

논문 2009-46TC-7-5

중첩부호를 이용한 단일주파수 방송 서비스 및 데이터 서비스 오버레이 시스템의 성능 평가

(Performance Evaluation of Overlaid Single Frequency Broadcast and Cellular network using Superposition Coding)

윤석현*, 김동희**

(Seokhyun Yoon and Donghee Kim)

요약

본 논문에서는 중첩부호화를 사용하여 단일주파수의 Broadcast(BC) 서비스와 Unicast(UC) 데이터 서비스를 하나의 주파수 밴드를 통해 제공하는 BC/UC 오버레이 시스템의 성능을 평가한다. 일반적으로 BC 서비스와 UC 데이터 서비스는 별개의 서비스로 여겨져 왔으며 서비스를 위한 주파수 밴드도 다르게 할당 되어왔다. 그러나 주파수 자원의 희소 가치가 높아지면서 최근에는 BC 서비스와 UC 데이터 서비스를 “중첩”하여 하나의 주파수 밴드를 통해 서비스를 하고자하는 노력이 있었으며 3GPP LTE에서는 중첩부호화 기반의 방송 및 데이터 서비스 오버레이 시스템을 규격에 반영하기에 이르렀다. 본 논문에서는 특히 UC 데이터 서비스의 수율과 BC 서비스의 커버리지를 지표로 중첩부호화를 사용한 BC/UC 서비스 다중화 방식과 주파수 분할의 BC/UC 서비스 다중화 방안을 비교한다.

Abstract

In this paper, we consider the overlaid system of single frequency network broadcast service and cellular-based unicast data service. In general, broadcast service and unicast data service were considered as a separate services so that different frequency resources have been allocated for each. As the frequency resource get more expensive, however, there were some efforts to provide both the broadcast and unicast service over the same frequency resource by employing the so-called superposition coding. In fact, such a service overlay system has already been accepted as a standards in 3GPP long-term evolution (LTE). In this paper, we specifically investigate such overlay system within 3GPP framework and evaluate their performance in terms of BC coverage and UC data throughput.

Keywords : Superposition coding, Service Overlay

I. 서론

중첩 부호화는 1970년대에 가우시언 방송채널 (Gaussian Broadcast Channel)에 대한 정보이론적 접근에서 나온 방안, 특히, [1] 및 [2]에서 제안된 방안을 지칭하는 것으로 방송시스템에서는 계층구조를 갖는 변조

의 형태로 unequal error protection(UEP)를 위해 적용되었으며^[3-4] 최근에는 다중접속환경에서의 협력통신 및 협력 릴레이 시스템에서 다수의 신호들을 중첩하여 전송하는 다이버시티 전송 등 효율적인 통신자원 재사용 수단으로 이용되고 있다^[5-6].

한편, [7] 및 [8]에서는 이를 단일 주파수망으로 동작하는 방송 서비스와 Unicast 데이터 서비스인 셀룰라 시스템을 같은 주파수 밴드 내에서 전력을 공유하여 서비스하기 위한 방법으로 사용되었는데 이러한 아이디어는 앞서 언급하였듯이 데이터 서비스인 셀룰라 시스템이 기본적으로 간섭에 의해 수율이 제한되어 많은 전력

* 정회원, 단국대학교 전자전기공학부
(Dankook University)

** 정회원, 전주대학교 전기전자정보통신공학부
(Jeonju University)

접수일자: 2009년6월9일, 수정완료일: 2009년7월15일

이 실제 수율에 기여하지 못하고 낭비된다는 점에 착안한 것으로 이러한 전력의 일부분을 단일 주파수망으로 동작하는 방송서비스를 제공하는데 사용하자는 것이다. 유니캐스트 서비스만을 고려하는 셀룰라 시스템은 셀간 혹은 섹터 간 간섭에 의해 기지국에서 송신전력을 어느 강도 이상 크게 하여도 시스템 수율이 증가하지 않고 포화되는 양상을 보이는데 이러한 시스템을 간섭 제한 시스템이라고 한다. 특히, 주파수 재사용율이 1에 가까워질수록 간섭에 의한 수율의 제한은 심해지는데 이에 착안하여 수율의 증가에 기여하지 않는 전력을 Digital Multimedia Broadcast (DMB)와 같은 단일 주파수의 방송서비스에 효과적으로 사용할 수 있는 Supercast 방식이 제안되었다^[7-8].

이러한 중첩부호화 방법은 심볼간 간섭이 존재하는 Inter-symbol interference (ISI) 채널에서는 구현이 어려우나 OFDM을 사용하면 ISI 채널을 여러 개의 주파수 비선택적 페이딩 채널로 변환되므로 순차 간섭 제거기의 사용이 용이 해진다. 다만, 방송신호와 데이터 신호에 대해 채널 추정이 따로 이루어져야 하므로 이 둘을 위한 파일럿 부반송파도 따로 할당되어야 할 필요가 있다.

중첩 보호화 방법을 사용하여 얻게 되는 1차적인 잇점은 방송신호와 데이터신호가 모두 전체 대역을 다 사용하기 때문에 수신단에서 순차간섭이 제대로 이루어진다면 데이터 서비스에서의 수율의 손해 없이, 혹은 약간의 손해를 보고, 방송서비스가 가능하다는 것인데, 기본적으로 방송신호와 데이터 신호가 전력을 나눠 사용하므로 이 두 서비스 간 전력비와 전송율이 적절히 할당되어야 한다. 한편, 방송 서비스와 데이터 서비스를 다중화 할 수 있는 방안으로는 중첩부호화를 이용한 서비스 다중화 이외에 기존의 주파수 분할 방식이나 시분할 다중화 방식을 고려할 수 있으나 이 경우 각 서비스가 전체 대역을 모두 사용하지 않고, 예를 들면 반반씩만 사용할 수 있으므로 수율에서 막대한 손해를 보게 된다. 결국 중첩부호화가 방송과 데이터 서비스를 다중화하기 위한 효과적인 수단인가라는 질문에는 순차간섭 제거기에서의 실질적인 채널추정 오류를 고려한 데이터 서비스의 수율과 방송서비스의 커버리지가 기존의 주파수 혹은 시분할 다중화 방식대비 얼마만큼의 이득을 갖는가에 달려있다고 보아야 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 중첩부호화 기반 서비스 다중화 방식의 데이터 서비스의 수율과 방송서비스의 커버

리지 성능을 주파수 분할 방식과 비교해보고자 한다. 특히 이러한 비교를 위하여 데이터 서비스의 수율과 방송 서비스의 커버리지 간 트레이드오프 문제로 공식화하고 시스템 시뮬레이션을 통해 두 다중화 방식의 성능을 비교해본다. 뒤에서 언급하겠지만 시분할 방식의 경우 주파수 분할 방식보다 성능이 열등하므로 본 논문에서는 다루지 않을 것이다.

II. 시스템 개요

앞서 언급한 바와 같이 본 논문에서 고려하는 시스템은 Unicast 데이터 서비스 신호와 단일 주파수망의 방송 서비스 신호를 중첩하여 전송하는 것으로 단일 주파수망으로 동작되는 방송신호의 경우 셀의 변방에서도 각 기지국으로부터의 신호가 수동적으로 결합이 되어 (passively combined) (확률적으로) 복조에 요구되는 충분한 SNR을 얻을 수 있기 때문에 기존의 셀룰러 데이터 신호를 잡음으로 고려하고 방송신호를 복조한 뒤 방송신호의 재생과 수신 신호로부터의 제거과정을 거치면 (이상적으로는) 셀룰러 데이터 신호만 남게 되어, 방송 서비스와 셀룰러 데이터 서비스를 같은 주파수 밴드에서 동시에 서비스가 가능하다는 것이다. 문제는 방송신호 전력 대 데이터 신호 전력비에 따라 적당한 변조 및 부호화(Modulation and Coding Schemes, MCS)을 할당하고 수신단에서는 순차 간섭제거를 사용하여 방송신호와 데이터 신호를 순차적으로 복조-제거하는 방법이 사용되어야 하는데 셀룰러 데이터 신호를 잡음으로 간주하고 복조가 되어야하므로 적절한 커버리지를 (예를 들면, 95%이상) 보장하기 위해서는 방송 서비스의 전송율이 적절히 설정되어야 한다. 일반적으로 방송시스템에서의 1차 성능 지표는 커버리지이며 셀룰러 시스템에서의 1차성능지표는 섹터 수율이므로 본 논문에서는 이 두 개의 성능지표를 기준으로 방송신호 전력비와 유니캐스트 신호전력 비에 따른 방송신호 전송율의 최적화 문제를 고려한다.

한편 중첩부호화를 적용함에 있어 고려해야 할 것 중의 하나는 프레임 구조로 이론적으로는 임의의 정수개의 신호를 중첩하여 전송하는 것이 가능하나 실제적인 채널 추정 성능 등을 고려할 때 중첩가능한 Layer의 개수는 제한될 수 밖에 없는데, 성능 면에서 보더라도 [9] 및 [10]의 결과는 2-layer 중첩 부호화라도 충분한 이득을 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 따라서 본 논문

에서는 BC 신호와 UC 신호를 2단으로만 중첩하는 것을 고려할 것이며 여러 개의 단말로 전송되는 다수의 UC 신호들은 부채널 구성을 가정하여 주파수 분할 방식으로 다중화 된다고 가정할 것이다.

1. 시스템 구성 및 신호모델

고려하는 시스템은 K개의 기지국과 많은 이동국으로 구성되며 기본적으로 OFDM기반의 전송방식을 채택한다고 가정한다. 시스템내의 한 단말과 k번째 기지국 간의 채널에 대해 n번째 부반송파의 주파수 이득을 $h_k[n]$ 이라 하면 n번째 부반송파에 대한 수신신호 모델은 다음과 같다.

$$y[n] = \sum_{k=1}^K h_k[n]X_k[n] + N[n] \quad (1)$$

여기서 n번째 부반송파에 대해 그 단말과 각 기지국간 이득은 벡터 $\vec{h}[n] = [h_1[n], h_2[n], \dots, h_K[n]]^T$ 로 표현할 수 있으며 이는 주어진 결합 확률분포 함수 $F_{\vec{h}[n]}(\vec{h})$ 를 갖는 랜덤 벡터로 간주될 수 있다. 일반적으로 이러한 결합확률분포 함수는 위치에 의존하는 함수이며 가능한 모든 단말의 위치에 대해 따로 수치적으로 따지기는 매우 어렵기 때문에 본 논문에서는 수치적인 분석보다는 모의 실험을 통한 성능평가를 수행할 것이다.

본 논문에서는 이러한 셀룰라 시스템을 기반으로 BC 서비스와 UC서비스의 다중화를 고려하는데 특히, 중첩부호화 기반 방식, 주파수분할 다중화 및 시분할 다중화 방식을 고려할 것이며 이들 세 가지 방식에 대한 개

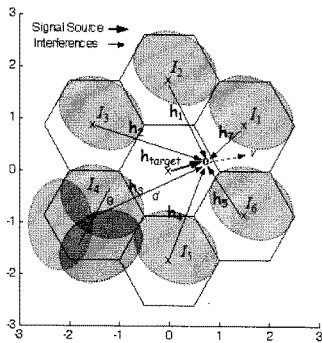
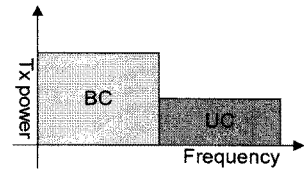
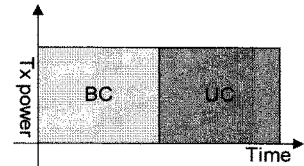


그림 1. K=7개의 기지국을 포함하는 셀룰라 시스템에서 간섭환경의 개념도

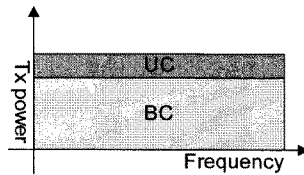
Fig. 1. Schematic diagram of the interference situation in a cellular system with 7 base stations.



주파수분할 다중화



시분할 다중화



중첩부호화 기반 다중화

그림 2. 중첩부호화 기반, 주파수분할 및 시분할 서비스 다중화 방식의 개념도

Fig. 2. Schematic diagram of service multiplexing using FDM, TDM and superposition coding.

념도를 그림 2에 나타내었다.

2. 중첩부호를 이용한 BC/UC 서비스 다중화

중첩부호화를 사용하는 경우 k번째 기지국으로부터의 전송신호 X_k 는 BC 메시지와 UC메시지의 중첩으로 주어지며 다음과 같이 표현된다.

$$X_k[n] = \sqrt{P_{BC}}X_{BC}[n] + \sqrt{P_{UC}}X_{UC,k}[n] \quad (2)$$

여기서, BC신호 $X_{BC}[n]$ 는 모든 기지국에서 동일한 메시지가 전송되는 단일 주파수망(SFN)을 가정하므로 기지국 인덱스를 사용하지 않았으며, UC신호 $X_{UC,k}[n]$ 는 각 기지국이 다른 단말에게 서비스를 해주므로 기지국마다 다른 메시지가 전송되고 따라서 기지국 인덱스를 사용하였다. 한편, 각 메시지의 전력은 $E|X_{BC}[n]|^2 = E|X_{UC,k}[n]|^2 = 1$ 이고 $E|X_k[n]|^2 = P_{BC} + P_{UC} = P$ 임을 가정한다. 따라서 BC 대 UC신호 전력비 $\alpha \equiv P_{BC}/P_{UC}$ 를 정의하면 $P_{BC} = P\alpha/(1 + \alpha)$ 이고

$P_{UC} = P/(1 + \alpha)$ 으로 표현될 수 있다. 이제 배경잡음 전력을 $E[N[n]]^2 = N_0$ 라 하자. 단말에서의 신호대 간섭+잡음전력비(SINR)는 BC신호와 UC신호가 다르게 표현되는데 BC신호의 경우 각 기지국으로부터의 신호가 수동적으로 결합되고 이 때 UC신호는 배경잡음으로 간주되므로 BC신호의 신호대 간섭+잡음 전력비는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \gamma_n^{BC} &= \frac{P_{BC}|\sum_k h_k[n]|^2}{P_{UC}\sum_k |h_k[n]|^2 + N_0} \\ &= \frac{P\alpha|\sum_k h_k[n]|^2}{P\sum_k |h_k[n]|^2 + N_0(1 + \alpha)} \end{aligned} \quad (3)$$

한편, BC신호가 성공적으로 수신되면 채널추정치를 이용하여 수신신호로부터 제거가 가능한데 일단 BC신호가 제대로 제거가 되고나면 UC신호와 잡음만 존재하게 되므로 이때의 UC신호의 신호대 잡음비는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \gamma_n^{UC} &= \frac{P_{UC}h_{Target}[n]^2}{P_{UC}\sum_{k \neq Target} |h_k[n]|^2 + N_0 + I_{BC}} \\ &= \frac{Ph_{Target}[n]^2}{P\sum_{k \neq Target} |h_k[n]|^2 + (N_0 + I_{BC})(1 + \alpha)} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, 이상적으로는 $Target = \operatorname{argmax}_k |h_k|^2$ 이며 I_{BC} 는 채널 추정 오차 등의 영향으로 순차 간섭 제거부에서 제거되지 않고 남아있는 BC신호로부터의 잔류 간섭이다. 일반적으로 이러한 잔류 간섭은 통계적인 모형화가 쉽지 않으나 본 논문에서는 [11]의 결과를 이용하여 다음과 같이 간단히 모델링하기로 한다.

$$I_{BC} \approx \frac{P_{BC}|\sum_k h_k[n]|^2}{\gamma_n^{BC}} \quad (5)$$

OFDM 기반전송방식을 다중경로 페이딩 채널에서 사용할 경우 필연적으로 각 부반송파의 SINR이 각각 다르며 이에 따라 시스템 레벨 시뮬레이션에 요구되는 패킷오류 성능의 분석이 복잡해진다. 본 논문에서는 앞 절에서 얻어진 SINR 분석결과로부터 패킷오류 성능을 예측하기 위해 지수적 실효 SNR 맵핑(Exponential Effective SNR Mapping, EESM) 방식^[12~13]을 사용하는데 이는 주어진 SINR 벡터 $\vec{\gamma} = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N]^T$ 를 하나의 실효 SNR값 γ_{eff} 으로 다음과 같은 관계식에 의해 맵핑한다.

$$P_{error} \approx \exp(-\beta\gamma_{eff}) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \exp(-\beta\gamma_j) \quad (6)$$

여기서 β 는 사용된 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨에 의존하는 값이다. 일단, SNR 벡터가 실효 SNR 값으로 맵핑이 되면 이에 대한 실효전송율은

$$\log_2(1 + \gamma_{eff}) \quad (7)$$

로 주어진다.

따라서 주어진 BC 전송율 r_{BC} 에 대해 BC 커버리지와 UC 수율은 각각 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C_{SC}^{BC}(\alpha) = \Pr[R(\vec{\gamma}_{BC}, \alpha) \geq r_{BC}] \quad (8)$$

$$T_{SC}^{BC}(\alpha) = C_{SC}^{BC}(\alpha) \cdot E[R(\vec{\gamma}_{UC}, \alpha)] \quad (9)$$

여기서, $R(\vec{\gamma}_{BC}, \alpha)$ 와 $R(\vec{\gamma}_{UC}, \alpha)$ 는 각각 SINR 벡터 $\vec{\gamma}_{BC} = [\gamma_1^{BC}, \gamma_2^{BC}, \dots, \gamma_N^{BC}]^T$ 및 $\vec{\gamma}_{UC} = [\gamma_1^{UC}, \dots, \gamma_N^{UC}]^T$ 에 상응한 실효전송율이며 식(7) 및 (8)의 EESM으로부터 얻어진다.

3. 주파수분할 BC/UC 서비스 다중화

주파수 분할 BC/UC 서비스 다중화에서 BC 신호와 UC신호 각각에 대해 직교 주파수자원이 할당되며, 따라서 BC와 UC신호 간 간섭은 없으나 BC와 UC는 대역폭과 전력을 공유하여 나누어 사용한다. 따라서 β 를 BC의 대역폭비라 하고 $\alpha = P_{BC}/P_{UC}$ 를 BC와 UC의 전력비라 하면 BC 및 UC의 신호대 잡음비는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \gamma_n^{BC} &= \frac{P_{BC}|\sum_k h_k[n]|^2}{\beta N_0} \\ &= \frac{P\alpha|\sum_k h_k[n]|^2}{N_0\beta(1 + \alpha)} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \gamma_n^{UC} &= \frac{P_{UC}h_{Target}[n]^2}{P_{UC}\sum_{k \neq Target} |h_k[n]|^2 + (1 - \beta)N_0} \\ &= \frac{Ph_{Target}[n]^2}{P\sum_{k \neq Target} |h_k[n]|^2 + N_0(1 - \beta)(1 + \alpha)} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, 이상적으로는 $Target = \operatorname{argmax}_k |h_k|^2$.

식(10)과 (11)로부터 주파수 분할 BC/UC 서비스 다중화에서 BC의 커버리지 C_{FDM}^{BC} 와 UC의 수율 T_{FDM}^{BC} 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$C_{FDM}^{BC}(\alpha, \beta) = \Pr[\beta \cdot R(\overrightarrow{\gamma_{BC}}, \alpha, \beta) \geq r_{BC}] \quad (12)$$

$$T_{FDM}^{BC}(\alpha, \beta) = C_{FDM}^{BC}(\alpha, \beta) \cdot E[R(\overrightarrow{\gamma_{UC}}, \alpha, \beta)] \quad (13)$$

여기서, $R(\overrightarrow{\gamma_{BC}}, \alpha, \beta)$ 와 $R(\overrightarrow{\gamma_{UC}}, \alpha, \beta)$ 는 각각 SINR 벡터 $\overrightarrow{\gamma_{BC}} = [\gamma_1^{BC}, \gamma_2^{BC}, \dots, \gamma_N^{BC}]^T$ 및 $\overrightarrow{\gamma_{UC}} = [\gamma_1^{UC}, \dots, \gamma_N^{UC}]^T$ 에 상응한 실효전송율이며 식(7) 및 (8)의 EESM으로부터 얻어진다.

4. 시분할 BC/UC 서비스 다중화

시분할 BC/UC 서비스 다중화는 기본적으로 주파수 분할 BC/UC 서비스 다중화와 동일하나 한 가지 차이점은 BC신호와 UC 신호가 다른 타임 슬롯으로 전송되기 때문에 전력의 공유가 불가능하다. 따라서 $P_{BC} = P_{UC} = P$ 이며 대역폭비는 BC와 UC에 할당되는 타임슬롯 길이의 비율로 정의될 수 있다. 따라서 BC 및 UC의 신호대 잡음비는 다음과 같다.

$$\gamma_n^{BC} = \frac{P \sum_k h_k[n]^2}{N_0} \quad (14)$$

$$\gamma_n^{UC} = \frac{P |h_{Target}[n]|^2}{P \sum_{k \neq Target} |h_k[n]|^2 + N_0} \quad (15)$$

여기서, 이상적으로는 $Target = \arg \max_k |h_k|^2$ 이다.

식(10)과 (11)로부터 주파수 분할 BC/UC 서비스 다중화에서 BC의 커버리지 C_{FDM}^{BC} 와 UC의 수율 T_{FDM}^{BC} 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$C_{TDM}^{BC}(\beta) = \Pr[\beta \cdot R(\overrightarrow{\gamma_{BC}}, \beta) \geq r_{BC}] \quad (16)$$

$$T_{TDM}^{BC}(\beta) = C_{TDM}^{BC}(\beta) \cdot E[R(\overrightarrow{\gamma_{UC}}, \beta)] \quad (17)$$

TDM의 경우 FDM과는 달리 전력의 공유가 불가능하며 [1~2]에서 언급된 바와 같이 FDM에 비해 열등한 성능을 나타내며, 따라서 본 논문에서는 다루지 않기로 한다.

III. 모의실험 및 결과

모의실험에서는 중첩부호화 기반 서비스 다중화와

주파수분할 서비스 다중화방식의 BC 커버리지와 UC 수율 성능을 비교한다. 특히, BC 전송율과 BC/UC 전력비가 두 가지의 성능에 미치는 영향을 살펴보고 주어진 BC 커버리지에서 얻을 수 있는 최대의 UC 수율을 비교하고자 한다.

모의실험은 [13]에서의 평가 방식을 적용하는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 이루어졌으며 5MHz의 전체 대역을 8개의 지역화된 부채널로 나누어 모의실험을 수행하였는데, 주파수분할 서비스다중화의 경우, 4개의 부채널은 BC신호 전송으로 나머지 4개의 부채널은 UC 신호 전송에 사용된다고 가정하였으며 중첩부호화 방식의 경우 모든 부채널이 전력비만을 달리하여 BC와 UC 신호가 중첩되어 전송되는 것으로 가정하였다. 따라서 동일한 BC 전송율하에서 BC 커버리지와 UC 수율성능을 비교하기 위하여 BC 신호의 MCS 레벨을 중첩부호화 방식과 주파수분할 서비스다중화 방식에 대해 다르게 설정할 것이 요구된다. 본 논문에서는 중첩부호화 기반 서비스 다중화 방식에 대해서 BC 신호의 MCS 레벨을 각각 QPSK-1/3, QPSK-1/2, 16QAM-1/3로 설정하였는데 이들은 각각 30%의 오버헤드를 고려할 때 1.6, 2.4 및 3.2Mbps의 BC전송율에 해당한다. 한편, 주파수분할 방식에 대해서는 BC 신호의 MCS 레벨을 각각 16QAM-1/3, 16QAM-1/2, 16QAM-2/3로 설정하였는데 주파수 분할 방식에서는 전체 대역의 반만을 BC 신호 전송을 위해 사용하므로 앞서서와 동일하게 30% 정도의 오버헤드를 감안하면 중첩부호화 기반 다중화 방식에서와 동일한 BC 전송율에 해당한다.

BC신호와와 달리 UC전송에서는 적응형 변조 및 부호화(Adaptive Modulation and Coding, AMC)의 사용을 고려하였으며 BPSK-1/3, QPSK-1/3, 1/2, 16QAM-1/3, 1/2, 2/3, 64QAM-1/2, 2/3 및 4/5의 9가지 MCS 레벨을 고려하였는데 이들의 할당은 이동단말로부터의 채널품질정보(Channel Quality Information, CQI)에 기초하여 할당되며 기본적으로 채널할당을 위해서는 비례공평스케줄러가 사용된다고 가정하였다.

그림 3은 중첩부호화 방식에 대한 BC 커버리지와 UC 수율 성능을 나타내며 그림4는 주파수분할 서비스 다중화 방식에 대한 BC 커버리지와 UC 수율 성능을 나타낸다. 여기서 커버리지는 앞서 언급한 정의와는 달리 BC 패킷의 오류율이 1%이하인 단말의 비율로 정의된다. 그림에 나타난 바와 같이 중첩부호화를 사용한 경우나 주파수분할 방식을 사용한 경우 모두 BC에 보

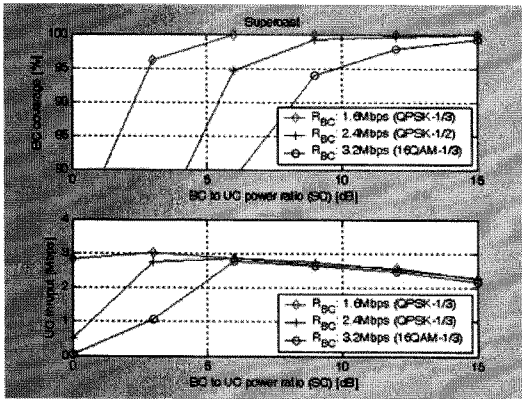


그림 3. 중첩부호화 기반 서비스 다중화 방식의 BC 커버리지 및 UC 수율 성능
 Fig. 3. BC coverage and UC throughput performance of the superposition coded service multiplexing.

다 많은 전력을 할당하면 커버리지는 향상되는 것을 확인할 수 있다. 한편, UC 수율의 경우는 BC 커버리지 성능과는 다른 양상을 보이는데, 우선, 주파수분할 방식에서는 UC의 전력을 BC에 비해 상대적으로 줄이더라도 UC 수율에는 큰 영향이 없는 것을 알 수 있다. 이는 셀룰라 시스템이 1에 가까운 주파수 재사용율에서는 기본적으로 간섭제한된 시스템이기 때문에 UC수율은 전송전력에 의해서 제한되는 것이 아니라 인접셀로부터의 간섭에 의해 제한되므로 전송전력을 증가 시키더라도 수율에서의 이득은 크지 않다는데 그 이유가 있다. 이러한 사실은 그림 3의 중첩부호화 방식에서도 나타나는데 BC/UC전력비가 6dB보다 큰 영역에서는 UC 전력을 증가 시키더라도 UC수율에서의 이득은 크지 않은 것에서도 확인이 된다. 그러나 주파수 분할 서비스 다중화와는 달리 UC전력을 더욱 증가 시키면 오히려 UC수율이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있는데 이는 BC전력의 상대적인 감소로 BC 신호의 복호와 이후의 순차간섭 제거가 제대로 이루어지지 않아 오히려 UC수율이 급격히 감소되었기 때문이다. 물론 BC의 MCS 레벨을 낮추면 UC수율을 향상시킬 수 있으나 BC 서비스 전송율에서 손해를 보게 되므로 무작정 BC의 MCS 레벨을 낮추는 것은 좋은 선택으로 볼 수는 없다.

결국 중첩 부호화를 사용하여 BC와 UC의 서비스 다중화를 효과적으로 제공하기 위해서는 적절한 BC 전송율과 이를 지원하기 위한 BC 대 UC 신호 전력비를 선택해야 한다. 주어진 BC 커버리지 요구조건, 예를 들면, 95%의 BC 커버리지를 감안하여 UC수율에서의 최

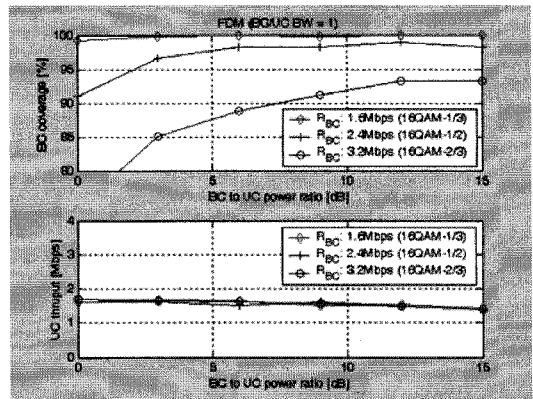


그림 4. 주파수분할 서비스 다중화 방식의 BC 커버리지 및 UC 수율 성능
 Fig. 4. BC coverage and UC throughput performance of the FDM based service multiplexing.

대 값을 비교해 보면 1.6, 2.4 및 3.2 Mbps BC 서비스 전송율에 대해 중첩부호화 기반 서비스 다중화의 경우 UC수율의 최대치는 각각 3.8, 3.6 및 3.4 Mbps 정도인 반면 주파수 분할 서비스 다중화의 경우 모든 경우에 대해 2.0, 2.0 및 1.8Mbps 정도로 중첩부호화 기반 서비스 다중화에 비해 60%를 밑도는 성능을 보이는데 이는 주파수 분할 방식이 BC 및 UC 서비스를 위해 기본적으로 전체 대역의 반밖에 사용하지 못하기 때문이다. 물론, BC와 UC가 서로 다른 주파수 대역을 사용하기 때문에 복호가 쉽다는 장점은 있으나 주파수 효율면에서 중첩부호화 기반 서비스 다중화 방식에 비해 낮은 효율을 갖는다는 단점이 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 단일주파수망(SFN)으로 동작되는 Broadcast(BC) 서비스와 셀룰라 망으로 제공되는 Unicast(UC) 서비스를 하나의 OFDM 기반 시스템으로 제공하는 방안으로 주파수 분할 서비스 다중화(혹은 오버레이)와 중첩부호화를 이용하는 서비스 다중화 방식을 고려하였고 주어진 방송서비스 전송율에 대한 BC 커버리지와 UC 수율 성능을 비교하였다. 모의실험에 의하면 중첩부호화 방식을 이용한 서비스 다중화가 동일한 BC 전송율 및 커버리지 성능에서 월등히 높은 UC 수율을 보여 보다 주파수 효율적인 서비스가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 서비스 오버레이 방식을 제공을 위해서는 여전히 해결해야할 많은 문제

점들이 있으며 특히 효과적인 채널추정과 순차간섭제거를 위한 파일럿 설계에 대한 방안이 필요할 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] T.M. Cover and J.A Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley Interscience, 1991.

[2] T.M. Cover, "Broadcast channels", *IEEE Trans. on Information theory*, Vol-18, No.1, pp.2-14, Jan. 1972.

[3] X. Wang and M. T. Orchard, "Design of superposition coded modulation for unequal error protection," *Proc IEEE ICC 2001*, Vol.2, pp.412-416, Jun. 2001.

[4] T.W. Sun, R.D. Wesel, R.M. Shane and K. Jarett, "Superposition Turbo TCM for multi-rate Broadcast", *Proc. of ICC 2003*, pp.412-416, May, 2003.

[5] Z. Ding, T. Ratnarajah, and C. Cowan, "On the diversity-multiplexing tradeoff for wireless cooperative multiple access systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol.55, No.9, pp.4627-4638, Sept. 2007.

[6] C. Wang, Y. Fan, I. Krikidis, J. S. Thompson, and H. V. Poor, "Superposition-coded concurrent decode-and-forward relaying," in *Proc IEEE ISIT 2008*, July 2008.

[7] F. Khan, J-A. Tsai, C.V. Rensburg and J. Lee, "Performance of a Novel Layered Broadcast/Unicast Superposition (Super-MIMO) Technique", *Samsung Tech. Conf.*

[8] D. Kim, F. Khan, C. V. Rensburg, Z. Pi, and S. Yoon, "Superposition of broadcast and unicast in wireless cellular systems," *IEEE Commun.Mag.*, Vol.46, No.7, pp.110-117, July 2008.

[9] N. Jindal and A. Goldsmith, "Capacity and optimal power allocation for fading broadcast channels with minimum rates," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.49, No.11, pp.2895 - B2909, Nov. 2003.

[10] B. Li, Z. Ruan, X. Zhang, Y. Chang, and D. Yang, "Throughput analysis of TDMA system forward link with superposition coding for location-based sets of users," in *Proc IEEE WCNC 2008*, Apr. 2008.

[11] 3GPP2 WG3, "Derivation of equations used in the computation of symbol SIR and equivalent SNR for OFDM based transmission", *3GPP2 working document C30-20040823-016* Aug. 2004.

[12] M. Lampe, H. Rohling and J. Eichinger "PER-Prediction for Link Adaptation in OFDM Systems" 7th International OFDM Workshop, Sep. 2002, Hamburg, Germany.

[13] Y. Blankenship, P. Sartori, B. Classon and K. Baum. "Link Error Prediction Methods for Multicarrier Systems" *Proc. of VTC2004 Fall*, Los Angeles, 2004.

[14] 3GPP2 WG3, *1x EV-DO Evaluation Methodology*, V1.3, Aug, 2003.

저 자 소 개



윤 석 현(정회원)
 1992년 2월 성균관대학교
 전자공학과 공학사
 1996년 2월 성균관대학교
 전자공학 석사
 1999년 3~8월 한국전자통신
 연구원 선임연구원

2003년 1월 New Jersey Inst. of Tech.,
 전기컴퓨터공학과 박사
 2003년 3월~05년 2월 삼성전자 통신연구소
 책임연구원
 2005년 3월~현재 단국대학교 전자전기공학부
 조교수

<주관심분야: 무선전송/접속, 채널부호, 다중안테나>



김 동 회(정회원)
 1994년 2월 연세대학교
 전기공학과 공학사
 1996년 8월 연세대학교
 전기공학과 석사
 2001년 8월 연세대학교 전기전자
 공학과 박사

2001년~2008년 삼성전자 통신연구소 책임연구원
 2008년~현재 전주대학교 전기전자정보통신
 공학부 조교수

<주관심분야: 이동통신, MIMO, 협력통신, 방송시스템>