

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제19권 제2호, 2014년 3월 (JBE Vol. 19, No. 2, March 2014)

http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.2.184

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

이동통신 기반의 재난경보 방송을 위한 동기식 협력통신 방식

장 석 진^{a)†}

A Synchronous Cooperative Communication for Emergency Alert Broadcast Based on Cellular Systems

Sekchin Chang^{a)†}

요 약

이동통신망을 이용한 재난경보의 신속한 방송을 위해 CBS 기능이 이용된다. 본 논문에서는 이 CBS 기능을 위한 동기식 협력통신 방식을 제안한다. 특히 고속 전송을 위한 동기 방식과 데이터 복구 기법을 제안한다. 고속 전송 환경에서의 동기를 위해 주기 전치부가 있는 프리앰블이 이용되며 데이터 복구를 위해 SC-FDE와 유사한 주파수 영역에서의 Alamouti 기법을 이용한다. 모의실험 결과는 제안된 방식이 CBS에 매우 적합함을 보여준다.

Abstract

The CBS methodology has been utilized in order to make a rapid broadcast of emergency alert based on cellular systems. We present a synchronous cooperative communication method for the CBS. Especially, we suggest a synchronization scheme and a data recovery approach for high-rate cooperative communications. For the high-rate transfer of emergency alert, the cyclic prefix is added to the preamble for the synchronization. For the data recovery, the Alamouti technique is utilized on frequency domain, which is similar to SC-FDE. The simulation results confirm that our proposed scheme is very suitable for the CBS.

Keyword : CBS, Alert, Broadcast, Synchronization, Cooperation

1. 서 론

최근 미국의 허리케인, 일본의 대지진 등으로 대자연의

재해 앞에서는 선진국조차도 많은 인명 피해를 피할 수 없음을 알게 되었다. 이에 많은 국가들은 지진, 해일 등의 심각한 재난이 예상되는 지역에 IT 기술을 이용하여 신속한 재난경보 정보를 방송함으로써 인명 피해를 최소화 할 수 있는 대책을 연구해 왔다. 여러 IT 기술 중 이동통신망은 지역 단위의 데이터 전송이 가능하기 때문에 재난경보 방송 서비스에 매우 적합하다. 또한 이동통신망은 CBS(Cell Broadcast Service)^[1]라는 프로토콜을 이용하여 기지국이 관장하는 지역의 전 가입자에게 재난경보 정보를 동시에

a) 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

† Corresponding Author : 장석진(Sekchin Chang)

E-mail: schang213@uos.ac.kr

Tel: +82-2-6490-2342

※ 이 논문은 2013년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

· Manuscript received January 3, 2014 Revised February 20, 2014

Accepted February 20, 2014

전송, 즉 방송할 수 있는 기능을 가지고 있다. 그러나 국내의 3G 이동통신망은 CBS 기능이 없으며, 이제 막 CBS 기능이 추가된 3GPP(Generation Partnership Project) LTE(Long Term Evolution) 경우 CBS를 지원하는 단말기가 매우 적어 대다수 가입자들이 CBS 기능을 이용하기 어려운 실정이다. 이를 극복하고자 게이트웨이(gateway)를 이용하여 CBS 메시지를 최종 가입자에게 전달하는 방식 등이 제안되었다^{2,3)}. 또한 협력통신 방식을 이용할 경우 다이버시티(diversity) 이득으로 더 많은 가입자에게 더 신뢰성 있는 메시지 전송이 가능하다⁴⁾.

협력통신은 단일 안테나로 시공간(Space-Time) 부호 기법을 구현하여 다이버시티 이득을 얻는 방식이다. 이 경우 릴레이들과 최종 수신원 사이의 서로 다른 시간 옵셋이 불가피하며 이는 심볼간 간섭을 증대시키고 SNR(Signal-to-Noise power Ratio) 손실을 초래하여 수신단의 성능을 현저히 저하 시킨다⁵⁾. 이를 위하여 동기식 협력통신 방식이 필요하며 이에 대한 많은 연구가 진행되는 상황이다^{6,7)}. 특히 복잡도가 감소된 효율적인 동기 방식을 위한 프리엠블(preamble) 구조와 데이터 복구 기법이 제안되었다⁸⁾. 그러나 이들 방식들은 저속 협력통신을 가정하였다. 이 경우 신속한 재난경보 전송 등이 요구되는 고속의 협력통신 시스템은 주파수 선택(frequency-selective) 채널이 사용되기 때문에 이전 연구의 방식을 직접 사용하기가 어렵다. 이를 극복하고자 본 연구에서는 CBS 재난경보의 효율적인 전송을 위한 동기식 협력통신 방식을 제안하였다. 특히 주파수 선택 채널에서 동작하는 고속의 협력통신을 대상으로 하는 시간 옵셋 및 채널 추정 방식과 수신 데이터 복구 기법 등을 제안한다. 이 추정 방식을 위해 기존 연구⁸⁾에서 제안한 프리엠블 구조를 수정한 새로운 구조를 이용하였다. 이 새로운 프리엠블 구조는 주파수 선택 채널에 적합하게 설계되었다. 또한 시간 옵셋 존재 시 주파수 선택 채널 환경에서 수신 데이터의 정확한 복구를 위해 SC-FDE(Single-Carrier Frequency Domain Equalization) 기법⁹⁾과 유사한 복구 방식을 제안한다. 이 복구 방식은 SC-FDE와 유사하게 주파수 영역에서 데이터 복구를 시도한다. 본 논문에서는 추정 기법의 MSE(Mean Squared Error) 성능과 복구된 데이터의 PER(Packet Error Rate) 성능을 통하여 제안된 방식의 타당

성과 우수성을 입증한다.

II. 이동통신 기반의 재난경보 방송

현재 이동통신 기반의 재난경보 방송은 주로 2G 이동통신용 CBS, 3GPP WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 이동통신용 CBS, 3GPP LTE 이동통신용 CBS 등으로 구분된다¹⁾.

1. 2G 이동통신용 CBS

현재 전 세계적으로 가장 많이 이용되는 2G 이동통신 방식은 유럽에서 제안한 GSM(Global System for Mobile Communications) 방식이다. 그러나 국내에서는 퀄컴(Qualcomm)에서 제안한 CDMA(Code Division Multiple Access) 기반의 IS(Interim Standard)-95 계열을 이용하고 있다. 국내에서는 IS-95 계열 시스템에 추가된 CBS 기능을 이용하여 재난문자방송 서비스를 수행하고 있다. CBS는 휴대 단말기의 기지국을 최소 단위로 하여 휴대 단말기에 방송 형태로 문자정보를 전달하는 시스템이다. 그 CBS를 이용하여 한 번의 메시지 전송으로 전국 또는 해당지역의 가입자에게 방송 메시지를 동시에 전달할 수 있기 때문에 CBS 기능은 재난경보 방송 서비스에 매우 적합하다. 현재 국내 CBS 기능은 IS-95의 순방향(기지국에서 단말기 방향) 전송에서 이용되는 페이징(paging) 채널에 구현되어 있다. 페이징 채널은 기지국이 휴지 모드(idle mode)에 있는 이동 단말기에게 음성 통화가 오는 것을 알려주거나 음성통화를 시작하기 위한 제어 메시지를 보낼 필요가 있을 경우에 사용된다. 따라서 휴지 모드에 있는 이동 단말기들에게 재난 문자방송 전송을 위한 CBS에 페이징 채널은 매우 적합하다. 2G IS-95 계열에서는 기존 페이징 채널을 이용함으로써 CBS 기능을 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 기존 페이징 채널은 기본적으로 음성통화를 위하여 사용되기 때문에 CBS를 이용한 재난문자방송에서 지진이나 해일과 같은 긴급을 요하는 문자전송이 쉽지 않을 수도 있다. 국내에서의 2G CBS 재난문자방송은 2004년 시범 서비스

를 시작으로 2006년 6월에 소방방재청 자체 CBS 시스템을 구축하여 대표적인 대국민 공익 서비스로 자리 잡았다.

2. 3GPP WCDMA 이동통신용 CBS

국내 3G 이동통신의 대부분은 WCDMA 기반의 유럽방식인 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)를 이용하고 있다. UMTS를 위한 프로토콜 구조는 다음과 같이 3개의 계층(layer)으로 구성 된다:

- 제 1계층(L1): 물리계층(Physical Layer)
- 제 2계층(L2)
 - MAC(Medium Access Control), RLC(Radio Link Control), BMC(Broadcast and Multicast Control), PDCP(Packet Data Convergence Protocol)
- 제 3계층(L3): RRC(Radio Resource Control)

2G IS-95 계열과는 달리 3G UMTS는 CBS 서비스를 전달하는 기능이 프로토콜에 기술되어 있다. 위 프로토콜에서 BMC가 그 CBS 서비스를 전달한다. 또한, CBS 문자 메시지 전송을 위하여 논리 채널(logical channel), 전송 채널(transport channel), 물리 채널(physical channel)에 각각 속하는 다음 채널들이 사용 된다:

- CTCH(Common Traffic Channel): 논리 채널에 속함
- FACH(Forward Access Channel): 전송 채널에 속함
- S-CCPCH(Secondary Common Control Physical Channel): 물리 채널에 속함

이와 같이 전담 기능과 전담 채널을 사용함으로써, UMTS의 CBS는 긴급을 요하는 재난방송 서비스에 적절히 대처할 수 있도록 프로토콜들이 기술되어 있다. 그러나 국내에서는 이러한 전담 기능, 전담 채널들이 오히려 과부하로 작용하여 단말기의 과도한 배터리 (battery) 소모 등이 나타난다고 보고되고 있다^[10]. 이러한 이유 등으로 인해 현재 국내에서는 3G UMTS 기반의 CBS 재난방송 서비스가 실시되고 있지 않고 있다. 그러나 일본에서는 NTT Docomo에서 2007년 말부터 3G CBS 서비스를 실시하고 있다^[11]. 미국에서는 2G GSM, 3GPP CDMA를 기반으로 하는 재난방송 시스템의 표준화를 위하여 CMAS (Commercial Mobile Alert System) 표준안을 마련하였고, 현재 3G CBS 서비스를 실시하고 있다.

3. 3GPP LTE 이동통신용 CBS

3GPP LTE 이동통신용 CBS 경우 시스템 정보(System Information) 전달 절차를 통한 전달 기법이 이용된다.

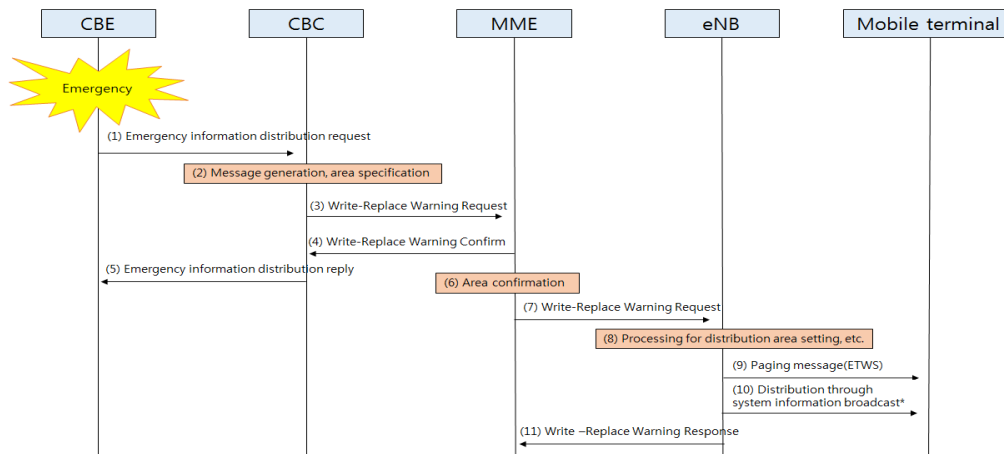


그림 1. LTE CBS 방식의 전송 프로토콜
Fig. 1. The protocol for LTE CBS

3GPP WCDMA 이동통신용 CBS와 유사하게 LTE에서도 CBS 문자 메시지 전송을 위하여 논리 채널(logical channel), 전송 채널(transport channel), 물리 채널(physical channel)에 각각 속하는 다음 채널들이 사용된다:

- BCCH(Broadcast Control Channel): 논리 채널에 속함
- DL-SCH(Downlink Shared Channel): 전송 채널에 속함
- PDSCH(Physical Downlink Shared Channel): 물리 채널에 속함

LTE CBS의 메시지 전송을 위한 프로토콜이 3GPP 표준안^[12]으로 정의되었으며, 그림 1은 LTE CBS 방식의 전송 프로토콜을 보여준다^[13]. 그림 1에서 CBE(Cell Broadcast Entity), CBC(Cell Broadcast Center)의 기능은 재난경보 전송을 위해 소방방재청 등 재난상황 인지 및 재난경보 전송 등의 권한이 있는 기관이 담당한다. 또한 MME(Mobility Management Entity)는 LTE 시스템에서 이동성을 관리하기 위해 통신 운영자가 이용한다. 그림 1에서 eNB(evolved Node B)는 LTE용 기지국을 의미한다. 그림 1에서 CBE, CBC, MME, eNB는 유선으로 연결되어 있어 그들 사이에는 재난경보 메시지 전송 후 확인(confirm) 메시지를 수신 받을 수 있다. 그러나 기지국인 eNB에서 이동 단말기(mobile terminal)로는 무선 프로토콜에 의해 재난경보 메시지가 전달된다. 이 전달 방식은 CBS 방송 프로토콜이 이용되므로 기지국은 단말기로부터 확인(confirm) 메시지를 수신 받을 수 없다. LTE용 기지국과 단말기 사이의 이 CBS 메시지 전달 방식이 표준안^[12]에 기술되어 있으며, 일본에서 서비스 중인 LTE ETWS(Earthquake and Tsunami Warning System)는 다음 전송 방식을 따른다^[14].

- 기지국은 PCH(paging channel)를 통하여 paging 메시지를 단말기에게 전달함으로써 단말기에게 CBS 문자 방송이 시작될 것을 알림
 - ETWS Indication
- 단말기는 수신한 paging 메시지에서 ETWS Indication을 확인 후 CBS 문자방송을 수신하기 시작
- 1차 경보(Primary Notification)

- 경보 유형(Warning Type)
- SIB10(System Information Block type 10)을 이용하여 전송
- 2차 경보(Secondary Notification)
 - 경보 메시지(Warning Message)
 - SIB11(System Information Block type 11)을 이용하여 전송
- SIB가 매핑(mapping)된 시스템 정보 메시지는 하향공통채널 (DL-SCH)을 통하여 전송됨

또한, 미국의 LTE CMAS는 다음 전송 방식을 따른다^[14]:

- 기지국은 PCH를 통하여 paging 메시지를 단말기에게 전달함으로써 단말기에게 CBS 문자방송이 시작될 것을 알림
 - CMAS Indication
- 단말기는 수신한 paging 메시지에서 CMAS Indication을 확인 후 CBS 문자방송을 수신하기 시작
- CBS 재난문자 방송
 - 경보 메시지(Warning Message)
 - SIB12(System Information Block type 12)을 이용하여 전송
- SIB가 매핑(mapping)된 시스템 정보 메시지는 하향공통채널 (DL-SCH)을 통하여 전송됨

현재 3GPP LTE용 CBS는 미국의 CMAS, 일본의 ETWS가 서비스 중에 있으며 국내에서도 서비스가 시작되었다. 국내의 LTE용 CBS는 미국의 CMAS 방식을 기반으로 한다.

III. 게이트웨이를 이용한 CBS 재난경보 메시지 전송을 위한 동기식 협력통신

II장에서 기술한 것처럼 국내에서는 셀 기반의 재난경보 서비스가 주로 2G 이동통신망에 이용되며, 3G WCDMA 이동통신망에는 전혀 지원되지 않고 있다. 최근에 3GPP

LTE 이동통신망에 셀 기반의 재난경보 서비스가 시작되었지만 그 서비스를 지원하는 LTE 단말기는 매우 제한적인 상황이다. 또한 2G 서비스가 중단되어가고 있는 현실에서 국내에서는 CBS를 이용한 효율적인 재난경보 서비스가 어려운 실정이다. 이를 극복하고자 게이트웨이를 이용한 CBS 전송기법이 제안되었다^[2,3]. 이러한 전송기법 환경에서 더 많은 사용자에게 신뢰성 있는 재난경보 전송을 위해 동기식 협력방식이 이용될 수 있다.

1. 게이트웨이를 이용한 CBS 재난경보 메시지 전송

그림 2는 게이트웨이를 이용한 CBS 재난경보 메시지 전송을 보여준다. 기지국(Base Station)에서 게이트웨이까지는 LTE 등의 이동통신 프로토콜을 이용하여 CBS 재난경보 메시지를 전송한다. 그러나 게이트웨이에서 각 사용자 단말기는 와이파이(wifi) 등의 다른 무선 프로토콜을 이용하여 재난경보 메시지를 전송하게 된다. 그림 2에서 사용자 단말기들이 어떠한 게이트웨이를 중심으로 클러스터링(clustering) 되어있다. 즉, 사용자 단말기들이 가장 신뢰성 있는 게이트웨이를 이용하여 재난경보 메시지를 수신하기 위해 이러한 클러스터링이 필요하다. 그림 2의 구조에서 재난경보 메시지의 수신 성능을 극대화하기 위해 적절한 클러스터링 기법이 이용 된다^[15].

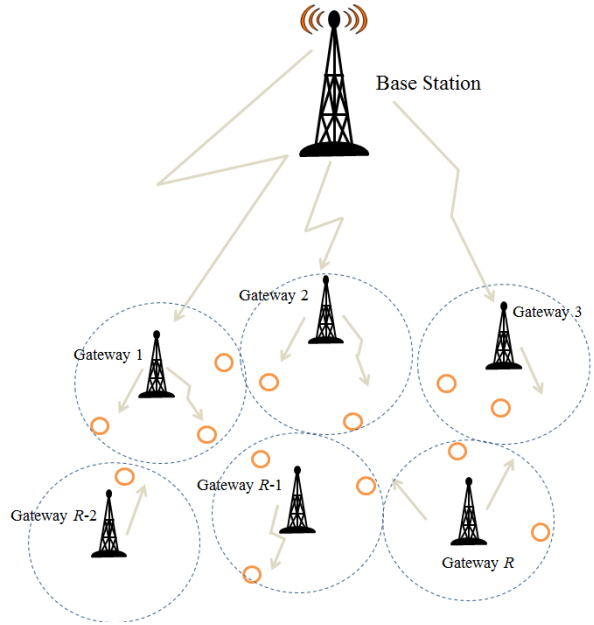


그림 2. 게이트웨이를 이용한 CBS 재난경보 전송
Fig. 2. The delivery of CBS emergency alert using gateways

그림 3은 CBS 재난경보 전송을 위해 그림 2에서 이용된 게이트웨이의 구조를 보여준다. 그 게이트웨이는 이동통신 프로토콜과 단말기(protocol)를 포함하고 있다. 국내에서는 2G 이동통신 서비스가 중단되고 있으며 최근에 LTE용 CBS가 시작되어 그림 3의 게이트웨이는 LTE를

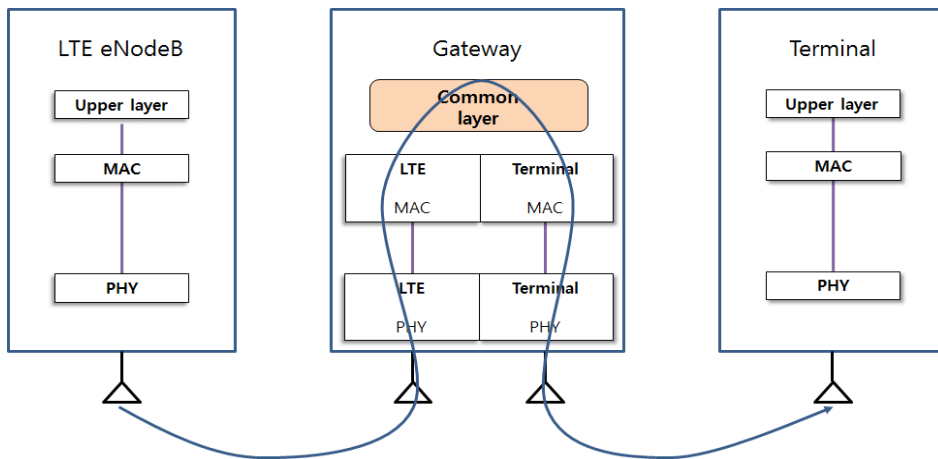


그림 3. CBS 재난경보 전송을 위한 게이트웨이의 구조
Fig. 3. The structure of gateway for delivery of CBS emergency alert

이동통신 프로토콜로 가정한다. 그 게이트웨이는 공통 계층은 LTE 프로토콜과 단말기 프로토콜 사이의 변환을 위해 공통 계층(common layer)을 이용한다. 즉, 그림 3의 게이트웨이는 그 공통 계층을 사용하여 LTE 기지국인 eNodeB로부터 수신한 CBS 재난경보 메시지를 사용자 단말기에게 전송한다. 그림 3의 가능한 사용자 단말기 프로토콜로서 와이파이의 비콘(beacon) 신호 전송 방식 등이 제안되었다^[2,3].

2. CBS 재난경보 메시지 전송을 위한 동기식 협력통신

그림 2의 게이트웨이 기반의 전송방식을 이용하여 국내에서는 3GPP WCDMA 단말기 사용자 또는 LTE CBS 기능이 없는 단말기 사용자들에게도 재난경보 메시지를 전송할 수 있다. 이 경우 동기식 협력통신을 이용할 경우 재난경보 메시지 수신 신뢰성 및 수신 가능 사용자들의 수를 증가시킬 수 있다. 그림 4는 일반적인 협력통신 모델을 보여준다.

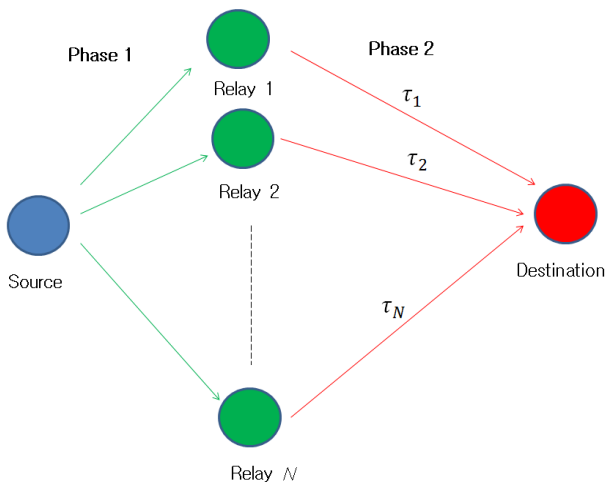


그림 4. 일반적인 협력통신 모델
 Fig. 4. The general model of cooperative communication

그림 4의 일반적인 협력통신 모델은 1개의 제공원(source), 다수의 릴레이(relay), 1개의 최종 수신원(destination)으로 구성된다. 또한 그 협력통신 모델은 정보 전달의 시간 순서

에 따라 2개의 시간 국면(phase)으로 구성된다. 시간 국면 1에서는 제공원이 정보를 다수의 릴레이에게 방송(broadcast) 한다. CBS 재난경보 메시지 전송에서 그림 4의 제공원은 그림 2 또는 그림 3의 게이트웨이를 의미한다. 제공원과 릴레이 사이의 전송 프로토콜은 그림 3의 단말기 프로토콜을 이용한다. 재난경보 메시지를 수신한 각 릴레이는 그 메시지를 최종 수신원에게 재전송한다. 그림 4에서 보듯이 재전송시 각 릴레이와 최종 수신원 사이에는 서로 다른 시간 오프셋($\tau_i; i = 1, 2, \dots, N$)이 존재한다. 따라서 그림 4의 협력통신을 이용한 CBS 재난경보 메시지 전송시 그 서로 다른 시간 오프셋을 보상하고 보상된 신호를 이용하여 최종 정보를 복구하는 동기식 협력통신 방식이 필요하다. 그 동기식 협력통신 방식을 위해 그림 4에 다음과 같은 가정을 한다.

- 간단한 구조를 위해 2개의 릴레이를 가정 한다 ($N = 2$).
- 시간 국면 2에서 각 릴레이는 수신된 재난경보 정보를 시공간 부호 (Space-Time Coded) 협력통신을 이용하여 최종 수신원에 전송 한다.
- 시간 국면 2에서 릴레이는 DF(Decode-and-Forward) 모드로 동작한다고 가정. 즉, 제공원과 각 릴레이 사이의 서로 다른 시간 오프셋은 이미 보상되었다고 가정 한다.

표 1. CBS 메시지의 포맷
 Table 1. The CBS message format

Octet Number(s)	Parameter
1	Message Type
2 - 3	Message ID
4 - 5	Serial Number
6	Data Coding Scheme
7 - N ($N \leq 1252$)	CB Data

표 1은 그림 2, 그림 3의 게이트웨이 또는 그림 4의 제공원이 수신하는 CBS 메시지의 포맷 [2]을 보여준다. 표에서 보듯이 메시지의 최대 크기는 1252 옥텟(octet)이다. 이러한 크기의 정보를 신속히 전송하기 위해서는 고속의 데이터 전송이 필수적이다. 따라서 그림 4의 협력통신 모델은 광대역 시스템이 되어야 하며 이용되는 무선 채널은 주파수 선택 채널이다. 이 채널 환경 하에 그림 4의 최종 수신원

이 n 번째 이산 샘플(sample)에서 수신하는 신호는 다음처럼 표현 된다:

$$y(n) = h_1(n) * x_1(n; \tau_1) + h_2(n) * x_2(n; \tau_2) + \eta(n) \quad (1)$$

식 (1)에서 $h_i(n)$ 는 i 번째 릴레이와 최종 수신원 사이의 주파수 선택 채널 파라미터 이다 ($i = 1, 2$). 또한 식 (1)에서 $x_i(n)$ 은 i 번째 릴레이의 송신 데이터 ($i = 1, 2$) 이며 τ_i 는 i 번째 릴레이와 최종 수신원 사이의 시간 오프셋 ($i = 1, 2$) 이다. 그리고 식 (1)의 $\eta(n)$ 은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 가리킨다. 그림 4에서 릴레이와 최종 수신원 사이의 프로토콜은 효과적인 시간 오프셋 추정과 수신 데이터 복구를 위해 IEEE802.15.4^[6]과 유사한 전송구조를 이용한다. 그러나 고속의 전송을 위하여 20 MHz의 대역폭을 이용 한다. 따라서 일반 IEEE802.15.4 시스템과는 달리 그림 4의 시스템은 광대역 시스템에 속한다. 그림 5는 주파수 선택 채널에서 시간 오프셋 추정을 위한 프리엠블 구조를 보여준다. 그 프리엠블의 특징은 다음과 같다:

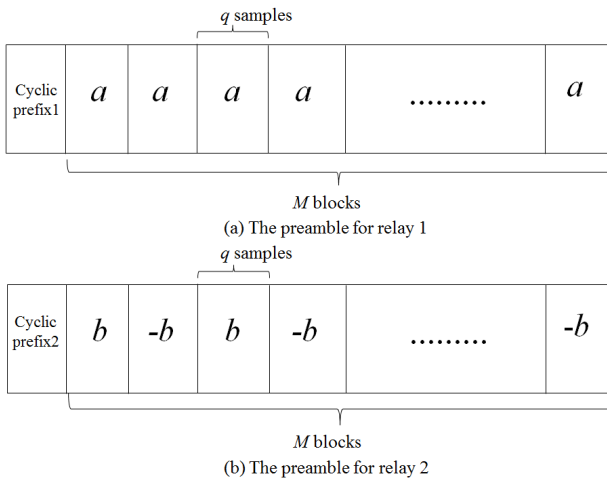


그림 5. 주파수 선택 채널에서 시간 오프셋 추정을 위한 프리엠블 구조
Fig. 5. The preamble structure for timing-offset estimation under frequency-selective channel

- 릴레이 1을 위한 프리엠블의 구조는 M개의 동일 블록 (block: a 로 표기됨)으로 구성됨 [그림 (a)]

- 릴레이 1을 위한 프리엠블은 주파수 선택 채널 극복을 위하여 주기 전치부(cyclic prefix) 1을 이용 [그림 (a)]
- 릴레이 2를 위한 프리엠블의 구조는 블록 b 와 블록 $-b$ 가 교대로 구성됨 [그림 (b)]
- 릴레이 1을 위한 프리엠블은 주파수 선택 채널 극복을 위하여 주기 전치부 2를 이용 [그림 (b)]

그림 5의 프리엠블 구조는 이전의 저속 시스템에 이용된 프리엠블 구조^[8]와는 달리 주기 전치부를 이용한다. 즉 그 주기 전치부를 이용하여 시간 오프셋 추정 시 고속 시스템이 겪는 주파수 선택 채널의 왜곡을 극복할 수 있다. 또한 시간 오프셋 추정과 함께 주파수 선택 채널의 파라미터를 효율적으로 추정할 수 있다. 그림 4에서 릴레이 1과 릴레이 2가 그림 5의 프리엠블 구조를 이용하여 최종 수신원에 데이터를 전송하면 최종 수신원에서 수신하는 신호는 다음처럼 표현 된다:

$$y^{pre}(n) = h_1(n) * x_1^{pre}(n; \tau_1) + h_2(n) * x_2^{pre}(n; \tau_2) + \eta(n) \quad (2)$$

식 (2)에서 $n = 0, 1, \dots, qM - 1$ 이다. 또한 식 (2)에서 $*$ 는 선형 컨볼루션(linear convolution)을 의미한다. 그림 5(a)에서 프리엠블의 주기성을 이용하면 주기 전치부 1를 제거 후 식 (3)을 구성할 수 있다:

$$\overline{y_1^{pre}}(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} y^{pre}(n + kq) \quad (3)$$

식 (3)에서 AWGN의 평균은 0이기 때문에 식 (3)은 식 (4)로 근사된다.

$$\overline{y_1^{pre}}(n) \approx h_1(n) \otimes x_1^{pre}(n; \tau_1) \quad (4)$$

식 (4)에서 \otimes 는 주기성 컨볼루션(circular convolution)을 의미한다. 식 (3)과 유사하게 그림 5(b)에서 프리엠블의 주기성을 이용하면 주기 전치부 2를 제거 후 다음 식을 구성할 수 있다:

$$\overline{y_2^{pre}}(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} (-1)^k y^{pre}(n+kq) \quad (5)$$

식 (5)에서 AWGN의 평균은 0이기 때문에 식 (3)과 식 (4)의 관계와 유사하게 식 (5)는 식 (6)으로 근사된다.

$$\overline{y_2^{pre}}(n) \approx h_2(n) \otimes x_2^{pre}(n; \tau_2) \quad (6)$$

식 (4)와 식 (6)으로부터 릴레이 i ($i = 1, 2$)의 시간 오프셋을 다음처럼 추정할 수 있다:

$$\hat{\tau}_i = \arg \max_{\tau_i} \mathbf{y}_i^H \mathbf{X}_i(\tau_i) \hat{\mathbf{h}}_i(\tau_i) \quad (7)$$

식 (7)의 각 파라미터들은 다음처럼 정의된다:

· 식 (7)에서 $\mathbf{y}_i = [\overline{y_i^{pre}}(0) \ \overline{y_i^{pre}}(1) \ \dots \ \overline{y_i^{pre}}(q-1)]^T$

· 식 (7)에서

$$\mathbf{X}_i(\tau_i) = \begin{bmatrix} x_i^{pre}(0; \tau_i) & x_i^{pre}(-1; \tau_i) & \dots & x_i^{pre}(-L+1; \tau_i) \\ x_i^{pre}(1; \tau_i) & x_i^{pre}(0; \tau_i) & \dots & x_i^{pre}(-L+2; \tau_i) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_i^{pre}(q-1; \tau_i) & x_i^{pre}(q-2; \tau_i) & \dots & x_i^{pre}(q-L+1; \tau_i) \end{bmatrix}$$

(L 은 채널의 길이)

· 식 (7)에서 $\hat{\mathbf{h}}_i(\tau_i) = [\hat{h}_i(0; \tau_i) \ \hat{h}_i(1; \tau_i) \ \dots \ \hat{h}_i(L-1; \tau_i)]^T$

(L 은 채널의 길이) 이며 주파수 선택 채널의 추정된 파라미터를 의미한다.

식 (7)에서 $\hat{\mathbf{h}}_i(\tau_i)$ 는 다음처럼 LS(Least Squares) 기법을 이용하여 주파수 선택 채널의 파라미터를 비교적 간단히 추정할 수 있다.

$$\hat{\mathbf{h}}_i(\tau_i) = [\mathbf{X}_i^H(\tau_i) \mathbf{X}_i(\tau_i)]^{-1} \mathbf{X}_i^H(\tau_i) \mathbf{y}_i \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 이용하여 각 시간 오프셋 및 주파수 선택 채널의 파라미터를 추정한 후 그림 5의 최종 수신원은 수신된 혼합 신호로부터 송신원이 전달한 재난경보 데이터를

복구 하여야 한다. 이전의 저속 협력통신 시스템 [8]과는 달리 그림 4의 최종 수신원이 수신한 데이터는 주파수 선택 채널에 의해 심하게 왜곡된다. 본 논문에서는 이 주파수 선택 채널을 비교적 간단한 구조를 이용하여 효과적으로 극복하는 방법인 SC-FDE 기법을 이용한다. 따라서 그림 4의 최종 수신원은 릴레이들이 협력통신으로 전송한 재난경보 데이터를 SC-FDE를 기반으로 하는 Alamouti 기법 [17]을 이용하여 복구한다. 이 경우 최종 수신원은 주파수 영역에서 다음 두 개의 신호를 얻을 수 있다:

$$Y_1(k) = H_1(k) X_{m_i}(k; \tau_1) + H_2(k) X_{m_{i+1}}(k; \tau_2) + N_1(k) \quad (9)$$

$$Y_2(k) = -H_1(k) X_{m_{i+1}}^*(k; \tau_1) + H_2(k) X_{m_i}^*(k; \tau_2) + N_2(k) \quad (10)$$

식 (9) 와 (10)에서 $X_{m_i}(k)$ 는 i 번째 심볼 m_i 의 k 번째 주파수 인덱스(index)에서의 값을 의미 한다. 즉 Alamouti 기법처럼 두 개의 연속되는 재난경보 데이터 심볼 m_i 와 m_{i+1} 의 k 번째 주파수 인덱스에서의 값을 이용하여 식 (9) 와 식 (10)의 신호를 만든다. 또한 식 (9)와 식 (10)에서 $H_1(k)$ 와 $H_2(k)$ 는 $h_1(n)$ 과 $h_2(n)$ 의 FFT (Fast Fourier Transform) 값이다. 그리고 식 (9)와 식 (10)에서 $N_1(k)$ 와 $N_2(k)$ 는 주파수 영역에서의 AWGN이다. 그림 4의 최종 수신원이 SC-FDE을 기반으로 하는 Alamouti 기법을 이용하여 식 (9) 와 식 (10)의 신호를 생성한 후 릴레이가 송신한 재난경보 데이터를 추출하기 위하여 다음 판별 메트릭 (decision metric)을 이용 한다.

$$DM_1(k) = \text{FFT}[\hat{\mathbf{h}}_1(\hat{\tau}_1)]^* Y_1(k) + \text{FFT}[\hat{\mathbf{h}}_2(\hat{\tau}_2)] Y_2^*(k) \quad (11)$$

$$DM_2(k) = \text{FFT}[\hat{\mathbf{h}}_2(\hat{\tau}_2)]^* Y_1(k) - \text{FFT}[\hat{\mathbf{h}}_1(\hat{\tau}_1)] Y_2^*(k) \quad (12)$$

식 (11)과 식(12)에서 FFT[]는 FFT를 이용한 주파수 영역 변환을 의미한다. 그림 4의 최종 수신원은 식 (11)과 식 (12)를 이용하여 수신한 두 개의 연속되는 재난경보 데이터 심볼인 m_i 와 m_{i+1} 을 식 (13)과 식 (14)와 같이 복구 한다.

$$\hat{m}_i = \arg \min_{0 \leq m \leq N-1} \left[\sum_{k=0}^{K-1} |DM_1(k) - Ref_m(k)|^2 \right] \quad (13)$$

$$\hat{m}_{i+1} = \arg \min_{0 \leq m \leq N-1} \left[\sum_{k=0}^{K-1} |DM_2(k) - Ref_m(k)|^2 \right] \quad (14)$$

식 (13)과 식 (14)에서 $Ref_m(k)$ 는 다음과 같이 정의 된다:

$$Ref_m(k) = |FFT[\hat{h}_1(\tau_1)]|^2 FFT[x_m(n; \hat{\tau}_1)] + |FFT[\hat{h}_2(\tau_2)]|^2 FFT[x_m(n; \hat{\tau}_2)] \quad (15)$$

위 식에서 $\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2$ 는 식 (7)을 이용하고 $\hat{h}_1(\tau_1), \hat{h}_2(\tau_2)$ 는 식 (8)을 이용하여 구한 추정치이다. 식 (15)에서 $x_m(n)$ 은 IEEE802.15.4에서 정의된 심볼 m 의 n 번째 샘플이다^[16].

IV. 모의 실험

위에서 기술한 재난경보 메시지의 고속전송을 위한 동기식 협력통신 기법의 성능 평가를 위해 다음과 같은 실험 환경을 가정 한다:

- 그림 4의 동기식 협력통신에서 고속전송을 위해 이용되는 대역폭은 20 MHz 이다.
- 그림 5에서 q 와 M 은 각각 16과 10 이다. 또한 각 주기 전치부의 길이는 4 이다.
- 식 (2)에서 두 개의 시간 오프셋은 -0.5 ~ 0.5 범위에서 균등분포(uniform distribution)를 가진다.
- 식 (2)에서 채널 파라미터들은 길이가 3인 JTC 인도어(indoor) 채널 [18]을 이용한다. 즉 고속 전송에서 나타나는 주파수 선택 채널을 이용한다. 또한 JTC 인도어 채널은 IEEE802.15.4의 성능평가에서 많이 이용되는 채널 모델이다.
- 식 (2)에서 시간 오프셋 및 채널 파라미터의 추정 동안 변화가 없는 유사 정적(quasi-static) 채널을 가정한다.
- PER 성능 측정을 위해 각 패킷은 20 바이트(byte)로 구성된다.

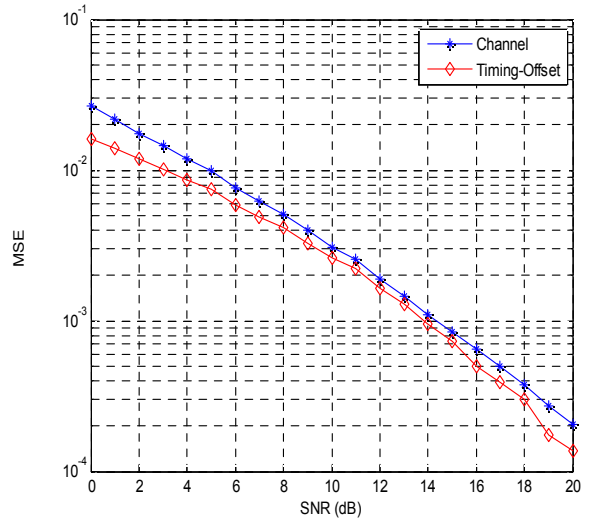


그림 6. 그림 4의 협력통신 모델에서 시간 오프셋 과 채널 파라미터 추정의 MSE 성능
 Fig. 6. The MSE performance for timing-offset and channel parameter estimations in the cooperative communication model of Fig. 4

그림 6은 그림 4의 20 MHz 협력통신 모델에서 그림 5의 프리엠펙 구조를 이용하였을 경우 JTC 인도어 채널 (주파수 선택 채널)에서 시간 오프셋 추정과 채널 추정의 MSE 성능 평가를 보여 준다. 그림 6은 SNR의 범위가 0에서 20 dB 일 때 시간 오프셋 추정의 MSE 값들이 1.8×10^{-2} 에서 1.5×10^{-4} 를 보여준다. 또한 이 그림은 같은 SNR의 범위에서 채널 파라미터 추정의 MSE 값들이 2.9×10^{-2} 에서 2×10^{-4} 를 보여주고 있다. 그림 6의 성능은 저속 협력통신^[8]의 MSE 성능에 비해 다소 떨어진다. 이는 저속 협력통신에 비해 더 많은 채널 파라미터들을 시간 오프셋과 동시에 추정해야 되기 때문에 나타나는 결과이다. 그림에도 불구하고 10^{-2} 에서 10^{-4} 단위의 비교적 우수한 MSE 성능을 보인다. 그림 7은 그림 4의 협력통신 모델에서 시간 동기를 전혀 고려하지 않은 경우 (no sync: 동기 기능이 없는 협력통신), 제안된 시간 오프셋/채널 파라미터 추정 및 데이터 복구 방식을 적용한 경우 (proposed sync: 동기식 협력통신), 시간 오프셋이 전혀 없는 경우 (ideal sync: 이상적인 협력통신)의 PER 성능 평가를 보여 준다. 그림 7은 동기 기능이 없는 협력통신의 경우 수신감도 레벨(sensitivity level)인 10^{-2} 의 PER에 도달

하지 않음을 보여준다. 이 결과는 저속 협력통신^[8]의 PER 성능에 비해 매우 열악한 PER 성능 결과이다. 즉 주파수 선택 채널 환경은 협력 통신에서 시간 오프셋이 있을 경우 시스템 성능을 현저히 저하시킴을 알 수 있다. 그러나 그림 7은 제안된 동기식 협력통신 방식이 동기 기능이 없는 협력 통신 보다 10^{-1} 의 PER 에서 약 5 dB 정도의 이득을 얻음을 보여준다. 또한 그림 7은 그 이득이 E_b/N_0 이 증가할수록 커짐을 가리킨다. 그리고 이 실험 결과는 제안된 동기식 협력 통신 방식이 수신감도 레벨에서 이상적인 협력통신 보다 약 1 dB 정도의 손실을 가지고 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 보여준다.

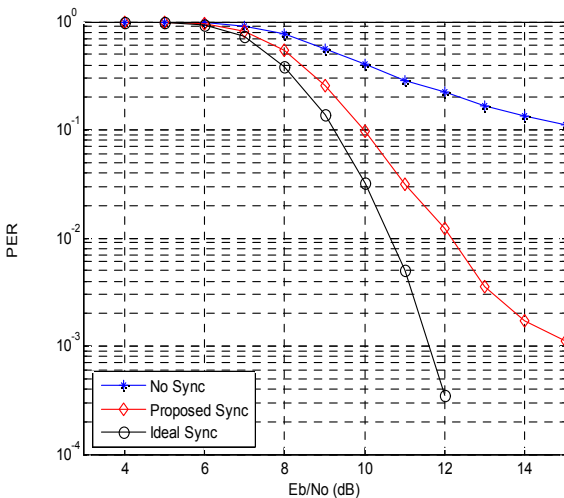


그림 7. 그림 4의 협력통신 모델에서 PER 성능
 Fig. 7. The PER performance for the cooperative communication model of Fig. 4

V. 결론

본 논문에서는 이동통신 기반의 재난경보 방송을 위해 적합한 동기식 협력통신 방식을 제안하였다. 재난경보 방송은 신속한 정보 전달이 필수적이므로 고속의 동기식 협력통신 방식이 필요하다. 따라서 고속 전송 시 나타나는 주파수 선택 채널의 영향을 완화시키기 위하여 이에 적합한 프리엠펙블 구조와 데이터 복구 방식을 제안하였다. 주파수 선택 채널에 강인한 프리엠펙블 구조를 위해 각 릴레이에 적

용되는 주기 전치부를 도입하였다. 이 주기 전치부로 인해 주파수 선택 채널 환경에서도 각 시간 오프셋과 채널 파라미터를 효율적으로 추정할 수 있었다. 또한 SC-FDE와 유사하게 주파수 영역에서 Alamouti 기법을 이용하고 데이터를 복구함으로써 주파수 선택 채널의 영향을 완화시킬 수 있었다. 시간 오프셋과 채널 파라미터의 추정 성능을 보여준 MSE와 데이터 복구의 성능을 보여준 PER 모의실험 결과는 제안된 동기식 협력통신 방식이 이동통신 기반의 재난경보 방송에 매우 적합함을 입증한다.

참고 문헌 (References)

- [1] S. Chang and S. J. Choi, "CBS emergency alert broadcasting service based on cellular networks," Proc. of 2011 Broadcast Engineering Summer Conf., July 2011.
- [2] M. Song and S. Chang, "A delivery scheme of CBS alert message for 3G cellular phone in indoor environment," Proc. of 2013 Broadcast Engineering Summer Conf., June 2013.
- [3] K. Jun and S. Chang, "A delivery scheme of alert message for DMB using CBS in indoor environments," Proc. of 2013 Broadcast Engineering Summer Conf., June 2013.
- [4] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity: Part I and Part II," IEEE Trans. on Commun., vol. 51, no. 11, pp. 1927 - 1948, Nov. 2003.
- [5] Y. Mei, Y. Hua, A. Swami, and B. Daneshrad, "Combating synchronization errors in cooperative relays," Proc. of IEEE ICASSP, vol. 3, pp. 369-372, Mar. 2005.
- [6] X. Li, Y. Wu, and E. Serpedin, "Time synchronization in decode-and-forward cooperative communication systems," IEEE Trans. on Signal Proc., vol. 57, no. 4, pp. 1444-1456, Apr. 2009.
- [7] H. Mehrpouyan and S. D. Blostein, "Estimation, training, and effect of timing offset in distributed cooperative networks," Proc. of IEEE Globecom, 2010.
- [8] S. Chang, "An efficient synchronization scheme for cooperative WBAN in wireless medical telemetry systems," IEICE Trans. on Comm., vol. E95-B, no. 10, pp. 3096-3099, Oct. 2012.
- [9] D. Falconer, S. L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems," IEEE Comm. Letters, vol. 5, no. 7, pp. 304-306, July 2001.
- [10] Mobile Communication Business Operators (KT/SKT), Draft Technical Review for the 3G CBS Introduction, July 2010.
- [11] M. Nakao, M. Onogi, K. Sugiyama, T. Hayashi, and H. Sakuramoto, "Emergency Information Broadcasting Distribution System," NTT Technology Reports, 2008.
- [12] 3GPP: TS 36.331 V8.6.0: Evolved Universal Terrestrial Radio Access

- (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, 2009.
- [13] I. Tanaka, K. Aoyagi, A. Umesh, and W. A. Hapsari, "Advanced Warning Message Platform for the Next-Generation Mobile Communication Network," NTT Technology Reports, 2009.
- [14] K. Kim and S. Jung, "Technologies and standards for emergency alert communications based on 3GPP LTE," pp. 67 ~ 73, TTA Journal, no. 131, 2010.
- [15] K. Jun and S. Chang, "An interference-aware clustering based on genetic algorithm for cell broadcasting service," IEICE on Trans. Fund., vol. E96-A, no. 12, pp. 2740-2744, Dec. 2013.
- [16] IEEE Std 802.15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs), 2003.
- [17] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE Jour. on Sel. Comm., vol. 16, no. 8, pp. 1451 - 1458, Oct. 1998.
- [18] Joint Technical Committee of Committee T1 R1P1.4 and TIA TR46.3.3/ TR45.4.4 on Wireless Access, Draft Final Report on RF Channel Characterization, Paper No. JTC(AIR)/94.0.1.17-238R4, Jan. 17, 1994.

저 자 소 개



장 석 진

- 1991년 : 고려대학교 전자공학과 학사
- 1993년 : 고려대학교 전자공학과 석사
- 2001년 : University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 박사
- 1993년 ~ 1998년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2000년 ~ 2004년 : Motorola 선임연구원
- 2004년 ~ 현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
- 주관심분야 : 이동통신, 무선협력통신, 무선재난경보방송