

## 1. 서론

지난 20세기동안 아날로그 방송을 통해 많은 사람들에게 다양한 정보를 제공해 왔지만, 이동시 수신 신호 품질이 급격히 저하되고, 잡음의 영향을 줄이기 위해 높은 송신 전력을 사용함으로써 전력효율이 감소되며, 동일 채널 간섭을 피하기 위하여 근접 지역에서 다른 주파수를 사용함으로써 스펙트럼 효율이 저하되는 등의 기술적인 한계를 가지고 있다.

최근에 들어, 유·무선 통신 시스템을 대표하는 이동 통신, 위성 통신, 초고속 가입자 선로 등의 성공적인 디지털화를 통해 본격적인 광대역 멀티미디어 서비스 시대가 도래하게 되었다. 이러한 21세기 정보화 시대에 살고 있는 사용자들에게 CD (Compact Disc), DAT(Digital Audio Tape)등의 새로운 고품질 오디오와 비디오가 결합된 멀티미디어 서비스에 대한 욕구가 급속히 증가하였다. 그러

나, 텔레비전과 라디오와 같은 방송 통신 분야는 타 분야에 비해 일상 생활에서 오디오, 영상과 같은 정보를 가장 손쉽게 접할 수 있는 매체임에도 불구하고 디지털 시스템으로의 전환이 상대적으로 미진한 상태에 머물고 있는 실정이다.

이러한 이유로 방송 통신 시스템의 디지털화에 대한 필요성이 절실히 요구되어 왔으며 현재 이에 대한 연구, 개발이 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 먼저, 디지털 라디오 방송(Digital Radio Broadcasting: DRB)을 정의하자면, 넓은 의미에서 디지털 텔레비전 방송과 디지털 오디오 방송(Digital Audio Broadcasting: DAB) 모두를 포함하지만, 일반적으로 영상을 주 매체로 하는 디지털 텔레비전 방송과 구분하여 주로 오디오(또는 사운드) 서비스를 제공하는 디지털 오디오 방송을 의미한다. 즉, 디지털 라디오 방송은 기존의 아날로그 AM(Amplitude Modulation), FM(Frequency

Modulation) 라디오 방송을 대체할 수 있는 디지털 오디오 방송을 의미한다. 현재 전 세계적으로 개발된 대부분의 디지털 라디오 방송 시스템들은 높은 압축률을 갖는 청자 중심의 최신 음성 부호화 방식을 사용하여 CD 수준의 고품질 오디오 서비스를 제공하며 이와 함께 날씨, 교통, 오락, 전자 및 영상 등의 다양한 부가 데이터 서비스를 제공한다.

특히, 우리나라에서는 DAB 기반에서 세계 최초로 고품질의 음성 및 영상서비스를 언제 어디서나 제공할 수 있는 이동멀티미디어방송으로 발전시켜, '듣는 방송'에서 '보고 듣는 방송'으로 라디오방송의 개념을 확장하여 서비스할 예정이다. 우리나라에서 채택하고자 하는 디지털 멀티미디어 방송(Digital Multimedia Broadcasting: DMB)에서는 동영상 압축기술로 MPEG-4 기반 512Kbps 속도의 동영상을 7"크기 화면에 제공하며 TV 채널 1개, 즉 DAB 양상블 3개를 사용하여 3개의 동영상과 10개 정도의 오디오·데이터 방송을 서비스할 예정이다.

이러한 다양한 서비스를 이동시에도 안정적으로 제공하기위하여 이동 환경 전송 채널의 특성인 다중 경로 페이딩(multipath fading) 영향에 강건하고 성능 열화없이 수신 가능한 OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 전송방식을 사용하고 있다. 또한, OFDM 전송방식을 통해 소전력으로 다수의 방송국을 이용하는 단일 주파수망(Single Frequency Network: SFN)의 구현이 가능하여 전국 어디에서나 단일 방송파 주파수를 사용하여 지역적인 경계 없이 방송 서비스가 가능하다. 그러나, OFDM 전송방식은 단일 방송파 전송 방식에 비해 송·수신단간의 방송파 주파수 옵셋이 존재할 경우 주파수 스펙트럼상에서 수신 신호의 부반송파간의 직교성(Orthogonality)이 상실되어 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio: SNR)가 크

게 감소하는 단점이 있다. 또한, OFDM 전송방식은 반송파 주파수 옵셋은 물론 프레임 동기, 샘플링 동기에 민감하게 동작하기 때문에 해당 시스템의 수신단 구현시 이를 극복할 수 있는 최적의 알고리즘이 요구된다.

본 논문에서는 우리나라에서 지상파 DAB 방식으로 채택한 시스템 A인 Eureka-147에 대하여 논하기로 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어, 2절에서 Eureka-147 DAB의 시스템 구성을 간략하게 설명하기로 한다. 3절에서는 채널 환경에 따른 Eureka-147 DAB 성능을 알아보고, 마지막으로 4절에서 향후 Eureka-147 DAB 시스템에 대해 전망하고 결론을 내린다.

## II . Eureka-147 DAB 시스템 개요

Eureka-147 방식은 ITU-R의 Digital System A 로도 불리고 있으며, ITU-R에서 초단파/극초단파대 지상파 및 위성 디지털 음성방송으로 차량용, 휴대용, 고정수신용으로 권고하고 있다. 유럽에서는 1986년 프랑스, 독일, 네덜란드 등이 공동 참여하는 Eureka-147 프로젝트가 스톡홀름 유럽연맹(EC) 각료회의에서 결정되었으나, 실질적인 활동은 1988년부터 시작되었다. DAB 표준화(ETS)는 EBU(European Broadcasting Union)와 ETSI가 협력하여 조직한 기술분과위원회 주관으로 1991년까지 1단계로 기본적인 시스템 개발이 이루어졌으며, 1992년부터 1994년까지 2단계 개발이 추진되어 1994년 1월에 초안(ETS 300 401)이 작성되었다. 그 후 3년 뒤인 1997년 2월에 2nd edition이 발표되었고, 2001년 5월에 최종 수정안이 완성되었다.

Eureka-147 방식은 음성부호화에 고효율 음성

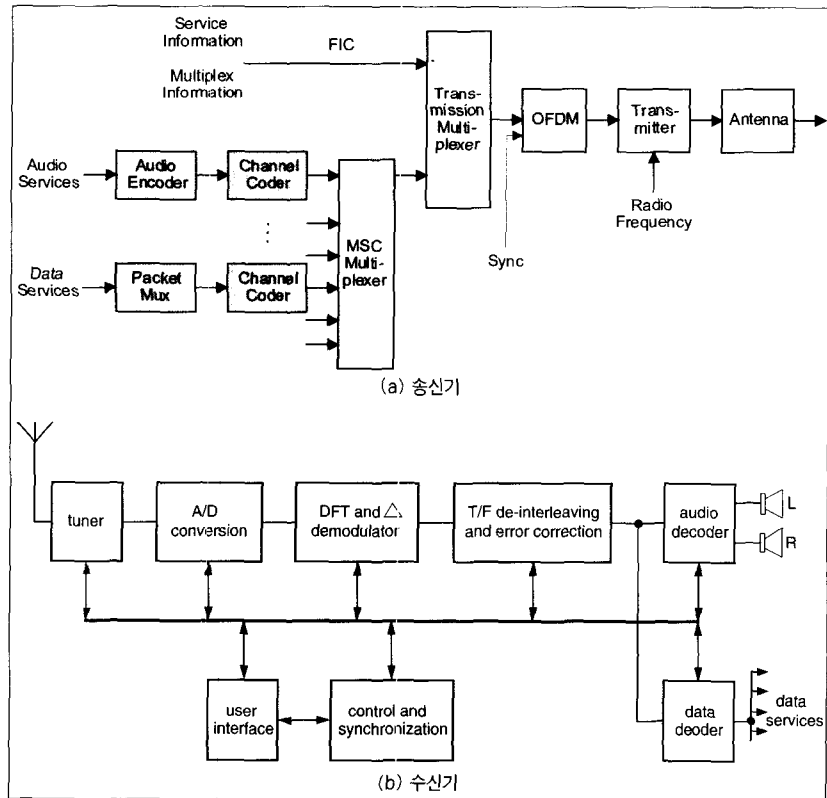
부호화인 MPEG 계층 II, 디지털 변조방식으로 지상파에서의 다중 경로 페이딩에 강건한 COFDM (Coded OFDM)을 사용하며, 1.5MHz의 전송 대역폭을 사용하여 단일 송신기로 고음질의 스테레오 프로그램과 데이터를 다중화시켜 방송할 수 있다. 이때 가능한 프로그램 수는 비트율, 오류정정, 데이터 용량 등으로 결정되는데, 비트율이 192Kbps이고 부호율이 0.5일 경우 약 6개의 프로그램을 동시에 방송할 수 있다. 수신도 간단한 휘프(Whip) 안테나로 가능할 뿐만 아니라 도심지 등의 다중경로가 많은 조건에서도 잡음 발생 없이 우수한 성능을 발휘한다.

Eureka-147 DAB 시스템의 송·수신 기본 블록도가 <그림 1(a)>와 <그림 1(b)>에 각각 나타나 있다. <그림 1(a)>

의 송신기 블록도를 보면 각각의 서비스 신호는 개별적으로 오디오 부호화기를 거친 후 오류방지를 위해 부호화된 후 시간영역 인터리버를 거친다. 인터리빙된 각각의 음성 서비스 신호들과 일반 데이터들은 다중화되어 주 서비스 채널(MSC: Main Service Channel)로 합쳐진다. 다중화된 신호는 고속정보 채널(FIC: Fast

Information Channel)로 전송되는 다중화배열정보(MCI: Multiplexing Configuration Information)와 서비스정보(SI: Service Information)와 함께 주파수 인터리버를 통과한다. FIC로 전송되는 정보는 시간지연을 허용하지 않기 때문에 시간영역 인터리버를 통과하지 않는다. 주파수 인터리빙된 비트열은 DQPSK(Differential Quaternary Phase Shift Keying) 심볼로 맵핑된 후 IFFT를 통해 OFDM 심볼이 생성된다. 여기에 동기를 위한 심볼이 부가되어 최종적으로 DAB 신호가 얻어진다.

<그림 1(b)>는 DAB 수신기의 구성을 보여준다. 튜너를 통해 원하는 DAB 방송 신호를 선택하고 A/D 변환기를 사용하여 디지털 신호를 생성한다.



<그림 1> Eureka-147 DAB 송·수신기의 블록도

이렇게 생성된 디지털 신호에 FFT를 수행하고 차분 복조기를 통과시킨 후 시간과 주파수 영역에서 역 인터리빙을 수행한다. 비터비 복호를 통해 전송 데이터를 복원하면 최종적으로 음성신호와 데이터 서비스가 얻어진다. 음성신호는 MPEG 복호처리를 하면 좌우신호가 분리된다. 수신기의 제어는 FIC 정보에 따라 수행된다.

전송규격에서는 전송모드 I, II, III, IV의 4가지 전송모드를 정의하고 있다. 전송 프레임에는 1차 동기용 널심볼을 선두로 하여 동기화 채널과 FIC가 이어지며 다음에 MSC가 할당된다. 데이터 전송은 FIC와 MSC로 이루어지는데 FIC는 256비트 고속정보블록(FIB)으로 구성되며 MSC 배열을 제어한다. 제어정보의 핵심은 FIC를 통해 전송되는 MCI인데 이는 필요에 따라 재배열된다. 각 전송모드에 따른 파라미터는 <표 1>에 나타나 있다.

전송규격은 지상 단일주파수방송망(SFN) 밴드 I, II, III의 지역방송에 적합한 전송모드 I, 밴드 I, II, III, IV, V와 L 밴드에서 적합한 전송모드 II와 IV, 3GHz 이하의 지상방송, 위성방송, 케이블, 지상

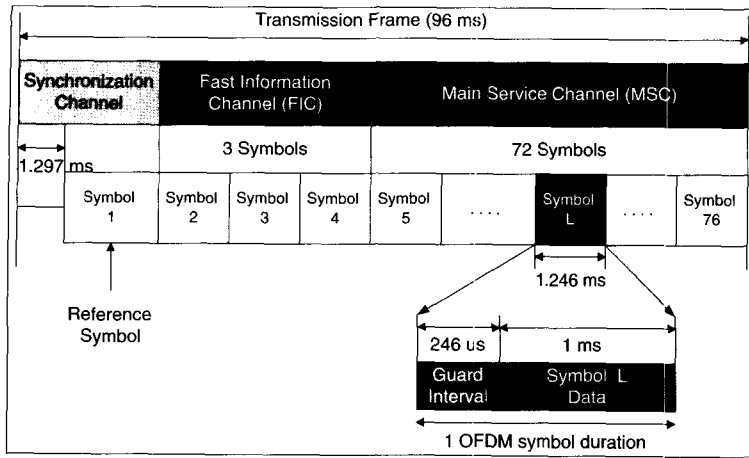
및 위성방송에 적합한 전송모드 III의 4가지 전송모드를 정의하고 있다. 전송 프레임 간격은 <표 1>에서 나타난 전송모드에 따라서 96ms ~ 24ms를 가진다. 전송모드 I은 많은 수의 반송파를 조밀하게 배치하여 주파수 인터리빙 효과를 극대화하고, 심볼 구간을 길게 함으로써 허용 가능한 다중경로 전파의 지연시간을 길게 하여 단일주파수 방송망에 적합하게 설계되었으나, 사용가능한 주파수 영역은 375MHz까지로 제한된다. 전송모드 III은 반송파 간격을 넓게 하여 도플러 주파수의 허용치를 크게 함으로써 동작주파수 영역을 3GHz 까지 확장한다.

### 1. 전송 프레임 구조

컨볼루션 부호화된 신호는 다중화기에 의해 전송 프레임으로 구성된다. 전송 프레임의 구조를 설명하기 위해 <그림 2>에 전송모드 I의 프레임 구조를 예로 나타내었다. 전송 프레임의 첫 부분에는 1차 동기용의 널심볼이 할당되며, DQPSK 변복조를 위한 위상 기준심볼의 동기화 채널이 이어진다. 다음으로 FIC가 이어지고 나머지 부분에 오디오 데이터와 일반 데이터를 전송하는 MSC가 할당된다. OFDM 심볼은 1ms의 유효 데이터 구간과 0.25ms 길이의 보호구간으로 구성되어 있다. 따라서 하나의 전송 프레임은 널심볼, 위상기준심볼, FIC용 심볼 3개, MSC의 실제 데이터용 심볼 72개로 구성되며 전체 길이는 96ms가 된다. 데이터 전송은 FIC와 MSC를 전송하는 것이며 여기서 FIC는 다수의 고속정보블록들로(FIB, 250bits 단위) 구성되며

<표 1> Eureka-147 DAB의 전송 모드에 따른 파라미터

응용	지상파 (SFN)	지상파	지상/케이블	지상파
반송파 주파수	< 375 MHz	< 1.5 GHz	< 3 GHz	< 1.5 GHz
부반송파 수	1,536	384	192	768
부반송파 간격	1 KHz	4 KHz	8 KHz	4 KHz
보호구간 길이	246 $\mu$ s	62 $\mu$ s	31 $\mu$ s	123 $\mu$ s
유효심볼 길이	1 ms	250 $\mu$ s	125 $\mu$ s	500 $\mu$ s
프레임 길이	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
널 심볼 길이	1.297 ms	324 $\mu$ s	168 $\mu$ s	648 $\mu$ s
프레임 당 심볼수	76	76	153	76
변조방식	$\pi/4$ -DQPSK			
샘플링 주파수	2.048 MHz			
시간 인터리빙	Depth = 384 ms			
주파수 인터리빙	Width = 1.536 MHz			
시스템 대역폭	1.536 MHz			
유효 데이터율	0.8 ~ 1.7 Mbps			



〈그림 2〉 전송모드 1의 전송 프레임 예

된 OFDM의 시간 인터리빙의 폭은 384ms로 길게 설계되어 있다. 보호구간은 유효 심볼구간의 25%로 정하였고, 반송파들의 최종변조는  $\pi/4$ -DQPSK를 이용하여 이루어진다. 주파수 인터리빙은 대역전체에 걸쳐 무작위로 FIC와 MSC에 대해 수행된다.

MSC 배열을 제어한다. MSC는 여러 개의 공통접속프레임(CIF)으로 구성되고 하나의 공통접속프레임은 55,296비트율을 가지며 이는 24ms 구간의 오디오 프레임에 해당된다. 공통접속프레임의 최소 주소단위는 64비트로 이를 단위용량(CU)이라고 한다. 서브채널은 단위용량의 정수배로 구성되며 MSC의 기본 전송단위가 된다. 즉, MSC는 서브채널의 다중화로 구성되며 시간 인터리빙 되고 채널 부호화 된다. 각 서브채널은 한 개 이상의 서비스 성분을 나타내며 서비스 성분과 서브채널이 결합하여 다중화 배열이 된다. 동기화 채널은 전송프레임 동기, 자동주파수제어, 채널상태추정, 기본적인 복조 기능 등을 위해 사용된다.

## 2. 인터리버부

DAB에서는 인터리빙을 위해 시간 인터리버와 주파수 인터리버를 모두 사용한다. 시간 인터리빙은 MSC를 위해 수행되고 FIC에는 수행되지 않는다. 시간 인터리버의 깊이는 16 논리 프레임(logical frame)으로 384ms의 전송지연을 갖는다. 부호화

## 3. 에너지 확산부

전송신호의 에너지를 확산시키기 위해 의사무작위 신호 (PRBS)를 가하며, 생성 다항식은  $P(x) = X^2 + X^5 + 1$ 이 사용된다. FIC는 고속정보 블록마다 MSC는 각 채널마다 의사무작위신호가 가산된다.

## 4. 오류제어부

제어정보의 핵심은 다중화 배열정보로 FIC를 통해 전송되며 필요하면 재배열된다. FIC에 포함된 또 다른 정보로는 수신기의 디스플레이표시용 데이터와 제어용 데이터를 전송하는 서비스정보(SI), 제한접근(CA: Conditional Access)관리정보, 고속정보데이터채널(FIDC: Fast Information Data Channel)이 있다. 오류정정 부호로는 부호율을 변화시킬 수 있는 컨볼루션을 사용한다. Punctured 컨볼루션부호는 부호화기를 사용하여 모부호(Mother Code)를 생성한 후, 모부호에서 실제로 전송할 부분을 선정하는 방법(puncturing)으로 부

호율을 가변할 수 있다. 부호화 OFDM의 구속장 길이는 7이고, 유효데이터와 모부호의 비가 1:4인 컨볼루션 부호화기를 사용하며, 부호화율은 8/12에서 8/24까지 13단계로 조정할 수 있다.

〈표 2〉 보호수준과 부호율

Protection		Code Rates R			
Level	Application	average	protection class 1	protection class 2,4	protection class 3
1	very high special	0.34-0.36	8/32	8/25-8/28	8/19-8/22
2	high mobile high	0.4-0.43	8/30-8/32	8/20-8/26	8/16-8/17
3	good mobile	0.5-0.51	8/23-8/24	8/16-8/18	8/14-8/15
4	medium mobile weak	0.57-0.62	8/17-8/21	8/14-8/17	8/12-8/13
5	low cable	0.72-0.75	8/13-8/16	8/11-8/14	8/10

에너지확산을 위해 의사무작위 신호가 가해진 비트 스트림은 컨볼루션 부호화기에서 구속장 길이 7비트로 부호화되고 그 후 신호 일부를 삭제하여 전송하는 puncturing이 행하여진다. 이 때 중요도가 높은 부분은 적게 삭제하고 중요도가 낮은 부분은 많이 삭제하는 처리가 이루어진다. 모든 부분을 동등하게 puncturing하는 방법을 EEP(Equal Error Protection)이라고 하고 중요도에 따라 puncturing을 다르게 하는 방법을 UEP(Unequal Error Protection)이라고 한다.

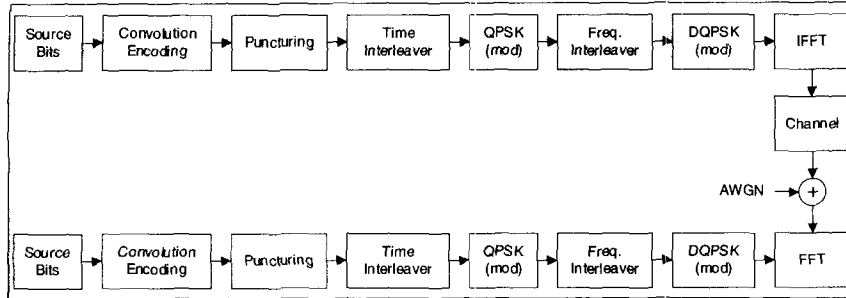
부호율은 데이터 비트수와 상수부호화 후의 비트수의 비로 나타내며 가장 성능이 우수한 보호 수준(Protection Level) 1의 경우 부호율이 약 0.34이고, 가장 성능이 낮은 보호 수준 5의 경우 부호율은 0.75가 된다. 케이블 네트워크에 높은 부호율이 사용되며 라디오 주파수 채널에서는 채널특성에 따라 낮은 부호율이 사용된다. 또한 음악방송에서는 보호 수준을 높게 하고 음성에서는 보호 수준을 낮게 하는 등 오디오 서비스 내용에 따라 부호율이 선택된다. 일반 데이터의 오류정정은 비트 단위인 논리 프레임을 4개의 클래스(class)로 나누고 여기에 부호율이 0.25에서 0.75까지인 24개의 puncturing 벡터를 적절히 적용하여 이루어진다. FIC로 전송되는 서비스와 오디오 프로그램 정보의 경우는 모두 1/3로 부호화된다. 〈표 2〉는 각 보호 수준에 따른 응용을 보여준다.

DAB는 변조파의 대역폭이 1.5MHz로 여기에

실리는 서비스의 수나 전송율, 오류보호율에 사용되는 중첩부호화율(R)의 설정은 전송 용량이 최대 용량(약 2.3Mbps) 이내이면 모두 자유롭게 설정할 수 있다. 예를 들면, 음악 서비스의 경우 최고의 고음질인 MPEG 오디오신호(스테레오, 데이터율 384 Kbps)를 오류정정능력 최대(R = 0.34)로 보내는 경우 최대 2개의 서비스까지 다중화 할 수 있지만 모든 서비스를 연설이나 대화급의 음질(모노럴, 데이터율 32Kbps)로 오류정정능력을 약하게(R = 0.75)하면 이론적으로는 54 서비스까지 다중화하여 전송할 수 있다. 유럽 등에서 실제 방송되고 있는 내용을 보면 음악방송 등의 고음질 서비스에서는 스테레오 데이터율이 192Kbps이고 R = 0.5로 설정하는 경우가 일반적이며, 모든 서비스가 이와 같이 설정된 경우 6개의 서비스를 다중화하여 방송할 수 있다. 또한, 뉴스나 스포츠 프로그램의 경우는 음질을 중시하지 않으므로 데이터율을 감소시켜 서비스 수를 증가시키고 있다.

### III. Eureka-147 DAB의 성능 분석

2장에서 설명하였듯이 Eureka-147 DAB 시스템은 전송 채널에 의한 페이딩 왜곡을 극복하기 위해 시간/주파수 인터리빙 및 오류정정 부호화와 합



〈그림 3〉 Eureka-147 DAB 전송모드 1의 모의 실험 블록도

계 OFDM 전송방식을 사용하고 있다(1)-(3). 3장에서 이와 같은 Eureka-147 DAB 시스템의 성능을 모의실험을 통해 분석한다. 성능 분석에 사용되는 Eureka-147 DAB 시스템의 블록도를 신호 전송 측면에서 재구성하여 〈그림 3〉에 나타내었다. 먼저 비트 생성기에서 랜덤한 비트를 발생하여 일련의 비트스트림을 형성한 후, 부호율이 1/4이고 구속장 길이가 7인 컨볼루션 부호화를 통과시킨다. 부호화된 비트스트림은 각 보호 수준에 맞는 puncturing 벡터들을 사용하여 puncturing된다. 이렇게 puncturing된 비트스트림은 길이가 384ms인 시간영역 인터리버에 의해 인터리빙 된 후 QPSK 변조된다. 그 후 주파수 인터리버에서 인터리빙 된 DQPSK에 의해 변조된다. 마지막으로 이 심볼들을 N 포인트 IFFT하여 N개의 샘플수를 갖는 OFDM 심볼을 생성하며, 이는 다음과 같이 표현할 수 있다(4)(5).

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kn/N}, \quad (1)$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1$$

여기서, k, n은 각각 부반송파 인덱스와 샘플 인덱스를 나타내며,  $X_k$ 는 k번째 부채널로 전송되는 DQPSK 심볼을 나타낸다. 식 (1)에서는 표현을 단

순화 하기 위해 OFDM 심볼 인덱스를 생략하였다. 식 (1)의  $x_n$ 에 cyclic prefix가 추가되고 D/A 변환기와 대역제한

필터, 고출력 증폭기를 통과하여 안테나를 통해 무선 채널로 전송된다. 수신단에서는 수신 신호를 A/D 변환한 후 송신단의 역순으로 QPSK 심볼을 복조한 후 비터비 복호를 하여 전송 비트를 검출한다. 이 때, 샘플링 된 기저대역 이산신호는 cyclic prefix가 제거된 경우 다음과 같이 표현된다.

$$y_n = \sum_{l=0}^{L-1} h_{n,l} x_{n-l} + w_n, n=0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

여기서, L은 다중경로 채널의 전체 경로수를 나타내며,  $h_{n,l}$ 은 n번째 샘플 시간에서 l번째 경로의 복소수 이득을 나타내고, 모든 경로는 상호 독립적이면서 그 크기는 Rayleigh 분포를 갖는다. 이 때, 1 OFDM 심볼주기 동안 채널의 특성이 변하지 않는 경우(정적인 채널)에는 식 (2)의 수신 신호는 FFT를 통해 다음과 같이 기저대역 신호로 변환된다.

$$Y_k = \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{-j2\pi nk/N} \quad (3)$$

$$= X_k H_k + W_k, k=0, 1, \dots, N-1$$

여기서,  $H_k = \sum_{n=0}^{N-1} h_{n,l} e^{-j2\pi nk/N}$  은 다중경로 채널의 주파수 응답으로 k번째 부채널의 복소수 응답

을 나타내며 flat 페이딩으로 근사화 할 수 있다. 식 (3)을 통해 기저대역 복조 신호를 얻게 되면, 전송 데이터 심볼을 얻기 위해 noncoherent 검출을 수행하며, 이 때 프레임 선두에 삽입된 위상 기준 심볼을 이용하여 차분 복조를 이룬다. 마지막 과정으로 복조된 심볼을 비터비 복호기를 통과시켜 전송 비트를 검출하게 된다. 여기서, 주목할 점은 수신기가 고속으로 이동하는 경우에는  $h_{n,t} = h_t, 0 \leq n \leq N-1$ 이 성립하지 않아 식 (3)의 복조 신호에는 AWGN 특성을 갖는 채널간 간섭(ICI : Inter-Channel Interference)항이 추가로 포함되며, 이로 인해 수신 성능이 저하되는 현상이 발생한다는 것이다[6]. ICI 왜곡을 보상하기 위해서는 오류정정 부호화, 안테나 다이버시티, 비선형 등화 등의 기법을 사용해야 한다[7].

다음으로는 이와 같은 Eureka-147 DAB 시스템의 성능을 모의실험을 통해 분석하였다. 먼저 AWGN 환경하에서의 성능을 분석하였는데 여기서는 심볼 동기 및 반송파 주파수 동기가 완벽하게 이루어 졌다고 가정하였으며, <표 1>의 전송모드 I 파라미터를 사용하였다. 수신단에는 역추적 깊이

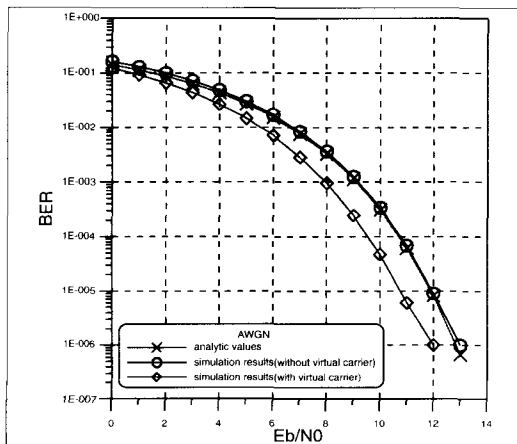
(trace back depth)가 35(구속장의 5배)인 경관정 비터비 복호기를 사용하였다. <그림 4>는 해석적인 DQPSK의 비트 오류율 곡선과 모의 실험 결과를 비교한 것인데, 해석적인 DQPSK의 비트 오류율 성능은 다음 식으로 주어진다.

$$P_E \approx \frac{1}{\log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{2E_s}{N_0}} \sin \left( \sqrt{\frac{\pi}{2M}} \right) \right), M \geq 4 \quad (4)$$

여기서,  $M$ 은 성상도의 수이며,  $E_s/N_0$ 는 심볼당 신호의 에너지대 잡음 에너지 비를 나타낸다. <그림 4>에서 알 수 있듯이 OFDM 심볼에서 주파수 영역 보호대역(virtual carrier)을 고려하지 않고 모든 부반송파에 데이터를 채운 경우 AWGN 환경 하에서 비트 오류율이 해석적인 값과 일치하게 된다.

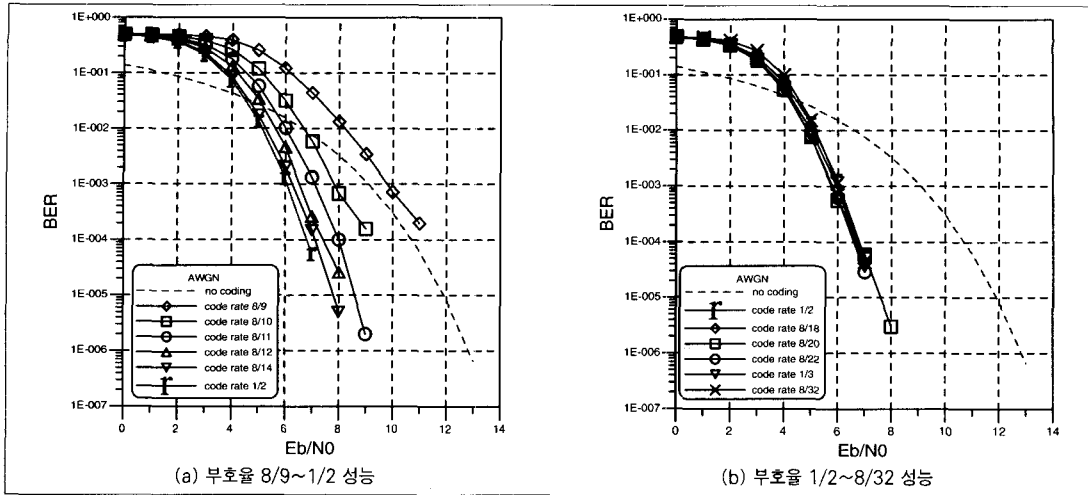
Eureka-147에서는 부호율 8/9에서 8/24까지 24가지의 부호율을 지원하는데 그 중 일부의 성능을 AWGN 환경 하에서 모의 실험하여 <그림 5>에 결과를 나타내었다. 8/9인 경우는 부호율이 매우 높아 AWGN 환경 하에서도 오류정정 성능이 크게 저하된다. 부호율이 8/9에서 1/2까지 감소함에 따라 비트 오류율 성능이 향상되며, 부호율이 1/2이상인 경우에는 성능 향상이 미약함을 확인할 수 있다.

다음은 다중경로 환경하에서의 비트 오류율 성능을 분석하였다. <그림 6>은 2-경로 페이딩 채널에서의 부호율에 따른 비트 오류율 성능을 나타내고 있는데 부호율이 감소할수록 성능이 향상됨을 알 수 있다. 이 모의 실험에서는 도플러 주파수를 200 km/h로 설정하였고, 채널의 지연확산은 5 $\mu$ s로 설정하였다. 반송파 주파수가 226MHz라고 가정하면 이 때의 최대 도플러 주파수는  $f_D = v f_c / c \approx 42$ ( $v$ : 이동속도,  $f_c$ : 반송파 주파수,  $c$ : 광속)가 된다. 전송모드가 1인 경우 OFDM 심볼 길이  $T_s$ 가 1.246ms 이므로 이동속도가 200km/h일 때 채널의 변화율

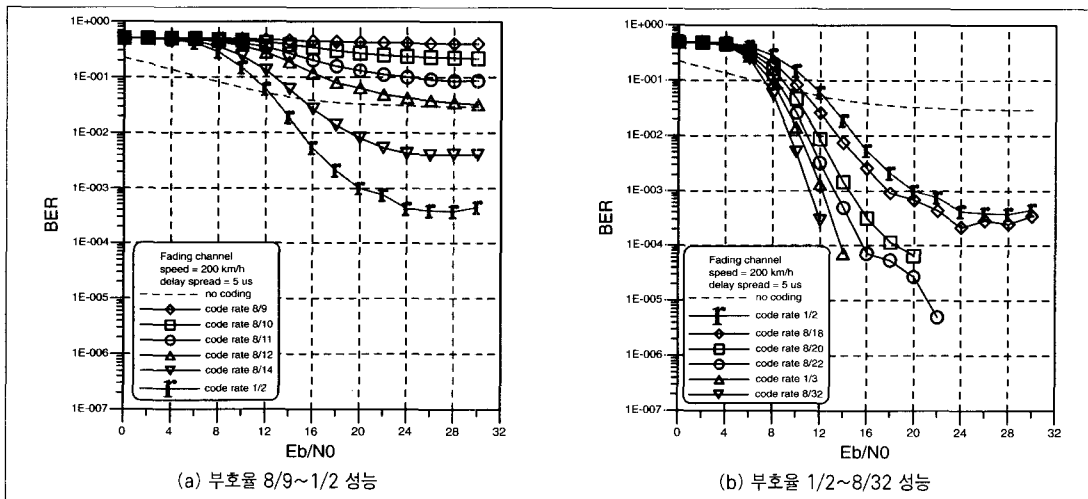


<그림 4> AWGN 환경에서 Eureka-147 DAB의 비트 오류율 성능





〈그림 5〉 AWGN 환경하에서 부호율에 따른 Eureka-147 DAB 성능 비교

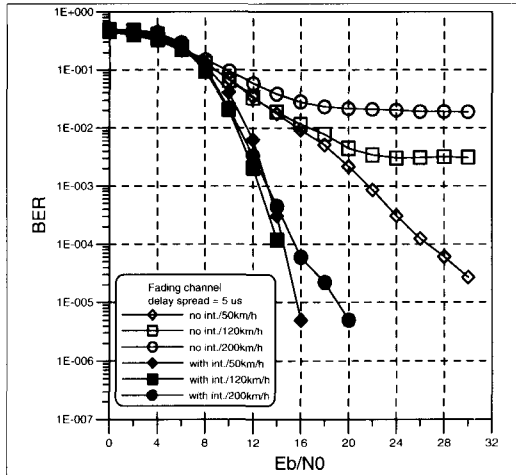


〈그림 6〉 2-경로 페이딩 채널환경 하에서 부호율에 따른 Eureka-147 DAB 성능 비교

은  $\Delta f_D = T f_D \approx 0.052$ 가 되며, 일반적으로  $0.01 < \Delta f_D < 0.1$ 일 경우 OFDM 심볼주기내에서 채널의 변화가 선형적으로 발생하며, 그로 인해 OFDM 부반송파 사이에 ICI가 발생하게 되어 수신 성능이 저하되게 된다. 따라서, 그림에서 보듯이 부호율이 낮은 8/9~8/12인 경우에는 성능이 심하게 열화 되는 것을 확인할 수 있다. 실제로 부호율 8/9는 케이블

방송에서만 쓰이고 무선 환경에서는 쓰이지 않는 부호율이다. 부호율이 1/2에서 1/3으로 낮아지면  $10^3$ 의 비트 오류율에서 약 7.8dB의  $E_b/N_0$  이득을 얻게 된다.

〈그림 7〉에서는 정보원의 비트율이 256kbps이고 보호 수준이 1일 경우, 시간영역 인터리버의 유무에 따른 성능을 나타낸 것이다. 시간영역 인터리빙

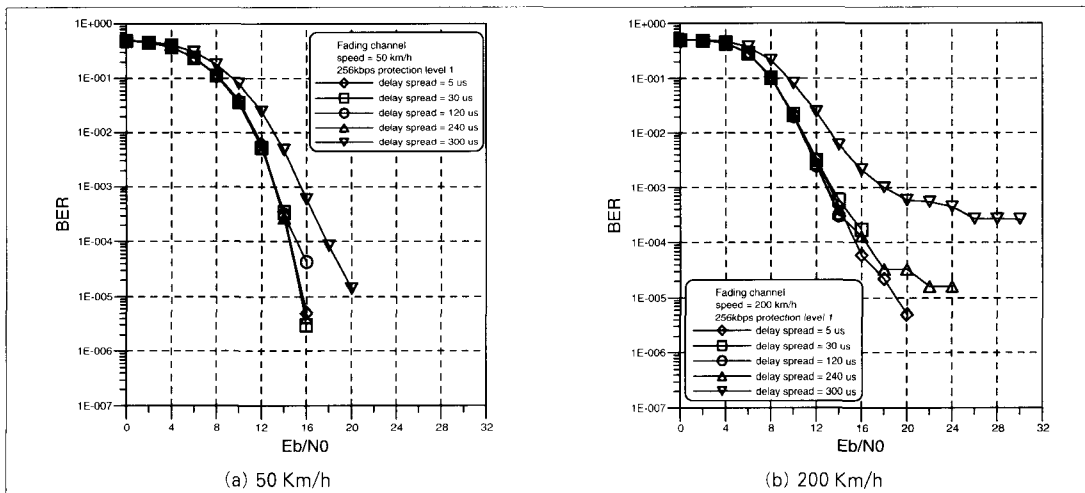


(그림 7) 시간영역 인터리빙에 의한 Eureka-147 DAB 성능(256 kbps, 보호 수준 1)

을 수행한 경우의 성능이 수행하지 않은 경우의 성능보다 매우 향상되었음을 알 수 있다. 이것은 수신기의 이동 속도가 증가할수록 보다 확연하게 나타난다. 50km/h로 이동하는 경우 인터리빙을 수행한 경우가 수행하지 않은 경우보다  $10^{-4}$ 의 비트 오류율에서 약 12.2dB의  $E_b/N_0$  이득을 갖는다. 인터리빙을 수행하지 않은 경우에 120km/h, 200km/h로

이동할 때 비트 오류율이 0으로 수렴하지 않지만 인터리빙을 수행한 경우에는  $E_b/N_0$ 가 20dB일 때 비트 오류율이 0으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 인터리빙을 수행한 경우에 50km/h에서 200km/h로 속도를 변화시켜 결과를 확인해 보면 이동 속도에 따라 크게 성능 차이가 없는 것을 알 수 있다. 이것은 인터리버가 도플러 주파수 증가에 따른 성능 열화를 어느 정도 극복하였음을 나타낸다. 그러나, 도플러 주파수가 매우 커서  $\Delta f_b > 0.1$ 이 될 경우에는 인터리버를 사용하여 얻게 되는 성능 향상이 미미하게 나타난다. 이와 같은 경우에는 ICI를 극복하기 위한 새로운 기법을 사용해야 할 것이다.

(그림 8)에서는 정보원 데이터율이 256kbps이고 보호 수준이 1일 경우 다중경로 채널의 지연확산에 따른 성능 차이를 보여 준다. OFDM 심볼 동기 및 반송파 주파수 동기가 이상적으로 오차 없이 이루어졌다고 가정하였기 때문에 AWGN 환경하에서처럼 보호구간 내의 지연확산에 따라서는 성능 차이가 없고 보호구간의 길이를 초과하는 지연확산에서는 ISI와 ICI에 의해 성능이 심하게 열화 되는 것을 알 수 있다.



(그림 8) 지연확산에 따른 Eureka-147 DAB 성능 비교

## IV. 결론

20세기말부터 사람의 청각과 시각의 특성을 이용한 오디오 및 영상의 디지털 압축 기술, 이를 효과적으로 전송 및 저장할 수 있는 디지털 통신 기술, 그리고 고성능 컴퓨터와 저전력 고집적 반도체 기술 등의 비약적 발전을 통해 저가의 방송 통신 시스템 구현이 가능해져 방송 통신 분야의 디지털화 추세는 더욱더 가속화되어 새로운 디지털 방송 시대가 열리게 되었다.

현재 디지털 라디오 방송과 관련된 시장이 열리고 있으며, 앞으로 3년 내지 4년 후에는 급속한 성장기로 접어들어 그 후 안정적인 시장 형성을 예상할 수 있다. 산업자원부 발표에 따르면, 멀티미디어 지상파 DAB(단독형 및 복합형 포함) 세계시장 규모는 2005년에 204억불, 2008년에 459억불, 2012년 1,033억불 규모로 전망되며, 이 기간 중 미국은 연평균 200% 이상, 유럽 등 기타는 125% 이상 시장 규모가 확대될 것으로 전망하고 있다. 특히, 개발된 대부분의 디지털 라디오 방송 기술이 OFDM 기반인 점을 고려해 볼 때, 대륙별 국가별로 다양한 모든 방식들의 서비스가 가능한 새로운 형태의 디지털 라디오 수신기의 탄생을 의미한다고 볼 수 있다. 따라서, 우리나라의 경우 디지털 라디오 방송 기술과 관련한 핵심 기술 및 국제 표준안 제정에는 다소 늦어

다고 볼 수 있지만 향후 전개될 OFDM 기반 디지털 라디오 방송 수신기와 관련한 핵심 기술을 확보한다면 앞으로 수 년후 디지털 라디오 방송 기술과 관련하여 세계 시장을 선도할 수 있을 것으로 전망되며, 정부에서도 멀티미디어 지상파 DAB 송·수신기 개발을 통해 디지털 오디오산업을 수출전력 상품화하여 2012년 이내에 세계 1위의 DAB 수신기 생산국이 될 것이라는 비전을 제시하고 있다. 또한, 장기적으로 침체에 빠져있는 전통 오디오 산업에 대해 DAB 시장 활성화를 통한 국내외 오디오 신규시장 창출 및 선점, DAB망을 이용한 이동 TV 핵심 기술 확보를 통한 국제 표준화 선도, 국내 MPEG4 기술 상용화 및 7인치 이하 TFT LCD 신규 시장 창출, PostPC 산업의 Killer Application 제공을 통한 시너지 창출, DAB 기술과 향후 3G 및 Telematics와 연계를 통한 신규 시장 창출을 기대할 수 있다. 또한, 우리나라에서 채택한 Eureka-147 방식은 지상파는 물론 위성파 케이블에서 적용이 가능하므로 개발된 모든 콘텐츠와 기술의 적용이 용이하다. 향후 전개될 디지털 라디오 방송은 디지털 멀티미디어 방송으로의 확장이 가능하므로, 고품질 오디오 서비스 이외에 영상 서비스, 인터넷 서비스 등의 양방향 복합 멀티미디어 서비스를 위한 세계 표준화 작업이 보다 활발히 이루어질 것으로 예상되므로 이 분야에 대한 연구, 개발을 집중적으로 수행해야 할 것이다.

### 참고 문헌

- (1) B. L. Floch, M. Alerd, and C. Berrou, "Coded orthogonal frequency division multiplex," Proc. of IEEE, Vol. 83, No. 6, pp. 982-996, Jun. 1995.
- (2) M. Alerd and R. Lessale, "Principles of modulation and channel coding for digital broadcasting for mobile receivers," EBU Tech. Review, No. 224, pp. 3-25, Aug. 1997.
- (3) ETSI EN 300 401, "Radio broadcasting systems: digital audio broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers," May 2001.
- (4) L. J. Cimini, Jr., "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency-division multiplexing," IEEE Trans. Commun., Vol. 33, No. 7, pp. 665-675, Jul. 1985.

● 참고 문헌 ●

- (5) J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," IEEE Commun. Magazine, Vol. 28, No. 5, pp. 5-14, May 1990.
- (6) M. Russell and G. L. Stuber, "Interchannel interference analysis of OFDM in a mobile environment," in Proc. IEEE VTC '95, Chicago, IL, Jul. 1995, pp. 820-824.
- (7) W. S. Jeon, K. H. Chang, and Y. S. Cho, "An equalization technique for OFDM systems in time-variant multipath channels," IEEE Trans. Commun., Vol. 47, No. 1, pp. 27-32, Jan. 1999.

필자 소개



백종호

- 1994년 2월 : 중앙대학교 전기공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 대학원(공학석사)
- 2002년 9월~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 대학원(공학박사과정)
- 1997년 1월~현재 : 전자부품연구원 뉴미디어통신연구센터 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송 시스템, 유무선 영상 통신 시스템



전원기

- 1994년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
- 1999년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 대학원(공학박사)
- 1999년 9월~2001년 7월 : 중앙대학교 전자전기공학부 BK21 계약교수
- 2001년 8월~현재 : 전자부품연구원 뉴미디어통신연구센터 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 통신 시스템



정혁구

- 1985년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원(공학석사)
- 2001년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 대학원(박사과정 수료)
- 1987년 1월~1993년 11월 : (주)금성사 정보기기연구소 선임
- 1993년 3월~현재 : 전자부품연구원 뉴미디어통신연구센터 센터장
- 주관심분야 : OFDM 방식 초고속 이동 통신 시스템, 3차원 영상신호처리 기술, SDR 기술



조용수

- 1984년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 8월 : 연세대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
- 1991년 5월 : The University of Texas at Austin, Department of Electrical and Computer Engineering(공학박사)
- 1984년 1월~1984년 7월 : 금성전기(주) 연구원
- 1992년 3월~현재 : 중앙대학교 전자전기공학과 교수
- 주관심분야 : 통신 신호처리, 유·무선 고속 모델