

멀티 클래스 인지 사용자 네트워크에서 신경망을 이용한 예측 연결수락제어

A Predictive Connection Admission Control Using Neural Networks for Multiclass Cognitive Users Radio Networks

이진이*

Jin-Yi Lee*

요 약

본 논문에서는 무선 인지망에서 멀티 클래스 인지 사용자의 서비스를 지원하기 위해 신경망 예측기법에 의한 예측 연결수락제어기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 주 사용자가 도착하여 스펙트럼 핸드오프를 해야 하는 인지 사용자를 실시간과 비 실시간 사용자로 구분하고, 실시간 인지사용자에게 가드채널(guard channel)을 우선하여 사용하도록 한다. 이를 위해서 신경망 예측기법을 이용하여 주 사용자의 도착을 예측하고, 실시간 인지사용자가 스펙트럼 핸드오프 하는데 필요로 하는 채널의 크기를 예약하여 요구하는 서비스 품질(QoS)를 보장한다. 실시간과 비 실시간 인지사용자 연결을 위한 자원스케줄링 방법은 본 논문의 $C_I A$ (cognitive user I complete access)방법을 사용하며, 연결 수락제어는 인지사용자에 대해서만 실시하여 주 사용자에게는 간섭이 없도록 한다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 연결 수락제어기법이 실시간 인지사용자가 원하는 서비스 품질을 보장할 수 있음을 보인다.

Abstract

This paper proposes a neural net based-predictive connection admission control (CAC) scheme for multiclass users in wireless cognitive radio networks. We classifies cognitive users(cu) into real and non real time services, and then permit only real time services to reserve the demanded resource for spectrum handoff in guard channel for provisioning the desired QoS. Neural net is employed to predict primary user's arrival on time and demanded channels. Resource scheduling scheme is based on $C_I A$ (cognitive user I complete access) shown in this paper. For keeping primary users from interference, the CAC is performed on only cognitive user not primary user. Simulation results show that our schemes can guarantee the desired QoS by cognitive real time services

Key words : Real and nonreal-time cognitive users, Predictive connection admission control, $C_I A$ resource scheduling scheme, Neural network-based resource prediction. Guard channel.

I. 서 론

급속도로 발전하고 있는 무선통신기술은 초고속으로 데이터를 전송하기 위한 기술과 다양한 서비스

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

· 제1저자 (First Author) : 이진이(Jin-Yi Lee, tel : +82-10-9413-6447, email : jinyi@chungwoon.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 7월 17일 · 심사(수정)일자 : 2013년 7월 18일 (수정일자 : 2013년 8월 22일) · 게재일자 : 2013년 8월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.4.435>

의 출현으로 인한 고 품질의 서비스를 지원하기 위한 기술로 구분할 수 있고, 이를 위해 근본적으로 광대역의 주파수 자원이 요구된다. 그러나 무선 주파수 자원은 제한되어 있어, 이 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 방법으로 스펙트럼 인지가 소개되어 많이 연구되고 있다 [1].

미국의 FCC(Federal Communications Commission) 조사에 의하면 이미 할당된 주파수 자원의 사용률이 평균 15%에서 85% 인 것으로 나타나 있고[2], 뉴욕이나 시카고 같은 대 도시경우 기존 할당된 스펙트럼의 사용률은 20% 이하인 것으로 조사되었다[3].

무선통신을 위한 주파수 자원의 부족현상을 해결하기 위해 연구자들은 주파수 사용의 권한이 있는 주 사용자(primary user)가 독점적으로 사용하는 고정 스펙트럼 관리정책(static spectrum management)에 의해 할당된 주파수 자원의 이용률이 낮은 것에 관심을 집중하고 있다. 이에 따라 기존의 다른 무선통신 시스템에 할당되어 있는 주파수 대역이지만 실제로 사용되고 있지 않은 주파수 대역을 감지하여 이를 기회적으로 사용할 수 있는 기술이 동적 스펙트럼관리 기술(dynamic spectrum access)인 스펙트럼 인지기술(CR;Cognitive Radio)이다. 스펙트럼 재사용기술은 주 사용자가 사용하지 않은 주파수대역을 알아내기 위하여 인지 사용자(cognitive user)의 동작 범위내에 있는 무선 스펙트럼을 감지하고 모니터링 하는 기술인 스펙트럼 센싱기술, 통신에 필요한 최적의 주파수 대역을 동적으로 선택하는 동적 스펙트럼 관리기술, 스펙트럼 센싱을 통하여 감지한 유용한 주파수대역을 사용하여 최적의 통신이 되도록 전송파라메타(캐리어 주파수, 대역폭, 전송전력 등)를 변화시키는 적응통신기술로 구성된다. 본 논문은 동적 스펙트럼 관리 기술에 대한 것이다.

무선망과 무선 인지망에서 채널할당과 연결수락제어를 위한 트래픽 예측방법에는 주 사용자 연결의 주기성을 이용하여 트래픽 패턴을 예측하는 방법 [4], 다중 채널상에서의 트래픽패턴을 기초로 특정 채널에서의 트래픽을 예측하기 위한 다층 전방향 신경망을 이용한 방법[5], 다층 전방향 신경망 구조를 이용하여 연결이 요구하는 채널의 크기를 예측하여 핸드오프 손실확률을 목표값 이하로 유지시키기

위한 적응 호 수락제어기법[6] 등이 있다.

한편, 무선망에서 멀티미디어 서비스 호의 QoS(quality of service)를 지원하기 위한 대표적인 연결 수락제어 방법은 다음과 같다. 고속 무선 셀룰러 망에서 모바일의 이동패턴과 현재의 망의 상태를 고려하여 이웃셀에 주파수 자원을 동적으로 예약하여 멀티미디어 연결이 목표로 하는 QoS를 제공하는 방법[7], 모바일의 이동패턴과 멀티미디어 트래픽의 원하는 QoS를 기반으로 핸드오프의 손실률 뿐만 아니라 신규호의 차단률도 줄이는 방법[8], 호의 손실률과 차단률을 줄이고 대역폭 이용률을 향상시키기 위하여 각 기지국의 모바일 호스트의 이동성 정보에 따라 필요한 자원의 양을 확률적으로 추정 및 할당하는 동적-그룹핑 대역폭 예약기법[9] 등이 있다.

무선 인지망에서 주 사용자의 스펙트럼을 기회적으로 사용하는 인지사용자의 QoS를 보장하기 위한 연구에 대해서는 많은 결과들이 발표되지 않고 있다. 이와 관련된 연구로는 다음과 같다. 인지사용자 연결의 차단확률을 줄이기 위해 버퍼를 사용하는 방법 [10], 스펙트럼 센싱에러를 고려하여 호 차단율과 한계 간섭크기를 만족시키면서 호의 손실율을 최소화시키는 호 수락제어[11], 인지 사용자 호의 손실률과 강제 종료률을 줄이기 위해 기존 무선망의 가드채널 할당기법을 사용한 호 수락제어[12], 무선인지기술을 사용하여 기존 무선망의 가드채널 할당으로 인한 저하된 자원이용률을 개선하고 인지사용자의 손실률을 줄이는 방법[13], 주 사용자에 대해서는 간섭은도 한계치, 인지 사용자에 대해서는 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio) 한계치를 설정하여 시스템 처리율을 최대로 하기 위한 호 수락제어와 전력할당방법[14] 등이 있다.

본 논문에서는 무선 인지망에서 인지 사용자의 실시간 연결의 QoS를 보장하기 위해 멀티미디어 서비스를 지원하는 자원할당 방법과 연결 수락제어를 제안한다. 이를 위해 주 사용자가 요구하는 자원의 크기는 신경회로망 기법으로 예측하고, 인지 사용자의 실시간 연결의 스펙트럼 핸드오프를 우선적으로 보장하기 위하여 실시간 연결이 가드채널을 우선하여 사용하도록 한다.

2 장에서는 기존의 무선망에서 사용한 자원공유

스케줄링을 참고하여 무선인지 망에서의 자원공유 알고리즘을 보인다. 3 장에서는 무선인지망에서 주 사용자의 요구 자원의 양을 예측하는 다층구조의 신경 회로망 구조와 이를 기초로 한 연결 수락제어 알고리즘을 나타낸다. 4 장에서는 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 연결 수락제어기법의 성능을 평가한다. 5 장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구과제에 대해 기술한다.

II. 멀티 클래스 인지 사용자를 위한 자원공유구조

인지 사용자의 실시간 연결과 비 실시간 연결의 스펙트럼 핸드오프를 지원하기 위해 본 논문에서 제안하는 자원 스케줄링 방법은 기존의 마이크로 셀룰러망에서 멀티 클래스의 트래픽을 지원하기 위한 자원공유기법[15]을 기초로 하여 다음의 3가지 자원 스케줄링을 제시한다.

인지 사용자의 스펙트럼 핸드오프 연결을 위해 가드채널 전체를 인지 사용자의 실시간 연결이 예약하여 우선 사용할 수 있고, 나머지 채널을 비실시간 인지 사용자 연결이 사용할 수 있는 $C_I A$ (*cognitive user I Complete Access*) 기법, 가드채널 중에서 실시간 인지 사용자 연결이 최대 사용할 수 있는 채널수를 제한하고, 그 나머지 채널을 비실시간 연결이 사용하는 $R_I A$ (*cognitive user I Restricted Access*) 기법, 실시간 연결이 사용할 수 있는 채널과 비실시간 연결이 사용할 수 있는 채널 크기가 처음부터 정해져 있는 CP (*cognitive user Complete Partition*) 기법으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 인지 사용자의 실시간 연결이 서비스 중에 주 사용자의 도착으로 강제로 종료되는 연결 손실확률을 줄이기 위해 $C_I A$ 기법을 사용하여 실시간 연결이 가드채널을 예약하여 우선적으로 사용할 수 있게 한다.

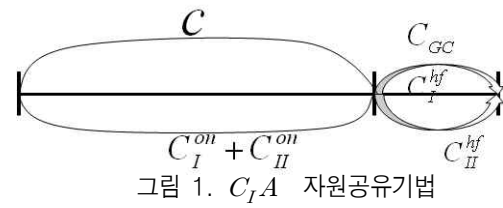


그림 1. $C_I A$ 자원공유기법
Fig. 1. $C_I A$ resource sharing scheme

그림 1은 $C_I A$ 자원공유기법을 나타낸 것이다. C 는 스펙트럼 홀이 포함된 무선인지 망의 전체 용량, C_I^{on} 은 인지 사용자의 실시간 연결이 사용하는 용량, C_{II}^{on} 는 인지 사용자의 비 실시간 연결이 사용하는 용량을 나타낸다. 그리고 C_{GC} 는 가드채널용량, C_I^{hf} 는 인지 사용자의 실시간 스펙트럼 핸드오프 연결이 사용하는 용량으로 가드채널 전체를 예약하여 사용할 수 있다. C_{II}^{hf} 는 인지 사용자의 비실시간 스펙트럼 핸드오프 연결이 사용하는 용량을 나타낸 것으로 가드채널 중 실시간 연결이 예약하고 남은 채널을 사용할 수 있다.

III. 무선 인지망의 CAC 와 자원요구량 예측을 위한 신경회로망

본 논문에서 제안한 다층 신경회로망을 이용한 무선인지망의 CAC 구조와 신경회로망을 이용하여 주 사용자가 요구하는 채널의 수를 예측하는 방법에 대해 기술한다.

3-1 신경 회로망을 이용한 무선 인지망의 CAC

무선 인지망에서 인지 사용자의 다중 서비스 연결의 수락제어를 위해 신경회로망 예측을 이용하는 CAC 와 네트워크를 그림 2에 나타낸다. 이 네트워크 구조는 유선 ATM-CAC 네트워크를 기초로 무선 인지망(CRN; cognitive radio network)-CAC 를 위해 변형한 것이다.

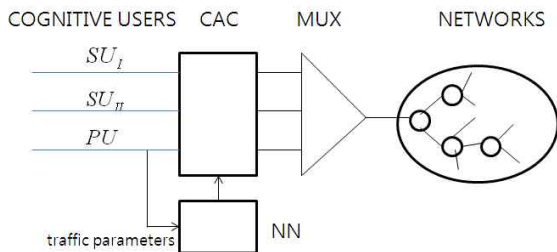


그림 2. 신경회로망을 이용한 무선 인지망의 CAC
Fig. 2. CRN-CAC network using neural net.

PU 는 주 사용자 연결, SU_I 은 인지 사용자의 실시간 서비스 연결, SU_{II} 는 인지 사용자의 비 실시간 서비스 연결을 나타낸다. 트래픽 파라메타는 연결의 손실율(또는 차단율), 지연, 지연의 변위(delay variation), 비트율, 요구 채널의 수 등이며, 사용자의 트래픽 특성과 QoS 를 규정한다. 본 논문에서는 주 사용자가 요구하는 채널의 수를 트래픽 파라메타로 사용하며 신경회로망을 이용하여 PU 가 요구하는 채널의 수를 예측하고, SU_I 와 SU_{II} 의 연결을 제어한다.

3-2 신경회로망을 이용한 주 사용자의 요구자원의 크기에측

신경회로망을 이용하여 통신관련 문제를 해결하려는 대표적인 접근으로는 무선 셀룰러 망에서 채널 할당과 CAC 를 위한 호(call)가 요구하는 자원의 크기를 예측하는 방법, ATM(asynchronous transfer mode) 망에서 CAC 를 위한 셀(cell) 발생 수를 예측하는 방법이 있다. 이 절에서는 무선인지 망에서 주 사용자가 요구하는 채널의 크기를 예측하는데 다층 전방향 구조의 신경회로망을 이용한다. 그림 3은 3 계층 전방향 구조의 신경회로망을 나타낸다.

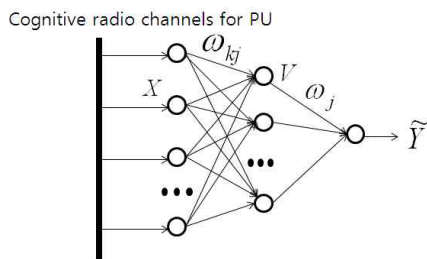


그림 3. 3 계층 전방향 구조의 신경회로망
Fig. 3. Three layered feedforward neural network

주 사용자가 요구하는 채널의 수를 신경망으로 예측하기 위해 학습단계에서는 주 사용자가 이전에 사용하였던 채널의 양을 신경망의 입력값으로 하고, 그때 얻어진 신경망의 출력값(예측된 채널 수)과 실제 사용한 채널의 수에 의한 예측오차를 오류역전과 알고리즘으로 최소화시키는 방법으로 신경망을 학습하여 입력층과 은닉층의 연결강도, 은닉층과 출력층의 연결강도를 구한다. 예측단계에서는 주 사용자가 이전에 사용하였던 채널의 수를 기초로 그 다음에 요구하는 채널의 수를 예측한다. 신경회로망의 학습과 관련한 입출력 관계식을 식(1)에서 식(5)에 나타낸다.

$$X_i = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (1)$$

$$\tilde{Y}_i = g_{out} \left(\sum_{j=1}^m w_j V_j + b_{out} \right) \quad (2)$$

$$V_j = g \left(\sum_{k=1}^n w_{kj} x_k + b_j \right) \quad (3)$$

$$g(x) = g_{out}(x) = 1 / (1 + e^{-x}) \quad (4)$$

$$E = \sum e_i^2 = \sum (Y_i - \tilde{Y}_i)^2 \quad (5)$$

여기서, X_i, Y_i, \tilde{Y}_i 는 각각 주 사용자가 이전에 사용한 채널수, 주 사용자가 실제 사용한 채널의 수, 예측된 채널의 수를 나타내고, V_j 와 E 는 각각 은닉층의 출력과 예측오차를 나타낸다. w 는 각 층에서의 연결강도, b_{out}, b_j 는 출력층과 은닉층의 바이어스 값을 나타낸다.

3-3 예측 연결 수락제어 알고리즘

주 사용자가 출현하여 인지 사용자가 스펙트럼 핸드오프 해야 할 경우, 인지 사용자가 실시간 연결인지 비실시간 연결인지를 구분하여 연결 처리 과정을 다르게 한다. 주 사용자의 도착을 예측하여 인지 사용자가 사용 중인 부 대역(sub-band)를 비워 주어야 할 경우, 실시간 인지 사용자인 경우는 사용하던 부 대역 채널수를 미리 예약해두고, 스펙트럼 핸드오프

를 할 수 있게 한다. 예약을 할 수 없으면 손실(drop) 된다. 비 실시간 인지 사용자인 경우는 예약은 하지 않고 여유채널이 있으면 스펙트럼 핸드오프하여 서비스를 지속할 수 있지만 채널이 없으면 손실된다. 그림 4는 실시간 인지 사용자와 비 실시간 인지 사용자 연결의 처리 알고리즘을 나타낸다.

```

SH-control {
  find
  C, CGC(t), Cpup(t), Crealcu(t), Cnonrealcu(t),
  CGCavail(t);
  CGCavail(t) = CGC(t) - Crealcu(t);
  /*connection admission control*/
  if ( cu == real ) :
    if ( CGC(t) ≥ Crealcu(t) ) :
      SH success ;
    else :
      SH fails ;
  else :
    if ( CGCavail(t) ≥ Cnonrealcu(t) ) :
      SH success ;
    else :
      SH fails ;
endif ; }
    
```

그림 4. 인지 사용자의 스펙트럼 핸드오프 연결의 수락제어
Fig. 4. CAC algorithm for cognitive user's spectrum handoff.

여기서, C 와 $C_{GC}(t)$ 는 각각 시스템 용량과 가드채널용량을 나타낸다. $C_{pu}^p(t)$ 주 사용자가 요구하는 자원의 양을 예측한 것이다. $C_{real}^{cu}(t)$ 와 $C_{nonreal}^{cu}(t)$ 는 각각 인지 사용자의 실시간과 비 실시간 연결이 스펙트럼 핸드오프에 필요한 자원의 양을 나타낸다. $C_{GC}^{avail}(t)$ 는 비 실시간 인지 사용자가 스펙트럼 핸드오프에 사용할 수 있는 가드채널의 자원의 양을 나타낸다. 인지 사용자의 초기 연결에 대한 연결 수락제어는 실시간, 비실시간 구분하지 않고 시스템에 여유 용량이 있을 때는 서비스가 시작되고, 그렇지 않으면 차단(block)된다.

IV. 시뮬레이션

제안한 CRN-CAC 방법의 성능을 평가하기 위해 주 사용자 연결과 인지 사용자 연결의 도착은 포아송 분포(λ), 연결의 지속시간은 지수함수분포(μ) 를 갖는 것으로 한다 ; 인지 사용자의 실시간 연결($\lambda_{SI}, 1/\mu_{SI}$), 인지 사용자의 비실시간 연결($\lambda_{SII}, 1/\mu_{SII}$), 주 사용자의 연결($\lambda_P, 1/\mu_P$). 파라메타 값들은 다음과 같다. $\lambda_{SI} = \lambda_{SII} = 0.68[\text{number/sec}]$, $\mu_{SI} = \mu_{SII} = 0.82[1/\text{sec}]$, $\lambda_P = 0.05\sim 0.5[\text{number/sec}]$, $\mu_P = 0.06[1/\text{sec}]$. 모든 연결이 요구하는 채널의 수는 1 [Bu], 가드채널의 용량(C_{GC})은 8[Bu]로 한다.

Secondary system	1	...	N	N+1	...	2N	...	N(M-1)+1	...	NM
Primary system	1			2			...	M		
	frequency									

그림 5. 무선인지망의 overlaying 스펙트럼 구조
Fig.5. Overlaying spectrum structure for cognitive radio network.

그림 5는 무선 인지망의 주 사용자와 인지 사용자 간의 스펙트럼 공유구조를 나타낸다. 주 사용자의 주파수 채널은 $M=3[\text{Bu}]$ 개의 채널로 구성되고, 인지 사용자의 주파수 채널은 각각의 주 사용자의 채널을 $N=12[\text{Bu}]$ 개의 부채널(Sub-channel)로 나누어 하나의 부 채널을 사용한다. 주 사용자에 간섭을 주지 않기

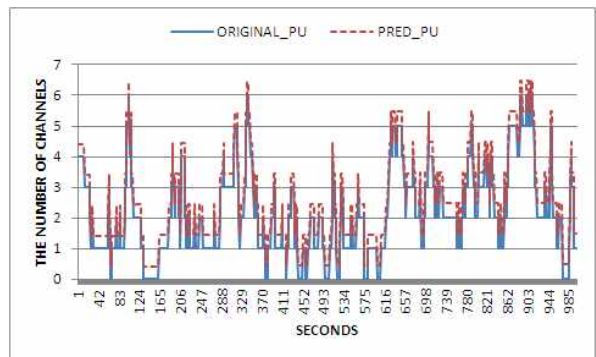


그림 6. 주 사용자가 요구하는 채널의 크기 예측
Fig. 6. Prediction of channel numbers requested by primary user

위해, 주 사용자가 주파수 대역을 사용하게 되면 해당 인지 사용자의 부 주파수대역은 사용하지 못하는 overlaying 구조를 갖는다.

3 계층 신경망 구조를 이용하여 주 사용자의 도착에 따른 요구 채널의 크기를 예측한 결과를 그림 6에 나타낸다. 입력 노드의 수는 20개, 은닉층의 노드 수는 10개, 출력층의 노드 수는 1 개로 한다. 예측오차는 평균적으로 1개 이하이다.

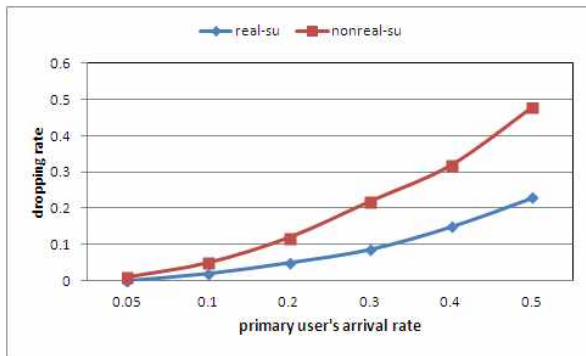


그림 7. 인지 사용자의 실시간과 비실시간 연결의 스펙트럼 핸드오프 손실률

Fig. 7. The dropping rate for real & nonreal spectrum handoff connection of cognitive users.

주 사용자의 도착률에 따른 인지사용자의 실시간 연결과 비 실시간 연결의 손실률을 비교하여 그림 7에 나타낸다. C_rA 자원공유 알고리즘에 의해 실시간 사용자가 스펙트럼 핸드오프에 필요한 채널을 미리 예약함으로써 비 실시간 인지 사용자의 손실률과 비교하여 상대적으로 크게 연결 손실률을 줄일 수 있음을 보인다.

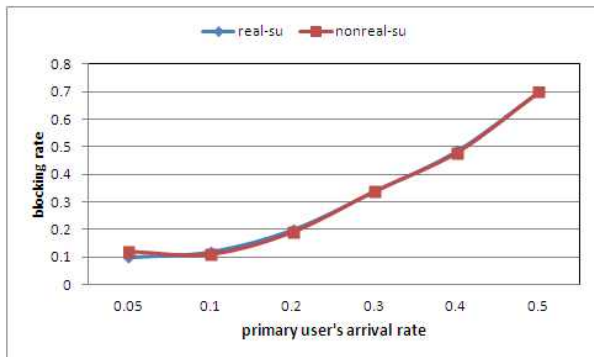


그림 8. 인지 사용자의 초기 실시간 연결과 초기 비 실시간 연결의 차단률

Fig. 8. The blocking rate for real & nonreal initial connection of cognitive users.

그림 8은 주 사용자의 도착률에 따른 무선 인지망의 실시간 사용자와 비 실시간 사용자의 초기 연결에 대한 차단률을 비교한 것이다. 실시간 인지 사용자와 비실시간 인지사용자의 초기연결의 도착률은 동일하기 때문에 거의 같은 결과를 얻는다. 주 사용자의 도착률이 증가함에 따라 두 클래스의 초기 연결의 차단률은 증가함을 볼 수 있다. 이것은 주 사용자의 도착률이 증가함에 따라 초기 인지 사용자 연결이 사용할 수 있는 스펙트럼 홀 채널 수가 줄어들기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 인지망에서 주 사용자의 스펙트럼을 기회적으로 사용하는 인지사용자의 유형을 실시간 연결과 비 실시간 연결로 구분하고, 실시간 인지 사용자에게 가드채널을 우선하여 사용하게 함으로써 실시간 인지 사용자가 원하는 QoS를 얻을 수 있는 신경망 예측기법에 의한 예측 연결수락제어 기법을 제안하였다.

시뮬레이션을 통하여 주 사용자의 도착률이 증가함에 따라 실시간 인지 사용자의 손실률을 비 실시간 인지 사용자의 손실률에 비해 상대적으로 줄일 수 있음을 보임으로써 실시간 사용자가 원하는 서비스 품질을 만족시킬 수 있음을 보였다.

향후 연구과제는 무선 인지망에서 비 실시간 연결의 손실률을 줄이기 위해 버퍼를 이용하는 방법과 주 사용자의 도착률에 따라 실시간 인지 사용자의 목표 손실률을 일정하게 유지하기 위한 적응 연결 수락제어에 관한 것이다

감사의 글

본 연구는 2013년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 연구되었음

Reference

[1] 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, Sept. 2006.

[2] FCC, "Spectrum policy task force report," *ET docket no. 02-155*, pp. 1-37, Nov. 2002.

[3] M.A McHenry, et al., "Chicago spectrum occupancy measurements & analysis and a long-term studies proposal," *Proceedings of the first international workshop on technology and policy for a access spectrum*. New York, NY, USA : ACM, pp.1-12, 2006.

[4] Yao Liu, et al., "Traffic prediction for cognitive networking in multi-channel wireless networks," *INFOCOM proceedings*, pp. 1-6, Mar. 2010.

[5] Xiukui Li, et al., "Traffic pattern prediction and performance investigation for cognitive radio systems," *WCNC proceedings* pp. 894-899, Mar. 2008.

[6] Jin-Yi Lee, "Adaptive Call Admission Control Based on Resource Prediction by Neural Network in Mobile Wireless Environments," *JKONI* vol 13 no 2, pp. 208-213, 2009, 4.

[7] C. Oliverira, J. B.Kim and T. Suda, "An adaptive bandwidth reservation scheme for high speed multimedia wireless networks" *IEEE JSAC*, vol. 16, no. 6, pp. 858-874, Aug. 1998.

[8] Fei Hu, et al., "Priority-Determined Multiclass Handoff scheme with Guaranteed mobile QoS in wireless multimedia networks," *IEEE Tran. on Vehicular Technology*, vol. 53, no.1, pp. 118-135, Jan. 2004.

[9] Jau Yang, et al., "Dynamic grouping bandwidth reservation scheme for multimedia wireless networks," *IEEE JSAC*, vol. 21, no. 10, pp. 1566-1574, Dec. 2003.

[10] Yan Zhang, "Dynamic spectrum access in cognitive radio wireless networks," *ICC IEEE proceedings*, pp. 4927-4932, May. 2008.

[11] Rong Yu, et al., "Cross-layer optimized call admission control in cognitive radio networks," *Mobile Netw Appl*, vol. 15, no. 15, pp. 610-626, Oct. 2010.

[12] Diego Pacheco-Paramo, et al., "Optimal admission control in cognitive radio networks," *CROWNCOM proceedings*, pp. 1-7, June 2009.

[13] Jin-Yi Lee, "Performance Improvements in Guard Channel Scheme by Resource Prediction for Wireless Cognitive

Radio-Based Cellular Networks," *JKONI* vol 16 no 5, pp. 974-799, 2012, 10.

[14] Lan Zhang, "Joint admission control and power allocation for cognitive radio networks," *ICASSP proceedings*, vol.3, pp. 673-676, April 2007..

[15] M.Naghshineh, et al., "QoS provisioning micro-cellular networks supporting multiple classes of traffic," *Wireless networks* 2, pp. 195-203, Sept. 1996.

이진이(Jin-Yi Lee)



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

1995년 3월 ~ 현재 청운대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 광대역 무선통신 망