

무선 인지 시스템에서 OFDM PTS 임베디드 부가정보를 이용한 제어신호 전송 기법[☆]

Control Signal Transmission Scheme Using OFDM PTS Embedded Side Information in Cognitive Radio System

정 봉 민* 손 성 환** 장 성 진*** 김 재 명****
Bongmin Jeong Sunghwan Sohn Sungjeen Jang Jaemoung Kim

요 약

무선 인지(CR : Cognitive Radio) 시스템은 무선 사용자에게 할당되어 있지만 실제로 사용되지 않는 주파수 대역을 감지하고 사용함으로써 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있는 기술이다. 무선 사용자가 채널을 점유하게 되면 무선 인지 시스템은 무선 사용자 시스템에 대한 간섭을 피하기 위해 다른 채널로 이동해야 하며, 이 때 새로운 채널에서 무선 인지 시스템 송·수신기가 핸드셰이크를 하기 까지 통신 단절 시간이 생기게 된다. 따라서 무선 인지 시스템에 대한 서비스 품질의 보장을 위해서는 보다 빠른 핸드셰이크 기법이 요구된다. 본 논문에서는 Broadcasting 구간뿐만 아니라 데이터 전송 구간에서도 임베디드 제어 신호를 전송함으로써 무선 인지 시스템의 통신단절시간을 감소시키고, 데이터 전송률을 높일 수 있는 기법을 제안한다. 마지막으로 컴퓨터 모의실험 결과를 통해 제안하는 임베디드 제어 신호 전송 방식이 기존의 방식보다 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

Wireless services and devices that use frequency increase more and more because of advancement of the industry. Therefore, the available spectrum band becomes increasingly insufficient. Cognitive Radio, which adaptively utilizes the vacant licensed spectrum band, is considered as an effective way to utilize the spectrum resource shortage. CR user should move from current allocated channel to vacant channel to avoid the interference to the primary user when the primary user appears in the current channel. In this case, CR system undergoes the break off time until handshake is completed. So, in order to guarantee the Quality of Service(QoS) of CR system, fast handshake method is required. In this paper, we propose the embedded control signal transmission technique to reduce the break off time. This method can transmit the control signals in data transmission period as well as the broadcasting period. Proposed method can improve the data throughput and decrease the break off time. Computer based simulation proves that our proposed scheme outperforms conventional one.

□ keyword : Cognitive Radio, Embedded Side Information, Handshake, Break-off time, Cognitive Radio(인지무선기술), Embedded Side Information(임베디드 부가정보전송기법), Handshake(핸드셰이크), Break-off time(통신단절시간)

1. 서 론

최근 정보통신 기술의 발전과 함께 무선기기의 사용이 우리생활의 전 영역으로 확대되고 있으며 그에 따라 더 좋은 성능의 통신시스템과 높은 데

* 준 회 원 : 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과
제학(석사) bongmin.jeong@witlab.kr

** 준 회 원 : 인하대학교 정보통신대학원(Post-Doctor)
SungHwan.Sohn@witlab.kr

*** 준 회 원 : 인하대학교 정보통신대학원(박사과정)
sungjeen.jang@witlab.kr

**** 중신회원 : 인하대학교 정보통신대학원 원장/교수
jaekim@inha.ac.kr

[2010/11/23 투고 - 2010/11/29 심사 - 2010/12/24 심사완료]

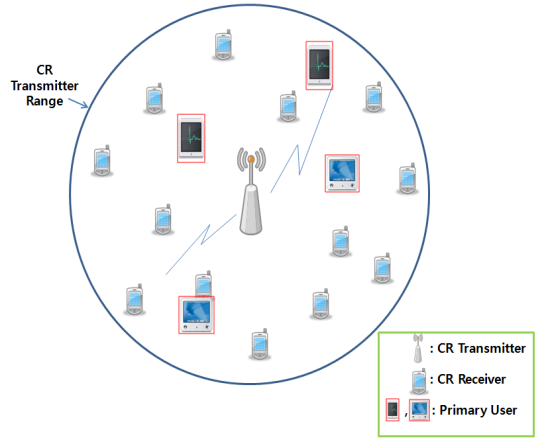
☆ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터

지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IIPA-2011-C1090-1011-0007)
“This research was supported by the MKE(The Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IIPA(Institute for Information Technology Advancement)” (IIPA-2011-C1090-1011-0007)

이터 전송률에 대한 요구가 높아지고 있다. 그에 따라 사용할 수 있는 주파수 대역은 점차 부족한 상황이 되고 있다. 특히 무선통신 환경에 적합한 3GHz 이하의 주파수 대역은 이미 포화상태에 이르렀다.

그러나 Shared Spectrum Company의 측정결과에 따르면 30~3,000 MHz 대역을 기준으로 미국 6개 지역에서 사용되는 비율은 평균 5.2%에 불과해 일시적, 지역적으로 비어있는 대역이 많은 등 비효율적으로 이용되고 있음을 지적 하였다. 인구 과밀 지역인 뉴욕시의 경우에도 스펙트럼 사용률은 13.1% 수준으로 매우 저조한 실정이다[1-2]. 이에 따라 한정된 주파수 자원을 중복해서 이용하며 최대한 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 찾는 것이 무선 통신에 있어 큰 논점이 되고 있다 [3]. 이런 상황에서 그 대안기술로 제시되는 것이 주파수 공유 기술이다. 주파수 공유기술은 UWB로 대표되는 Underlay 방식과 무선 인지 기술의 Overlay 방식으로 나눌 수 있는데 이중 무선 인지 기술은 주파수를 할당 받은 우선사용자(Primary User, Incumbent User)가 시간적 공간적으로 사용하지 않는 주파수 대역을 찾아 공유하는 기술로서 대두되고 있다[4]. 무선 인지 기술은 1998년 J.Mitola의 박사 학위 논문에서 처음 제시된 개념으로서 외부환경을 인지하여 그에 따른 최적화된 전략을 수립하고 최적화된 자원을 할당하여 주파수효율과 서비스품질의 보장이라는 통신에서 가장 크게 이루어야 할 두 가지 목표에 대한 최적의 해를 제시하는 것을 목표로 한다[5-6].

무선 인지 시스템은 기지국 또는 단말기가 스펙트럼 센싱을 수행하며, 센싱 결과를 통해 우선 사용자가 특정 대역에서 나타나지 않은 것을 확인하면, 무선 인지 사용자는 다음 구간동안 데이터를 전송한다. 반대로 센싱 결과 우선사용자가 특정 대역에 등장하게 되면 무선 인지 사용자는 비어있는 다른 대역으로 이동하여 데이터를 전송한다. 이러한 과정에서 우선사용자의 강한 신호가 등장하게 될 경우 무선 인지 시스템 기지국과 단말기 사이의 주파수를 맞춰주는 핸드셰이크



(그림 1) 무선 인지 시스템 모델

(handshake) 정보 교환이 원활하게 이루어 지지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 핸드셰이크 정보를 브로드캐스팅 구간뿐만 아니라 데이터전송 부에도 마킹 함으로써 효과적인 핸드셰이크 정보 탐색 기법을 제안한다.

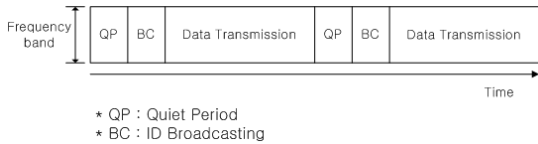
본 논문의 구성은 1장 서론에 이어서, 2장에서는 시스템 모델을 제시하고 3장에서는 제안하는 무선 인지 시스템 임베디드 제어 신호 전송 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 아이디어의 성능을 검증하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 (그림 1)에서와 같이 무선 인지 시스템과 우선사용자 시스템이 공존하는 시스템 모델을 고려한다.

여기서 무선 인지 시스템은 하나의 송신기와 다수의 수신기를 가지고 있는 다운링크 상황을 가정하였다.

무선 인지 시스템은 우선사용자가 사용하지 않는 유휴대역을 발견하여 그 대역을 이용해 통신을 한다. 그러나 (그림 1)의 시스템 모델에서와 같이 무선 인지 시스템이 사용하고 있는 대역에 우선사용자가 출현하게 되면 즉각적으로 해당 대역



(그림 2) 무선 인지 시스템 프레임 구조

을 비워주고, 다른 유휴대역으로 이동하여 통신을 재개해야한다.

일반적인 무선 인지 시스템은 OFDM을 기반으로 구축되며, 송신기는 스펙트럼 센싱과 무선 인지 엔진을 통해 DFS(Dynamic Frequency Selection)를 수행하고 최적화된 주파수 정보를 수신기에 전송한다[7].

무선 인지 시스템이 사용하고 있는 대역에 우선사용자의 강한 신호가 등장하게 되면 DFS 정보의 전송이 불가능하게 된다. 따라서 수신기는 가능한 모든 채널을 순차적으로 스캔하여 채널을 변경한 송신기의 신호를 검출하고 검출된 신호로부터 데이터를 수신 받아 해당 주파수에서 통신을 수행한다[8].

일반적인 무선 인지 시스템 송신기의 프레임 구조는 (그림 2)와 같다. 휴지기간(Quiet Period)동안 스펙트럼 센싱과 DFS 작업을 수행하고 선택된 채널을 브로드캐스팅하며, 이어서 데이터 송신을 하게 된다. 이와 같은 프레임 구조를 갖는 시스템에서 우선사용자와의 충돌 발생으로 인해 주파수를 변경하게 되면 수신기는 모든 채널을 스캔하며 송신기의 신호를 찾아내 통신을 재개하게 된다. 그러나 송신기가 ID를 브로드캐스팅하는 구간이 짧기 때문에 이 구간 동안 수신기가 전체 채널을 스캐닝하는 것은 불가능하다. 따라서 송수신간의 통신 단절 시간이 길어질 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 무선 인지 시스템 송수신기 간의 통신 단절시간을 최소화하기 위해 데이터 전송 구간에서도 제어 정보를 전송할 수 있는 임베디드 제어 신호 전송 기법을 제안한다.



(그림 3) 송신기 제어 정보 블록 다이어그램

3. 무선 인지 시스템 임베디드 제어 신호 전송 기법

3.1 무선 인지 시스템 송신기

제안하는 제어 신호 전송 기법은 OFDM 임베디드 부가 정보 전송 방식을 이용하여 모든 전송 구간에서 제어 신호를 전송한다. (그림 3)과 같이 송신기에서는 모든 채널에 대한 스펙트럼 센싱을 하고, 그 결과를 이용해 무선 인지 엔진부에서 최적의 주파수를 선택한다. 그리고 그 정보를 제어 신호에 실어서 보내게 된다.

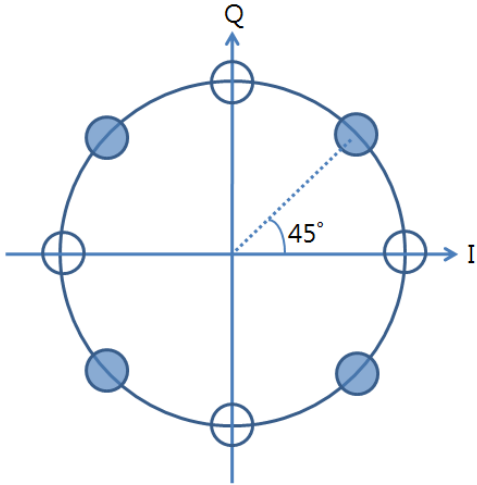
제안하는 방식은 브로드캐스팅 구간뿐만 아니라 데이터 전송 구간에서도 제어 정보를 전송하기 때문에 위에서 설명한 통신 단절시간 문제를 해결할 수 있으며, 시간 선택적 채널에서 페이딩에 의해 브로드캐스팅 구간 동안 전송된 제어 정보가 손상되었을 경우에도 효율적으로 송신 신호를 찾을 수 있다.

3.2 OFDM PTS(Partial Transmit Sequence) 임베디드 부가 정보 전송 기법

본 절에서는 무선 인지 시스템 제어 신호 전송을 위해 사용하는 OFDM PTS 임베디드 부가 정보 전송기법에 대해 자세히 설명한다.

OFDM PTS(Partial Transmit Sequence)기법은 PAPR을 저감시키기 위해 제안된 방법으로, 스크램블링을 부반송파 그룹별로 적용하여 위상을 회전시킴으로써 스펙트럼 왜곡 없이 효과적으로 PAPR을 저감시킨다[9].

즉, 부반송파들을 여러 개의 부분블록으로 나누고 낮은 PAPR의 신호가 되도록 최적의 위상 회전 인자를 곱하여 전송하고, 데이터를 복원하기 위해



(그림 4) 위상 회전 인자에 따른 성상도

서 위상 회전 인자에 대한 명시적 부가 정보를 수신기에 전송한다.

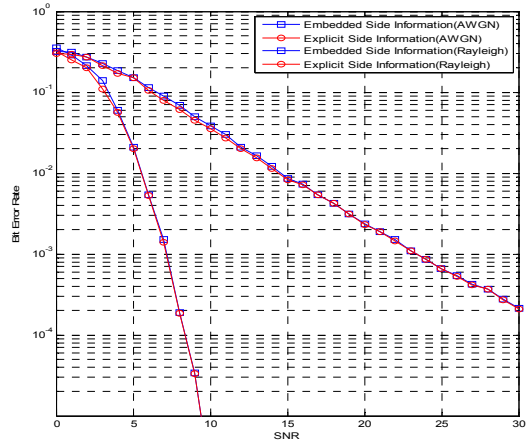
L. J. Cimini는 명시적 부가정보 전송 방식의 대역폭 손실을 방지하기 위해 마킹 알고리즘을 이용하여 부가 정보 전송 기법을 제안하였다[10]. L. J. Cimini가 제안한 부가 정보 전송 방식은 마킹 알고리즘을 이용해 데이터 전송 구간에 위상 회전 인자를 마킹하여 임베디드 부가 정보의 형태로 전송한다.

임베디드 부가 정보 방식의 마킹 알고리즘을 자세히 설명하면 다음과 같다.

위상 회전 인자가 부블록의 위상을 반전시키지 않았다면(즉, $b_m = 1$) 부블록을 그대로 전송하고, 위상 회전 인자가 부블록을 반전시켰다면(즉, $b_m = -1$) 부블록의 짝수 번째 톤들을 $\pi/4$ 만큼 회전시킨다. 이와 같이 임베디드 부가 정보의 형태로 전송된 정보를 수신기에서 복원하기 위해 다음과 같은 통계 검증을 이용한다.

$$Z_m = \sum_{j=1}^{N/M-1} (Y_{j,m} Y_{j+1,m}^*)^4, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

식 (1)에서 Y 는 수신신호를 의미하고 $Y_{j,m}$ 은 m 번째 부블록의 j 번째 톤을, $*$ 는 켈레복소수를 나



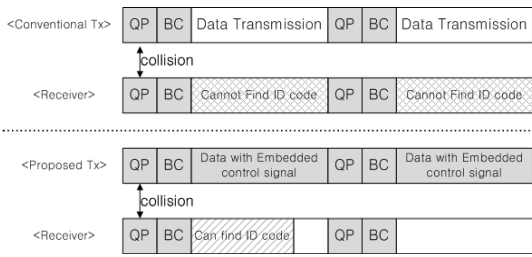
(그림 5) 기존의 방식과 임베디드 부가정보 방식의 비트오류율

타내며, N 은 부반송파의 개수, M 은 부블록의 개수를 나타낸다. 노이즈를 무시했을 때 부블록이 반전되지 않았다면(즉, $b_m = 1$), 통계 검증식 (1)의 Z_m 은 $+(N/M-1)$ 의 값을 가지며, 반대로 부블록이 반전되었다면(즉, $b_m = -1$), 식(1)의 Z_m 은 $-(N/M-1)$ 의 값을 가진다[10]. 그러므로 간단한 이진탐색 기법을 통해 송신기에서 데이터구간에 마킹된 임베디드 부가 정보를 검출할 수 있다.

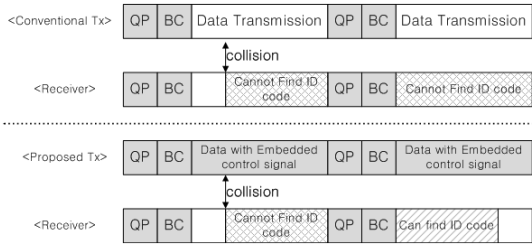
식 (1)에서 부블록의 위상이 반전되지 않은 경우 ($Y_{j,m} Y_{j+1,m}^*$)의 성상도는 (그림 4)의 흰색 원 중 하나가 되며, $(Y_{j,m} Y_{j+1,m}^*)^4$ 은 1의 값을 가지게 된다. 따라서 Z_m 은 $+(N/M-1)$ 의 값을 가지게 된다. 그러나 부블록이 반전된 경우 ($Y_{j,m} Y_{j+1,m}^*$)의 성상도는 (그림 4)에서 음영으로 칠해진 원 중 하나가 되고, $(Y_{j,m} Y_{j+1,m}^*)^4$ 의 값은 -1이 된다. 따라서 Z_m 은 $-(N/M-1)$ 의 값을 가지게 된다.

또한 이 방법은 각 부블록의 값을 더해줄 때 잡음이 평균화되기 때문에 잡음 및 다중 경로 페이딩 환경에서도 신뢰할 수 있는 성능을 보인다.

(그림 5)는 명시적인 부가 정보 전송 기법과 임베디드 부가 정보 전송 기법의 비트오류율을 나타내며, AWGN 채널과 Rayleigh 페이딩 채널에서 모두 동일한 성능을 보인다. 즉, 부가 정보를 데이터에 마킹해서 보내는 임베디드 부가 정보 전송



(그림 6) 센싱 구간에서 충돌이 발생한 경우



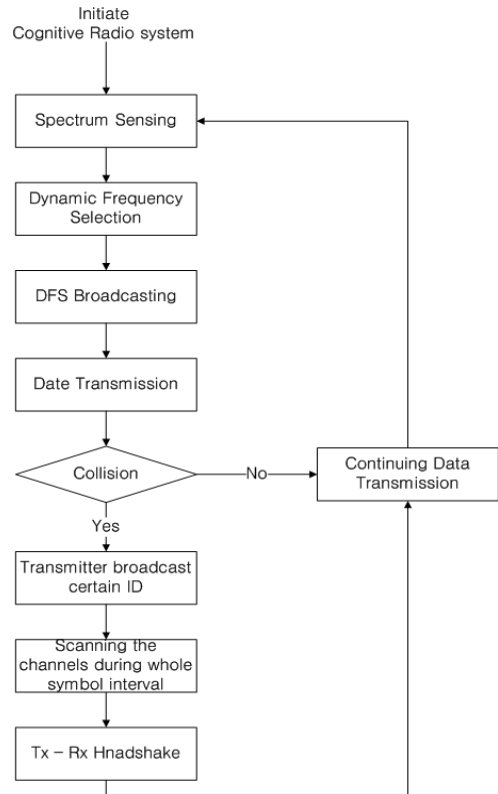
(그림 7) 데이터 전송 구간에서 충돌이 발생한 경우

방식의 경우에도 성능저하가 발생하지 않는다. 따라서 임베디드 부가 정보 전송 기법을 무선 인지 시스템에 적용하여 제어신호 전송에 사용하게 되면 신뢰성 있는 제어 신호 전송이 가능하다.

3.3 무선 인지 시스템 임베디드 제어 신호

주파수를 도약하며 통신을 수행하는 무선 인지 시스템의 특성상 송신기와 수신기 사이에 다수의 제어 정보 전송이 필요하다. 본 절에서는 OFDM PTS 임베디드 부가 정보 전송 기법을 이용한 무선 인지 시스템 핸드셰이크 제어 신호 전송 기법에 대해 상세히 설명한다.

무선 인지 시스템에서 송·수신기 간에 핸드셰이크를 하기 위해 송신기는 고유의 ID를 브로드캐스팅하고, 수신기는 주파수대역을 스캔하며 상응하는 ID를 전송하는 송신기의 신호를 찾게 된다. (그림 6)과 (그림 7)의 상단에 있는 기존의 시스템에서는 브로드캐스팅구간 동안에만 고유의 ID를 전송한다. 따라서 0.5ms 동안에만 ID를 전송하기 때문에 우선사용자와의 충돌 발생 시 채널



(그림 8) 무선 인지 시스템의 핸드셰이크 절차

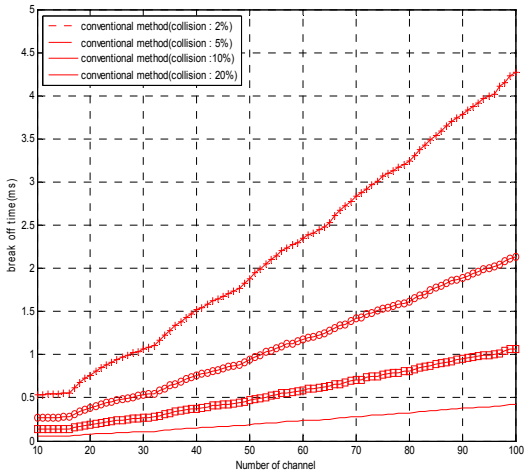
을 변경한 송신기의 대역을 수신기가 스캐닝 하더라도 시간적으로 송신기가 ID를 브로드캐스팅 하는 구간과 수신기가 해당 대역을 스캐닝 하는 구간이 겹치지 않으면 그 신호가 송신기의 신호 인지 알 수 없다. 따라서 해당 프레임에서 핸드셰이크를 달성하지 못한다.

그러나 제안하는 기법은 충돌이 발생한 후 휴지기간을 제외한 어느 시점에서 채널을 스캐닝 하더라도 송신기의 신호를 찾을 수 있다. 즉, 브로드캐스팅 구간과 데이터 전송 영역 모두에서 ID를 전송하기 때문에 빠르게 핸드셰이크를 할 수 있다. 따라서 제안하는 기법은 통신 단절 시간을 줄일 수 있을 뿐 아니라 데이터처리율을 극대화할 수 있다.

(그림 8)은 인지 무선 시스템에서 제안하는 기법의 핸드셰이크 절차에 대한 순서도이다.

(표 1) 시뮬레이션 파라미터

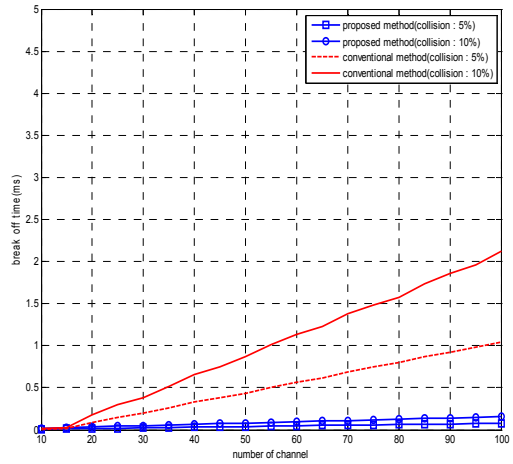
Item	Value
Frame duration	5ms
Quiet Period slot duration	0.5ms
Broadcasting duration	0.5ms
Data slot duration	4ms
FFT size	1024
Modulation	QPSK
Number of channel	10~100



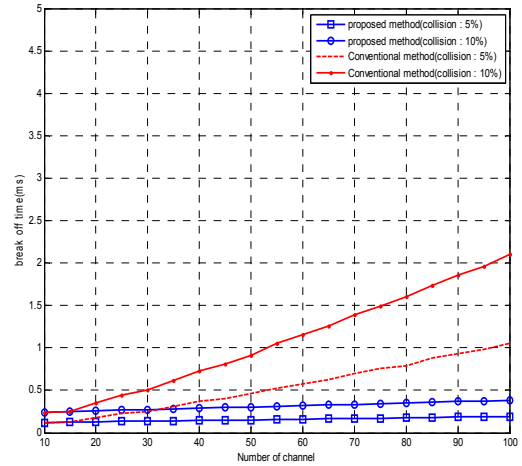
(그림 9) 충돌 확률에 따른 평균 통신 단절 시간

4. 시뮬레이션 환경 및 결과

본 논문에서 제안하는 임베디드 제어 신호 전송알고리즘의 성능 향상도 분석을 위하여 MATLAB을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 (표 1)과 같다. OFDM 전체 프레임 길이는 5ms로 가정했으며 그 중 스펙트럼 센싱과 동적 주파수 선택을 수행하는 휴지기간이 0.5ms를 차지하고, 다음 0.5ms 구간에서는 선택된 채널 및 ID를 브로드캐스팅 하는 것으로 가정한다. 또한 1024-point FFT를 가정하고 있으며 8개의 톤을 한 세트로 하여 고유의 ID를 마킹한다. 따라서 한 심볼 내에서 100개 이상의 채널을 스캐닝



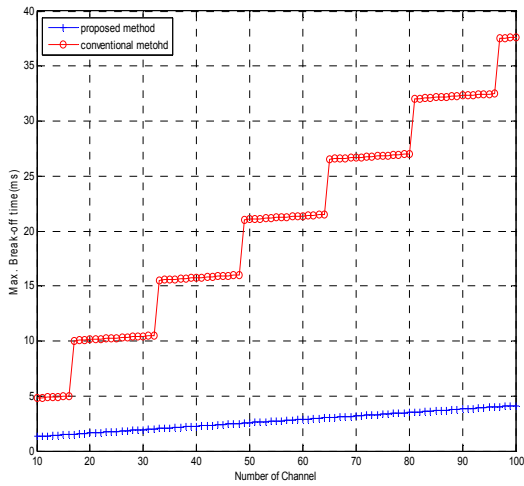
(그림 10) 휴지기간에서 충돌이 발생한 경우의 통신 단절 시간 비교



(그림 11) 데이터 전송 구간에서 충돌이 발생한 경우의 통신 단절 시간 비교

할 수 있다.

(그림 9)~(그림 13)을 통해 다양한 파라미터 값의 변화에 대한 제안하는 방식과 기존의 방식의 성능을 확인해 볼 수 있다. 기본적으로 채널의 수가 증가하면 전체 채널을 스캐닝하는 시간이 길어지기 때문에 통신 단절 시간은 점차 증가한다. (그림 9)에서는 우선사용자가 무선 인지 시스템이 사용하고 있는 대역에 나타날 경우, 무선 인지 시



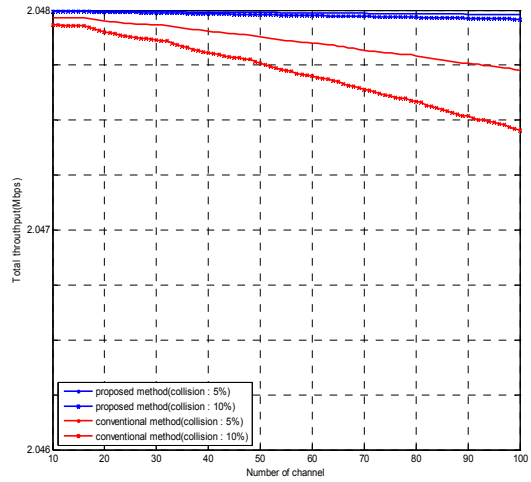
(그림 12) 최대 통신 단절 시간

시스템이 핸드셰이크를 재개할 때까지의 평균 통신 단절 시간을 보여준다. 우선사용자와의 충돌 확률이 증가함에 따라 평균 통신 단절 시간이 크게 증가한다.

(그림 10)과 (그림 11)은 기존의 방식과 제안된 기법의 평균 통신 단절 시간 비교를 나타낸다. (그림 10)에서와 같이 휴지기간에서 충돌이 발생한 경우 전체 대역의 채널 개수가 100개, 충돌 발생 확률이 5% 일 때, 본 논문에서 제안하는 임베디드 제어정보 전송기법을 사용함으로써 핸드셰이크 달성 시간을 0.08ms로 단축시켰다. 이를 통해 기존의 방식 대비 통신 단절 시간을 약 92% 감소시킬 수 있다.

(그림 11)은 데이터 전송 구간에서 충돌이 발생한 경우의 평균 통신 단절 시간을 나타내며, 제안하는 기법이 통신 단절 시간을 약 80% 감소시킬 수 있다.

(그림 12)는 기존의 방식과 제안하는 임베디드 제어신호 전송 방식의 최대 통신 단절 시간을 나타낸다. 기존 방식의 경우 제어신호를 전송하는 구간이 0.5ms로 한정되어 있기 때문에 한 개의 프레임 내에서 스캐닝 할 수 있는 채널의 수가 매우 적다. 즉, 한 프레임 내에서 스캐닝 할 수 있는 채널의 수가 적기 때문에 최대 통신 단절 시간의 증



(그림 13) 우선사용자와의 충돌 확률에 따른 총 데이터 처리량

가 폭이 크다는 것을 알 수 있다.

(그림 13)에서는 우선사용자와의 충돌 발생 빈도에 따른 무선 인지 시스템의 데이터 처리율을 보인다. 무선 인지 시스템의 서비스 품질을 보장하기 위해서는 우선사용자와의 충돌 발생 시 빠르게 해당 대역을 비워주고 최적의 채널로 도약해 통신을 재개해야 한다. 그러나 기존의 방식은 통신단절시간이 길기 때문에, 충돌 발생 확률이 높아지면 데이터 처리율이 크게 저하됨을 알 수 있다. 반면에 제안하는 임베디드 제어 신호 전송 방식의 경우 데이터 처리율의 저하가 거의 없는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

무선 인지 시스템은 주파수를 재사용함으로써 주파수 효율을 높일 수 있는 시스템이다. 무선 인지 시스템이 비어있는 대역을 사용해 통신을 하고 있을 때, 우선사용자의 신호가 나타나 그 대역을 점유하게 되면, 무선 인지 시스템은 반드시 해당 대역을 비우고 다른 채널로 이동해야 한다. 본 논문은 무선 인지 시스템의 통신 단절 시간을 감소시키기 위해 OFDM PTS 임베디드 부가 정보

전송 기법을 이용하여 무선 인지 시스템의 핸드셰이크 제어 신호를 전송하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 우선사용자와의 충돌 발생 시 빠르게 최적의 채널로 도약하여 통신을 재개함으로써 데이터 처리율을 최대화한다. 따라서 무선 인지 사용자의 서비스 품질을 보장 할 수 있음을 컴퓨터 모의실험을 통해 보였다.

참 고 문 헌

- [1] FCC, "Spectrum Policy Task Force Report", ET Docket No.02-155, Nov. 2002
- [2] M. A. McHenry, "NSF Spectrum Occupancy Measurements Project Summary", Shared Spectrum Company, Aug. 2005.
- [3] FCC, "Facilitation Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable spectrum use employing Cognitive Radio Technologies", Notice of Proposed Rule Making, ET Docket No.03-332, Dec. 2003.
- [4] Simon Haykin, "Cognitive Radio : brain-empowered wireless communications", IEEE J. Commun. Mag., Vol.23, No.2, Feb. 2005.
- [5] J. Mitola, "Cognitive Radio: Making software radios more personal," IEEE Pers. Commun., Vol.6, No.4, pp.13-18, Aug. 1999.
- [6] J. Mitola, "Cognitive Radio: An integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", Ph.D thesis, Royal Institute of Technology (KTH) and Sweden
- [7] D. Maldonado, B. Le, A. Hugine, T. W. Rondeau, and C. W. Bostian, "Cognirive radio applications to dynamic spectrum allocation", Proc. IEEE Int. Symp. New Frontiers on Dynamic Spectrum Access, pp.597-600, Nov. 2005.
- [8] D. Cablic, S. Mishra, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios", in Proc. Asilomar Conf. On Signals, Systems and Computers, Vol.1, pp.772-776, Nov. 2004.
- [9] L. J. Cimini, Jr., N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Radio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences", IEEE Comm. Letters, Vol.4, No.3, pp.86-88, Mar. 2000.
- [10] L. J. Cimini Jr., N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Radio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences With Embedded Side Information", GLOBECOM '00. IEEE, vol.2, pp.746-750, Nov. 2000.

◎ 저 자 소 개 ◎



정 봉 민

2009년 인하대학교 전자공학과 졸업(학사)
2009년~현재 인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 재학(석사)
관심분야 : 무선 인지 기술, 이동 통신
E-mail : bongmin.jeong@witlab.kr



손 성 환

2004년 인하대학교 전자공학과(학사)
2006년 인하대학교 정보통신대학원(석사)
2010년 인하대학교 정보통신대학원(박사)
2010년 인하대학교 정보통신대학원(Post-Doctor)
관심분야 : 이동 통신, 무선 인지 기술
E-mail : SungHwan.Sohn@witlab.kr



장 성 진

2007년 인하대학교 전자공학과(학사)
2009년 인하대학교 정보통신대학원 (석사)
2009년~현재 인하대학교 정보통신대학원(박사과정)
관심분야 : 이동 통신, 무선 인지 기술
E-mail : sungjeon.jang@witlab.kr



김 재 명

1974년 한양대학교 전자공학과(학사)
1981년 미국 남가주대학교(USC) 전기공학과(석사)
1987년 연세대학교 전자공학과(박사)
1974년 3월~1979년 6월 한국과학기술연구소, 한국통신기술연구소 근무
1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원 위성통신연구단장/무선방송연구소 소장 역임
2003년 4월~현재 인하대학교 정보통신대학원 원장/교수, 현재 통신위성 우주산업연구회 회장
외 기술자문으로 다수 활동중
관심분야 : 차세대 무선 이동 통신 및 무선 인지 기술, UWB
E-mail : jaekim@inha.ac.kr