이다. p_{0n}, p_{1n}, p_{2n} 은 각각 이동성트리의 0-order, 1-order, 2-order에 의해 $n (= a, b, c, d)$ 셀을 방문할 확률을 나타낸다. 여기서, 0-order는 서브 스트링으로 파싱하기 전 루트에서 결정된 입력 스트링(모바일의 셀 경로) 각각에 의해(base 0) 셀 'b' ('aab'의 'b') 다음에 방문할 셀을 추정하며(확률값), 1-order는 encoder의 부 스트링 모두에 대해, 마지막으로 방문한 셀 스트링('aab')의 마지막 셀 하나('b')(base 1)에 기초하여 방문할 셀을 추정하며, 2-order는 encoder의 부 스트링 모두를 참조하여, 마지막으로 방문한 셀 스트링('aab')의 마지막 두 개의 셀('ab')(base 2)에 기초하여 방문할 셀을 추정한다. 그림 3의 트리에 의한 각각의 확률은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} p_{2a} p_{1a} p_{0a} \\ p_{2b} p_{1b} p_{0b} \\ p_{2c} p_{1c} p_{0c} \\ p_{2d} p_{1d} p_{0d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 9/23 \\ 0 & 1/2 & 9/23 \\ 1 & 0 & 3/23 \\ 0 & 0 & 2/23 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3-3 신경망을 이용한 스펙트럼 홀 자원의 예측

cu모바일을 지원하기 위한 셀에 할당된 스펙트럼 자원이 부족할 때는 CR기술로 센싱한 스펙트럼 홀 자원으로 cu모바일 호를 지원한다. 이때 cu모바일에 할당해 줄 수 있는 스펙트럼 홀 자원의 크기는 셀에서 이전에 센싱한 스펙트럼 홀 자원의 프로파일(profiles)로 신경망을 학습하여 특정시점에서의 스펙트럼 홀 자원의 크기를 예측하고, 필요한 양을 예약하여 cu모바일의 핸드오버 호에 우선 할당함으로써 호가 손실되는 경우를 줄인다.

본 논문에서는 cu사용자의 모바일이 방문할 셀의 스펙트럼 홀 자원의 크기를 신경망기법으로 예측하는 기법을 제안하고, 이 기법을 이용하여 cu모바일의 핸드오버호의 손실확률을 줄인다. 그 구조는 그림4에 나타낸다. 인지 라디오망에서 신경망 예측기법을 이용하는 경우는 cu사용자의 서비스 품질향상을 위해 pu사용자의 재출현을 예측하는 경우가 있다[7].

셀에서 특정 시점에 관측되는 스펙트럼 홀의 크기를 예측하기 위해서는 신경망의 학습단계와 예측단계가 필요하다. 학습 단계에서는 t_i 시점까지 관측된 스펙트럼 홀 자원인 $X_i = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 이 입력되고, 출력층의 목표값 Y_i 는 그 다음 시점에 관측 스펙트럼 홀의 크기 x_{n+1} 으로 입력하여 신경망 출력의 오차를 최소화하는 오차 역전파 알고리즘으로 신경망을 학습시킨다. W_{ij} ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq k$)와 W_j 는 각각 입력층과 은닉층, 은닉층과 출력층의 웨이트(weight)값들이고 학습과정에서 반복적으로 업데이트된다. 스펙트럼 홀의 예측단계에서는 t_i ($1 \leq i \leq n$) 시점까지 관측된 스펙트럼 홀 자원인 $X_i = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 를 입력하여 그 다음 시점 t_{n+1} 에서 예측된 스펙트럼 홀 자원의 크기 \hat{Y}_i 을 얻는다.

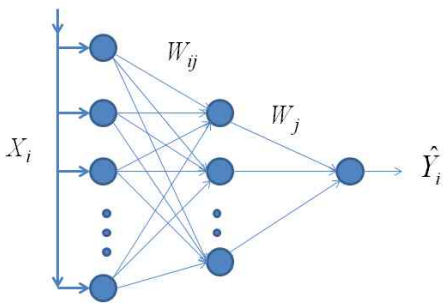


그림 4. 스펙트럼 홀 예측을 위한 신경망 구조.
Fig. 4. Neural networks for spectrum holes prediction.

IV. 셀룰러망에서 CR기술을 이용한 핸드오버 호의 손실률 개선 알고리즘

제안한 방법은 cu모바일 호가 방문할 셀을 Z-L 알고리즘으로 예측하고, 방문이 예측된 셀에서 발생하는 핸드오버 호와 처음 시작하는 초기 발생 호를 셀룰러시스템에서 할당한 자원으로 호를 서비스한다. 그러나 할당된 자원이 부족할 경우에는 CR기술에 의한 스펙트럼 홀 자원을 이용한다. 스펙트럼 홀 자원의 크기는 그 셀에서 이전에 관측되었던 스펙트럼 홀 자원을 기초로 신경망기법으로 예측하여 cu모바일의 핸드오버 호에 우선 할당하여 핸드오버호의 손실률을 줄인다. 이것은 초기 발생 호 보다는 이미 서비스 중인 핸드오버 호의 품질보장이 우선이기 때문이다. 그림 5는 CR기술을 기초로 한 셀룰러 기반 무선인지 시스템에서 주파수 자원의 관계를 보여준다. \square 는 기지국이 사용 중인 채널을 나타낸다. \square 는 cu호가 사용할 수 있는 pu호의 스펙트럼 홀(화이트 스펙트럼)채널을 나타내며, pu호는 상대적으로 cu호에 비해 광대역 서비스 호이다. 즉, 하나의 pu호가 일시적으로 비워둔 채널을 다수의 cu호가 사용할 수 있음을 나타낸다.

그림 6은 제안한 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. cu모바일 호는 새로 발생한 초기 호와 모바일의 이동으로 발생하는 핸드오버 호로 구분하고, 셀에 할당된 고정스펙트럼 자원이 부족할 때는 CR기술의 스펙트럼 홀 자원을 이용하며, 이때 핸드오버 호에 우선하여 스펙트럼 홀 자원을 할당해준다.

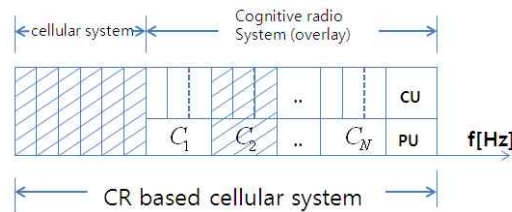


그림 5. 셀룰러 시스템에서 인지라디오 스펙트럼 구조.
Fig. 5. Cognitive radio structure in cellular radio system.

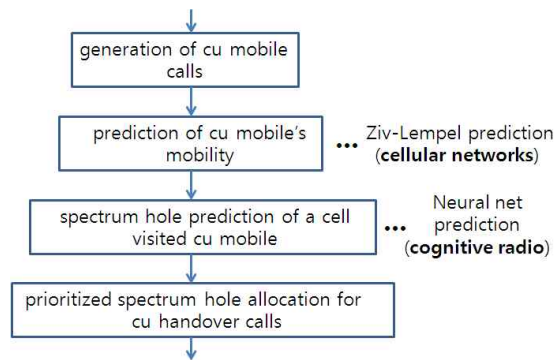


그림 6. 제안한 알고리즘의 흐름도.
Fig. 6. The flow chart for proposed algorithm.

V. 시뮬레이션

성능 평가는 셀룰러 기반 무선인지 시스템에서 CR기술을 사용하는 제안된 방법과 CR기술을 사용하지 않고 할당된 자원으로만으로 호를 서비스하는 경우, 핸드오버 호의 손실확률과 초기 발생 호의 차단확률을 비교한다. 이를 위해 cu모바일이 방문할 셀은 Z-L 알고리즘으로 예측된 것으로 가정한다. 셀에서 발생하는 호 트래픽 분포는 포아송 호 도착과 지수분포의 호 지속시간을 갖고, 인지 라디오 스펙트럼 구조는 일렬구조(overlay)를 갖는 것으로 한다. CR시스템의 일렬구조에서 pu의 주채널과 cu의 부채널은 $N=10Bu, M=4Bu$ 으로 하고, pu호의 트래픽 특성은 $\lambda_{pu}=3$ 개/초, $1/\mu_{pu}=10$ 초로 하여 스펙트럼 홀의 크기를 예측한다. 셀룰러 시스템의 cu모바일에서 발생하는 핸드오버 호 발생은 초기 발생 호의 50%이고, 초기 발생 호 $\lambda_{cu}=0.1 \sim 0.5$ 개/초와 $1/\mu_{cu}=100$ 초 일 때 호의 차단율과 손실률을 비교한다. 호가 요구하는 채널의 크기는 모두 $1Bu$ 이다.

CR기술에 의한 성능향상을 쉽게 확인하기 위하여 셀룰러 시스템에 할당된 채널은 모두 점유된 것으로 한다.

그림 7은 cu모바일이 방문한 셀에서 pu사용자가 점유한 채널의 상태와 스펙트럼 홀을 나타낸다.

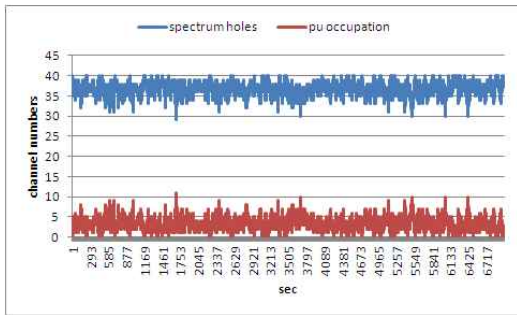


그림 7. CR 시스템에서 채널의 점유상태와 스펙트럼 홀.
Fig. 7. Channel occupation and spectrum holes in cognitive radio system.

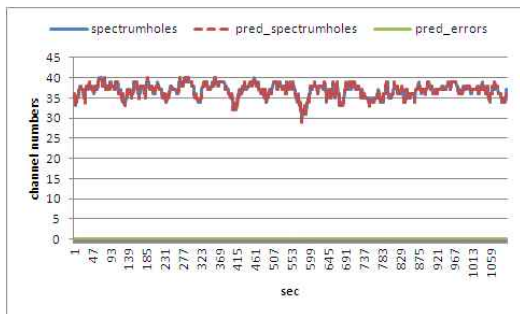


그림 8. CR시스템에서 스펙트럼 홀의 크기와 예측의 비교.
Fig. 8. Comparison of prediction of spectrum holes in cognitive radio system.

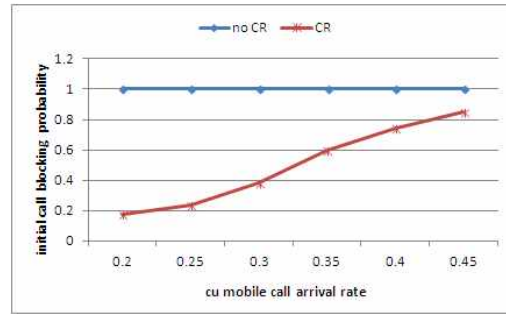


그림 9. 초기 발생 호의 차단확률 비교.
Fig. 9. Comparison of initial call blocking probability.

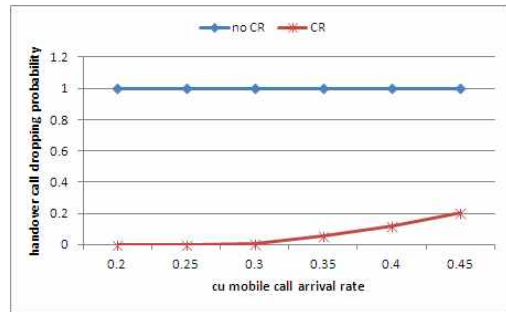


그림 10. 핸드오버 호의 손실확률 비교.
Fig. 10. Comparison of handover call dropping probability.

그림 8은 스펙트럼 홀의 크기와 CR기술에 기초한 신경망 예측기법으로 얻은 스펙트럼 홀 크기의 예측값을 나타낸다. 신경망 예측기에서 입력 노드수는 20개, 은닉 노드수는 10개이다. 예측결과 평균예측어러는 약 0.033개이다.

그림9와 그림10은 cu모바일이 방문한 셀에 이미 할당된 셀룰러 시스템의 채널은 모두 점유된 상태를 가정하고, CR기술에 의한 호의 차단확률과 핸드오버 호 손실확률을 나타낸 것이다. CR기술을 사용하지 않는 경우에는 호의 차단확률과 손실확률은 모두 1이다. CR기술을 기초로 한 스펙트럼 홀 자원을 예측하여 모바일 사용자의 셀 핸드오버 호에 우선 할당하고, 나머지 스펙트럼 홀 자원으로 초기 발생 호를 서비스한다. 초기 발생 호의 도착율의 증가에 따라 호의 차단확률과 손실확률은 증가하며, 초기 호 평균 차단확률은 약 0.51이고, 핸드오버 호 평균 손실확률은 약 0.10이다. CR기술을 사용함으로써 이동통신기술의 QoS성능을 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 기반 무선인지 통신망에 스펙트럼 인지기술을 사용하여 cu모바일의 셀 이동성으로 발생하는 핸드오버 호의 손실률을 줄이는 방법을 제안하고, 그 성능을 보였다. 모바일의 셀 이동 예측은 Z-L 알고리즘을 이용하고, CR기

술의 스펙트럼 센싱을 통한 이동 셀의 스펙트럼 홀의 크기는 이전에 셀에 나타난 스펙트럼 홀의 크기를 기초로 신경망 예측기를 사용하여 예측하고, 핸드오버 호가 요구하는 채널의 양을 우선 예약하여 지원함으로써 호의 손실률을 줄였다. 지금까지 핸드오버 호의 손실률을 줄이려는 무수한 방법들이 연구되어 왔지만, 성능이 우수할수록 알고리즘이 복잡하고 처리해야 할 오버로드가 커져 실제 필드에서 적용하기는 한계가 있음을 보여왔다. 본 논문에서는 CR기술을 사용함으로써 상대적으로 간단하게 핸드오버 호를 처리할 수 있음을 보였다. 향후연구는 이동하려는 셀에 pu의 화이트 스펙트럼 홀이 부족할 경우에는 간섭을 고려한 인접 셀의 스펙트럼 홀 자원을 빌려오는 방법과 방문 셀 예측의 불확실성과 스펙트럼 홀의 예약량의 관계를 고려한 채널할당방법이다.

Acknowledgments

본 연구는 2017년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 연구되었음.

References

[1] S. Verma and M. Chawla, "A survey on spectrum mobility in cognitive radio network," *International Journal of Computer Applications*, Vol. 119, No. 18, pp. 33-36, June 2015.

[2] A. Garhwal and P. P. Bhattacharya, "A survey on dynamic spectrum access techniques for cognitive radio," *International Journal of Next-Generation Networks*, Vol.

3, No. 4, pp. 15-32, Dec. 2011.

[3] G. Ghosh, P. Das, and S. Chatterjee, "Cognitive radio and dynamic access - a study," *International Journal of Next-Generation Networks*, Vol. 6, No. 1, pp. 43-60, March 2014.

[4] S. Tekinay and B. Jabbari, "Handover and channel assignment in mobile cellular networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 42-46, Nov. 1991.

[5] S. Tafazzoli and R. Berangi, "Cognitive radio handover in cellular networks," *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 11, Issue 2, No. 1, pp. 44-55, March 2014.

[6] J. Y. Lee, "Channel reservation scheme using Wiener prediction theory for cognitive radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15, No. 5, pp. 757-763, Oct. 2011.

[7] J. Y. Lee, "A predictive connection admission control using neural networks for multiclass cognitive users radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 17, No. 4, pp. 435-441, Aug. 2013.

[8] J. Y. Lee, "Adaptive call admission control based on spectrum holes prediction in cognitive radio networks," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 20, No. 5, pp. 440-445, Oct. 2016.

[9] T. C. Bell, J. C. Cleary, and I. H. Witten. *Text Compression*. Prentice Hall, 1990.

[10] F. Yu and V. C. M. Leung, "A framework of combining mobility management and connection admission control in wireless cellular networks," in *The International of Communications Conference*, Helsinki:Finland, Vol. 7, pp. 2286-2290, June 2001.



이진이 (Jin-Yi Lee)

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