

LTE 시스템을 위한 Cyclostationary 신호 검출 기법의 성능 분석

김승종*, 김경호**, 황유민**, 김진영**

Performance Analysis of Cyclostationary Signal Detection Scheme for LTE System

Seung Jong Kim*, Kyung Ho Kim**, Yu Min Hwang**, Jin Young Kim**

요 약

본 논문에서는 LTE 시스템을 위한 Cyclostationary 신호 검출 기법의 성능을 분석하였다. 스펙트럼 사용 효율을 높이고 주파수를 공유하는 인지무선(Cognitive radio, CR)기술에 Cyclostationary 신호검출 기법을 적용하여, Long term evolution(LTE) 환경의 주파수 대역 내에서 신호를 검출하였다. LTE 시스템은 3rd generation partnership project(3GPP)에서 최대 전송률을 높이고, 낮은 지연을 제공하기 위한 표준으로 지정되었다. 본 논문에서는 하향링크 직교 주파수 분할 다중 접속(Orthogonal frequency division multiple access, OFDMA) 신호를 기준으로 LTE 신호를 생성하였으며, 생성된 신호의 Segment 및 임계값에 따라 검출성능을 분석하였다. 모의실험에 적용된 채널은 가우시안 채널이고, 추후 LTE 시스템에 CR을 적용하기 위한 향후 연구 방향에 대하여 논의하였다.

Key Words : OFDMA, LTE, Cognitive radio(CR), Cyclostationary scheme, Signal detection

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the performance of cyclostationary signal detection scheme for LTE system. We applied the cyclostationary signal detection scheme to the cognitive radio(CR) technology, which improves the usage efficiency of spectrums and shares frequencies, and we detected the signal in the long term evolution(LTE) band. LTE system has been designated as the standard to improve the maximum data rate and provide the low latency in the 3rd generation partnership project(3GPP). In this paper, we generated the LTE signals based on the orthogonal frequency division multiple access(OFDMA) and analyzed the performance of signal detection in accordance with the segment and threshold of the generated signals. Gaussian channel was used in the simulation and we discussed the future studies to apply the CR to the LTE system.

I. 서론

무선 통신의 발전 및 무선 장비의 수요가 급증함으로써 주파수 사용범위가 크게 확대되고 있으며, 수요가 급증하고 있다 [1]. 실제적으로 할당된 대역 이외에 비어있는 주파수 대역이 거의 없을 정도로 주파수 수요가 늘어나고 있다. 이를 해결하기 위해 미국 Federal communication commission (FCC)에서는 주파수 사용 효율을 높여 요구하는 수요를 해결 할 수 있는 Cognitive radio(CR) 기술을 도입하기로 하였다.

CR 시스템은 기존 주파수 사용자인 1차 사용자(Primary

User)에 영향을 미치지 않도록 CR 사용자가 1차 사용자의 주파수 대역을 사용하는 기술로, 주파수 효율을 증대시키는 기술을 말한다. CR 시스템 기술 중 특히 가장 중요한 기술을 스펙트럼 센싱이라 말할 수 있다. 이는 1차 사용자의 사용 유무를 검출하는 기술로써, 이 후 2차 사용자의 주파수 사용에 큰 영향을 미치는 기술이다. 신호검출 기법에는 다양한 방식이 있지만, 본 논문에서는 Cyclostationary 신호 검출 기법을 채택하여 LTE 시스템에 적용을 하여 연구를 하였다.

LTE 시스템은 2004년부터 최대 데이터 전송률을 높이고 낮은 지연을 제공하는 진화된 서비스를 위하여 3rd

*이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A5A1011478)."

*LS산전(주) (crowk82@naver.com)

**광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (gentle@kw.ac.kr, yumin@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2014년 5월 2일, 수정완료일자 : 2014년 5월 23일, 최종게재확정일자 : 2014년 5월 26일

generation partnership project(3GPP)에서 표준화를 진행하였다 [2]. 3GPP LTE 표준에서는 기존 3GPP에서의 WCDMA 무선 접속 기술을 이용하는 대신에 하향링크에 직교 주파수 분할 다중 접속(Orthogonal frequency division multiple access, OFDMA)방식과 상향링크에 단일 반송파 주파수 분할 다중 접속(Single carrier frequency division multiple access, SC-FDMA)방식을 사용하여 Evolved Universal Terrestrial Radio Access/Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRA/UTRAN) 시스템의 표준화 작업을 진행하고 있다.

본 논문에서는 향후 LTE 시스템에 CR 기술을 적용하기 위한 연구를 하였고, 논문의 구성은 다음과 같다 [3-5]. 제 II 장에서는 3GPP LTE 시스템의 표준 및 특성을 검토하고, LTE 신호 구조에 대해 설명하였다. 제 III장에서는 cyclostationary 신호 검출 기법에 대해 설명하였으며, IV장에서는 모의실험을 통해 결과를 검증하였으며, 마지막으로 제 V장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논의하였다.

II. 3GPP LTE 모델

LTE 시스템은 기본적으로 15kHz의 부반송파 간격을 지원지만, MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) 전용 셀을 지원하기 위해 7.5kHz의 부반송파 간격을 추가적으로 지원한다.

표 1. 3GPP LTE 하향링크의 전송 매개변수

Bandwidth	2.5MHz	5MHz	10MHz
Subframe duration	0.5ms		
FFT size	256	512	1024
Number of occupied subcarrier	150	300	600
CP length (us/sample)	(4.69/18)×6 (5.21/20)×1	(4.69/36)×6 (5.21/40)×1	(4.69/72)×6 (5.21/80)×1

부반송파의 간격에 따라 Cyclic prefix(CP)의 길이도 달라지는데, 기본적으로 7개의 OFDM이 한 슬롯으로 구성되며, 이 때 사용되는 CP는 한 슬롯의 길이를 0.5ms로 유지하지 위해 6개의 4.69us의 CP길이와 5.21us의 CP길이를 사용한다. 표 1은 3GPP LTE 하향링크의 전송 매개변수를 나타낸다.

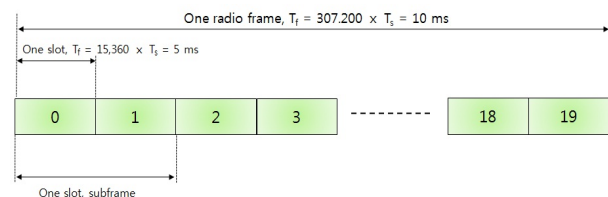


그림 1. LTE 프레임의 구조

LTE 시스템에서는 FDD(Frequency Division Duplex)와 TDD(Time Division Duplex)를 모두 지원하며, 우리는 FDD 경우를 적용하여 실험을 하였다. LTE FDD에 사용되는 프레임 구조는 그림 1과 같다. 일반적으로 한 프레임은 10ms의 길이를 갖고 20개의 슬롯으로 구성된다.

LTE 전송신호는 시간영역에서 N_{symbol}^{DL} 개의 OFDM 심볼과 주파수영역 N_{sc}^{RB} 개의 부반송파로 이루어진 RB (Resource Block) 단위로 신호가 할당된다. 따라서 한 RB는 $N_{symbol}^{DL} \times N_{sc}^{RB}$ 개의 Resource element로 이루어진다. 그림 2는 LTE의 하향링크 자원할당 구조를 나타내었다.

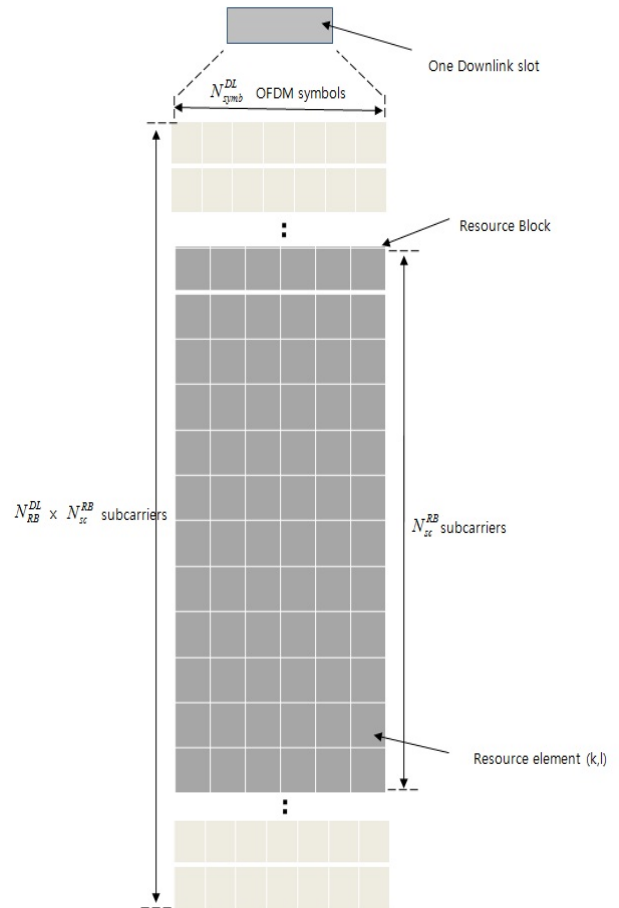


그림 2. LTE 신호의 하향링크 자원할당 구조

할당된 신호는 해당되는 변조, RS 신호생성 등 여러 과정을 거쳐 전송된다. 이 때 LTE의 기준신호라 정의되는 RS신호는 채널 추정 등에 사용되는 신호이다. RS신호는 LTE 시스템에서 안테나의 개수에 따라 유동적으로 생성된다 [6].

$$r_{l,m}(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m + 1)) \quad (1)$$

$$(m = 0, 1, \dots, 2N_{RB}^{max, DL} - 1)$$

여기서 n_s 는 슬롯 번호, l 은 슬롯 내 OFDM 심볼 번호를 나타낸다. 또한 $c(i)$ 는 PN 시퀀스를 나타내며, 각 OFDM 심볼 시작시 $c_{init} = 2^{13} \cdot l + 2^9 \cdot \lfloor n_s/2 \rfloor + N_{ID}^{cell}$ 로 초기화된다. 우리는 LTE 표준에 있는 안테나 개수가 1×1일 경우를 가정하여 LTE 신호를 생성하였다. 그림 3은 생성된 LTE 신호이다.

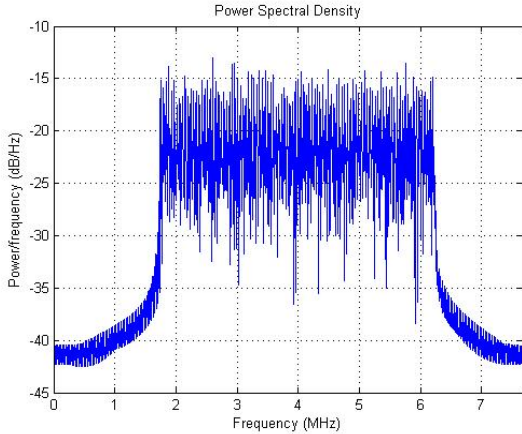


그림 3. 생성된 LTE 신호

III. Cyclostationary 신호 검출 기법

Cyclostationary 검출 기법은 주파수 영역에서 각 1차 사용자의 전송 신호의 구별되는 특성을 이용하는 방식이다. 일반적으로 1차 사용자의 변조 신호에 대한 특성을 살펴보면 고유의 주기성을 갖는 성분들을 포함하고 있다. 이러한 주기적인 성분들은 전형적으로 수신기에서 반송파 위상, 펄스 타이밍, 다중 경로 도착 등의 파라미터 추정을 위해 의도적으로 사용된다. 따라서 비록 전송 데이터는 stationary 랜덤 프로세스(random process) 성격을 가지고 있으나, 변조된 신호는 그 평균과 자기 상관함수(autocorrelation) 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 cyclostationary한 특성을 나타내게 된다. 일반적으로 stationary 랜덤 프로세스의 신호 분석을 위해서는 자기 상관 함수와 전력 스펙트럼 밀도 함수(power spectral density)를 이용하게 되지만, 이러한 cyclostationary 신호는 그 주기적인 특성으로 인해 주파수 성분 간의 상관성이 존재하게 되어 spectral correlation function를 이용할 수 있게 된다 [7]. 최종적으로 cyclic spectrum 연산을 수행하게 되는데 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S_z^\alpha(k) = \frac{1}{2L+1} \frac{1}{\Delta t} \sum_{l=-L}^L Z_l^D(k+\alpha/2) \cdot Z_l^{D*}(k-\alpha/2) \quad (2)$$

$$Z_l^D(k) = \sum_{n=0}^{N-1} z_l^D[n] e^{-j2\pi kn/N} \quad (3)$$

식 2에서 N 값은 FFT 크기를 나타내며, 최종적으로 식 2에서 나온 결과값 중 최대값을 찾아 그 값과 임계값과 비교하여 1차 사용자의 유무를 판단하여 신호를 검출할 수 있다.

IV. 모의실험 결과

우리는 LTE 신호채널추정 등을 하기 위해 생성한 RS 신호에 적용하여 cyclostationary 검출 기법을 적용하여 스펙트럼 검출 유무를 판단하였다.

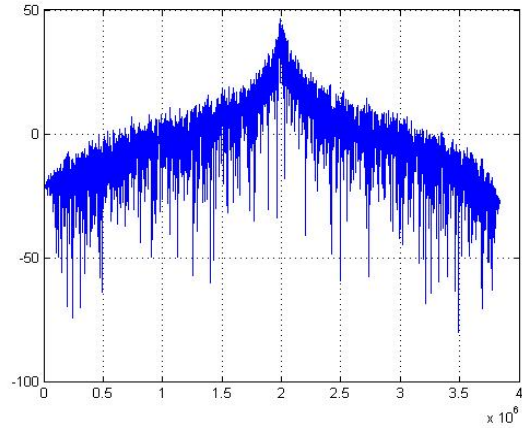


그림 4. ± 20kHz 필터링된 신호

LTE 신호를 cyclostationary 센싱방법을 이용하여 스펙트럼 센싱을 하는 것 역시 DTV일 때와 동일한 방법으로 실험을 하였다. 생성된 기본 LTE 신호에 SNR에 따라 신호세기를 줄여 검출성능을 SNR에 따라 구한 뒤 그래프를 얻었다.

기본 알고리즘은 수신된 LTE 신호를 +/- 20kHz BPF(Band Pass Filter)를 이용하여 필터링을 취하게 된다. 필터링된 LTE 신호는 Baseband로 이동시켜준다. Baseband로 이동된 신호는 또 다시 50kHz의 LPF(Low Pass Filter)를 사용하여 필터링되며, 필터링된 신호는 decimation 과정을 거쳐 cyclic 연산이 들어가는 전 과정까지 신호처리가 된다.

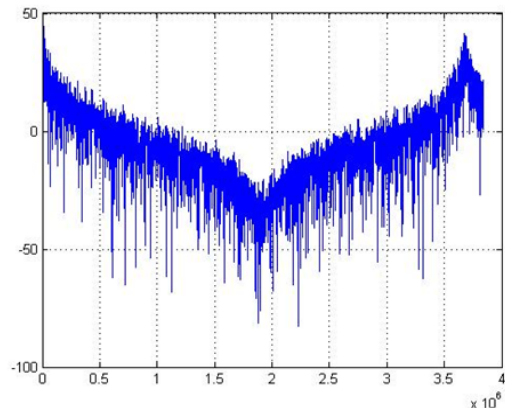


그림 5. Baseband로 주파수 이동된 LTE 신호

Cyclic 연산을 마친 결과값들은 기존 threshold와 비교하여 스펙트럼 센싱판정을 내리게 된다. threshold는 앞서 언급한 방법과 동일한 방법을 이용하여 threshold를 잡았으며, false alarm은 5%, 10%로 각각 정하여 실험결과값을 얻었다 [8].

그림 6은 cyclostationary 검출 성능 결과를 false alarm 5%를 적용시켜 얻은 결과값이다. 검출성능이 90%일 때를 기준으로 보면 3 Segments, 4 Segments, 5 Segments일 때 SNR은 -12dB, -14dB, -15dB로 검출성능을 구할 수 있었으며, 반면 false alarm 10%로 적용했을 경우는 검출성능이 각각 -16dB, -18dB, -20dB로 향상된 결과값을 그림 7을 통해 알 수 있었다.

이는 세그먼트 수가 증가할수록 PSD (Power spectrum density)가 높아짐에 따라 임계값과 비교 시 높아져 검출성능이 증가하는 것으로 판단하였다. 또한 실험에 적용된 채널은 Gaussian 환경을 고려하였으며 향후 실험에 있어 다양한 페이딩 환경에 따른 채널 파라미터 값을 분석하였다.

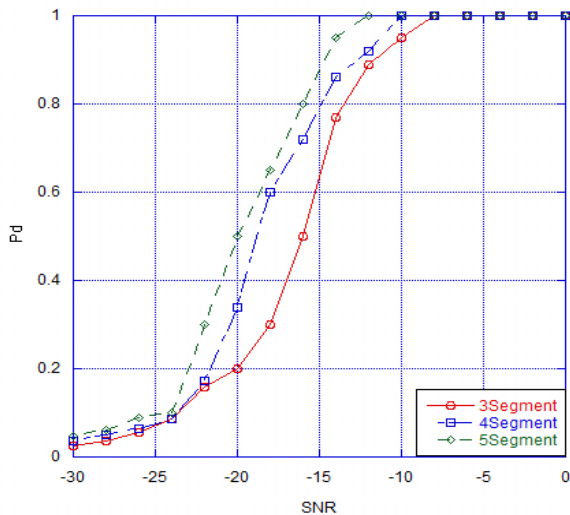


그림 6. False alarm 5%일 경우 성능분석

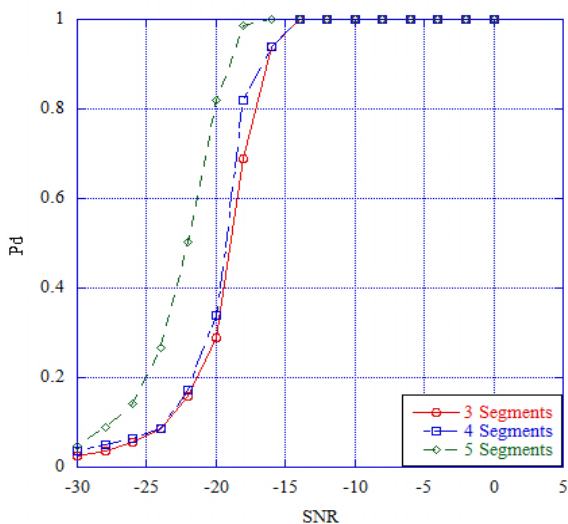


그림 7. False alarm 10%일 경우 성능분석

V. 결론

본 논문에서는 3GPP LTE 신호를 검출하기 위하여 신호를 생성하여 cyclostationary 검출 기법을 LTE RS 신호에 적용하여 LTE 신호검출성능을 분석하였다. 모의실험을 통해 임계값이 낮을수록 또는 LTE 신호의 세그먼트 수가 증가할수록 검출성능이 높아지는 것을 알 수 가있었다. 임계값은 랜덤성을 띄게 하여 검출 성능실험을 할 때마다 실험을 하여 얻어 보다 신뢰적인 값을 얻도록 하였다. cyclostationary 검출기법은 다른 검출 기법보다 많은 시간이 소요되지만 성능에 있어서 높은 검출성능을 지니고 있는 것을 알 수 있었다. 본 논문의 결과는 추후 LTE 시스템을 적용되는 곳에서 신호 검출기법을 적용한 시스템을 구현하는데 활용될 수 있으며, 실제 환경에서 적용할 수 있도록 다양한 파라미터를 적용하여 실험을 하는데 중요한 기반이 되었다.

참고 문헌

- [1] J. Y. Kim. Cognitive Radio Communications, Seoul, Gyobo Publisher, 2008.
- [2] 3GPP TS 36.201, LTE physical layer - general description, ver 1.0.0, Dec 2008.
- [3] Federal Communication Commission, "pectrum policy task force,"Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.
- [4] F. K. Jondral, "Software defined radio: Basics and evolution to cognitive radio", EURASIP J. Wireless Commun. Netw.,vol. 5, no. 3, pp. 275-283, Aug. 2005.
- [5] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio : Making software radios more personal,"IEEE Pers. Commun., vol 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [6] Y. S. Cho, J. K. Kim and Y. Y Yang, MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB, Seoul, HongReung Publisher, 2008.
- [7] H. Chen and W. Gao, "Text on cyclostationary feature detector-for informative annex on sensing techniques," IEEE 802.22-07/0283r0, June 2007.
- [8] G. Minkler and J. Minkler, CFAR, Magellam Book Company, 1990.

저자

김 승 종 (Seung Jong Kim)

준회원



- 2009년 : 청주대학교 정보통신공학과 졸업
- 2009년~2011: 광운대학교 전파공학과 석사
- 2011년~현재: LS산전(주)

<관심분야> : ATSC DTV, Cognitive Radio, LTE

김 경 호(Kyung Ho Kim)

준회원



- 2013년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사졸업
- 2013년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정

<관심분야> : WBAN, 가시광 통신, 디지털통신, 5G 이동통신

황 유 민(Yu Min Hwang)

준회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학 학사졸업
- 2012년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 5G 이동통신, 협력통신, 인지무선통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 5G 이동통신