

일반논문-04-09-4-12

지상파 DMB를 위한 통합 이동 측정 시스템 개발

김 상 훈^{a)*}, 임 중 곤^{a)}, 채 영 석^{a)}, 김 만 식^{a)}

The Development of Integrated Mobile Measurement System for Terrestrial DMB

Sang-Hun Kim^{a)*}, Zung-Kon Yim^{a)}, Young-Seok Chae^{a)} and Man-Sik Kim^{a)}

요 약

국내의 디지털 오디오 방송 방식으로 잠정 결정되었던 유럽의 Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting)가 기술적으로 취약한 지상파 DTV의 이동수신 영역을 보완하기 위하여 종합 멀티미디어 방송인 DMB (Digital Multimedia Broadcasting)로 진화하였다. 지상파 DMB (T-DMB)에 비디오 서비스를 도입함에 따라 이에 대한 가능성을 검증하기 위하여 정보통신부 국책과제인 '지상파 DMB 동영상 실험방송'이 실시되었다. 과제의 주요 목적은 T-DMB 방송망 구축 및 송수신 장비의 개발에 필요한 유효전계강도와 비디오 서비스 방송구역을 산정하는 것이다. 디지털 방송의 경우 송신기의 커버리지와 수신 품질을 조사하기 위해서는 비트오류율 (BER : Bit Error Rate)과 전계강도의 측정이 필수적이다. 본 논문은 T-DMB를 위한 통합 이동 측정 시스템 개발에 관한 것이다. 이를 위하여 비트오류율 측정을 위한 효율적인 데이터 구조와 알고리즘을 제안하였다. 이에 따라 구현된 비트오류율 측정부에 전계강도 측정부와 GPS (Global Positioning System) 수신부를 추가하여 통합 이동 측정 시스템을 완성하였고, 실험과 필드 테스트를 통해 검증하였다. 개발된 통합 이동 측정 시스템은 '지상파 DMB 동영상 실험방송 과제'에 사용되었으며, 측정결과는 T-DMB 방송망 구축을 위한 기본 자료로 사용될 예정이다.

Abstract

In Korea, Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting) temporarily decided as the standard system for digital audio broadcasting was evolved into DMB (Digital Multimedia Broadcasting) to complement the technical vulnerability in mobile reception of terrestrial DTV. According to introducing video service in T-DMB (Terrestrial DMB), 'Terrestrial DMB Experimental Broadcasting for Video Service', a national project of the MIC (Ministry of Information and Communication), was done for verifying the possibility of video service via T-DMB. The main objective of the project is computing the effective field strength and coverage for making a plan to build T-DMB broadcasting network and developing transmitting and receiving equipment. In case of digital broadcasting, it is absolutely essential to measure BER (Bit Error Rate) and electric field strength in order to evaluate coverage and quality of received signal. In this paper, we implement an integrated mobile measurement system for T-DMB. For this purpose, we propose efficient data structure and algorithm for BER measurement. By adding GPS (Global Positioning System) and electric field strength measurement parts into BER measurement part, we complete the integrated mobile measurement system, and then verify it by experiments and field tests. The developed system was used in a national project, 'Terrestrial DMB Experimental Broadcasting for Video Service' and measurement results will be used as fundamental data for building T-DMB broadcasting network.

Keywords : DMB, T-DMB, BER, Mobile measurement system

a) 한국방송 방송기술연구팀

Broadcast Technical Research Team, Korean Broadcasting System (KBS)

I. 서론

최근 전 세계적으로 디지털 방송 기술의 발전에 따라 아날로그 방송의 디지털화가 추진되고 있다. 텔레비전 방송은 디지털 HD (High Definition) 텔레비전의 도입을 통한 디지털화가, 라디오 방송의 경우 디지털 오디오 방송의 도입을 통한 디지털화가 진행 중이다. 디지털 라디오 방송의 경우 현재 미국, 일본, 유럽 등에서 서비스가 시작되고 있으며, 국내에서도 유럽의 Eureka-147 DAB^[1]를 디지털 라디오 방송 방식으로 잠정 결정하였다.

우수한 이동수신 성능을 갖는 DAB를 이용한 비디오 서비스 전송에 관심이 집중되면서 국내에서는 오디오 위주인 DAB를 디지털 멀티미디어 방송의 의미를 갖는 DMB로 개칭하였으며, 국내 DTV 방식인 ATSC (Advanced Television Systems Committee)의 취약한 이동수신 영역을 담당하는 것이 정책적으로 결정되었다.

현재 국내 T-DMB 방송 규격 표준화는 정보통신부에서 지원하는 민간 표준화 단체인 차세대 디지털방송 표준포럼의 DMB분과에서 표준안을 작성하고, TTA (Telecommunications Technology Association)에서 표준안을 승인하는 절차로 진행되고 있다. 2003년에는 '무선설비 기술기준'과 '시스템 송수신 정합표준'의 확정으로 T-DMB에서 다양한 응용서비스를 제공할 수 있는 근간이 마련되었다. 비디오 서비스를 위한 '비디오 서비스 송수신 정합표준'은 2004년 표준화가 완료되었고, '데이터 서비스 송수신 정합표준'은 2005년에 완료될 예정이다.

'비디오 서비스 송수신 정합표준'^[2]은 512kbps 이하의 낮은 대역폭에서 영상, 음성, 부가 데이터를 제공할 수 있도록 최신의 압축 기술과 MPEG-4 시스템을 이용한 대화형 방송 기술을 기반으로 하고 있다. 비디오 서비스를 위한 비디오 압축방식으로 MPEG-4 Part10 / H.264, 오디오 압축방식으로 BSAC (Bit Sliced Arithmetic Coding)을 채택하여 낮은 대역폭에서도 고품질의 비디오 서비스를 가능하게 하고, MPEG-4 BIFS (Binary Format for Scenes)를 채택하여 대화형 방송을 가능하도록 하고 있다. 시스템 레벨의 다중화에는 MPEG-4 SL (Sync Layer)와 MPEG-2 TS (Transport Stream)를 사용하고, 추가적인 오류정정에는 RS(204,188) (Reed-Solomon Code)과 길쌈 인터리브 (Convolutional Interleave)를 사용한다. 비디오 서비스의 전송에는 Eureka-147 DAB의 스트림 모드를 이용하고, 10^{-8} 이하의 비트오류율을 요구한다.

T-DMB에 비디오 서비스를 도입함에 따라 이에 대한 가능성을 검증하는 실험방송이 'DMB 동영상 실험방송 전담반'의 주관으로 실시되었다. 실험방송의 주요 목적은 T-DMB 방송망 구축 및 송수신 장비의 개발에 필요한 유효전계강도와 비디오 서비스 방송구역을 산정하는 것이다. 아날로그 방송의 경우 방송구역 산정에 있어서 전계강도만을 측정하는 것으로도 충분하다고 인식되었다. 그러나 디지털 방송의 경우는 전계강도 뿐만 아니라 수신된 신호의 비트오류율을 측정하는 것이 필수적이다^[3].

비트오류율을 측정하기 위해서는 특정한 패턴을 갖는 테스트 신호를 전송하고, 수신측에서 특정한 패턴의 신호와 실제 수신된 신호를 비교하는 과정이 필요하다. 테스트 신호를 전송하지 않고 비트오류율을 측정하기 위하여 의사 채널 비트오류율 (Pseudo channel BER)이 제안되었다. 비터비 복호기 (Viterbi decoder)의 입력을 버퍼에 저장하고, 비터비 복호기의 출력을 다시 부호화하여 그 결과를 저장된 비터비 복호기의 입력과 비교한다. 둘 사이의 차이는 전송 채널상의 오류를 의미하고 비트 오류로 분류된다^[3]. 이 방법은 테스트 신호 전송으로 인한 대역폭 낭비가 없고, 방송 중에도 측정할 수 있다는 장점이 있는 반면, 이동 속도와 주변 환경에 따라 예측치와 실제 비트오류율 사이의 차이가 증가하는 단점이 있다. 이는 전송채널 환경에 따라 비터비 복호기에 의해 정정될 수 있는 비트 오류의 수가 한정되어 있고, 채널상황 악화로 수신하지 못한 CIF (Common Interleaved Frame)에 포함된 비트들을 비트오류율 측정에 반영할 수 없는 방법상의 한계 때문이다.

유럽의 DAB 초창기에는 DAB와 관련된 여러 회사에서 비트오류율 측정 시스템을 제공하였으나, 오디오 위주 (비트오류율 10^{-4})의 서비스에 대한 검증을 마치고 현재는 모두 단종된 상태이다. 그러므로 국내의 T-DMB를 이용한 비디오 서비스 도입에 앞서 비트오류율을 측정하기 위해서는 측정 시스템의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 T-DMB에서 이동 측정에 적합한 비트오류율 측정을 위한 데이터 구조와 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 저자의 이전 논문^[4]에서 제안된 비트오류율 측정 알고리즘과 개념상 동일하지만 스트림 모드 전송에 TS 패키지만을 사용할 수 있는 송출 시스템에서도 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) 전송이 가능하고, 다른 측정 요소인 전계강도 측정부와 GPS (Global Positioning System) 수신부 등과의 동기화와 인터페이스에 적합하도록 수정 및 확장한 것이다. 이에 따라 구현된 비트

오류율 측정부에 전계강도 측정부와 GPS 수신부를 추가하여 통합 이동 측정 시스템을 완성하였고, 실험을 통해 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 비트오류율 측정을 위한 데이터 구조와 알고리즘을 제안하고, III장에서 비트오류율 측정부, 전계강도 측정부, GPS 수신부로 이루어진 통합 이동 측정 시스템의 구현에 대하여 설명한다. IV장에서 통합 이동 측정 시스템을 이용한 실험결과를 보이며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 비트오류율 측정

1. 데이터 구조

비트오류율 측정을 위하여 제안된 데이터 구조는 그림 1과 같다.

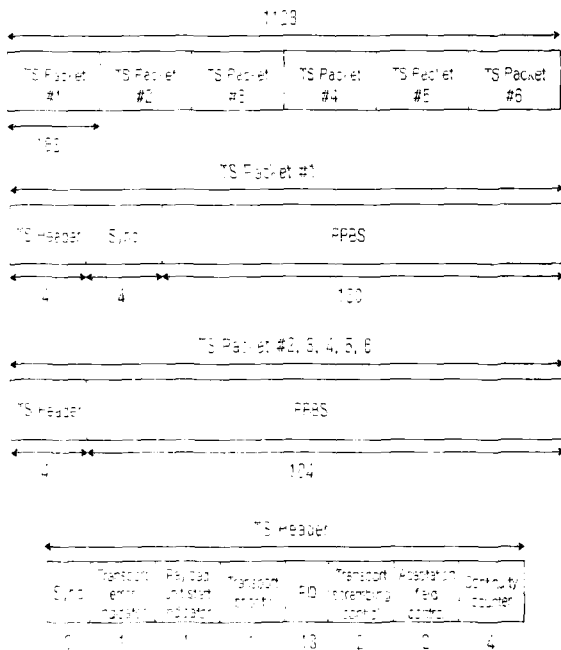


그림 1. 전송 데이터 구조
Fig. 1. Transmission data structure

그림 1의 구조를 PRBS 그룹이라고 명명한다. 비디오 서비스에 대한 비트오류율을 측정하기 위한 실험이므로 리드

솔로몬과 길쌈 인터리브에 의한 영향을 고려하지 않았을 때 2×10^{-4} 을 기준 비트오류율로 결정한다. 유사 무오류 (QEF : Quasi Error Free) 비디오 수신을 위해서는 비트오류율 10^{-10} 정도를 확보하여야 한다. T-DMB에서는 이를 위하여 DVB (Digital Video Broadcasting)에서 사용된 기술인 리드솔로몬과 길쌈 인터리브를 도입하였다. 이동수신의 경우 다중경로 및 도플러 효과에 의한 다발 오류 (Burst error) 등의 열악한 수신환경을 고려하여야 하므로 리드솔로몬 복호기 전단의 요구 비트오류율 특성을 2×10^{-4} 으로 가정한다. 타당한 최소 오류의 수를 100이라 하면 기준 비트오류율을 측정하기 위하여 $\frac{1}{2 \times 10^{-4}} \times 100 = 5 \times 10^5$, 즉 최소 5×10^5 비트가 필요하다. 전송 비트율이 384kbps인 경우 5초 동안 전송되는 비트 수는 1.92×10^6 이므로 비트오류율 측정에 적합하다. 특히 384kbps는 8kbps와 32kbps의 정수배이므로 EEP-A (Equal Error Protection)와 EEP-B 모두 적용 가능하여 오류 보호 수준에 의한 영향을 고려하는데도 적합하다. PRBS 그룹은 TS 패킷들로 구성된다. 이는 스트림 모드 전송에 TS 구조만을 사용할 수 있는 송출시스템에서도 PRBS 전송을 가능하게 하고, 경우에 따라서는 실제 비디오 서비스와 마찬가지로 RS(204, 188)과 길쌈 인터리브를 부가하여 비트오류율 측정을 가능하게 한다.

384kbps에서 하나의 CIF에 포함되는 서브채널 크기는 1152바이트이다. TS 패킷의 크기가 188바이트 이므로 1152에 가장 가까운 188의 정수배인 1128바이트를 PRBS 그룹의 크기로 결정한다. PRBS 그룹의 크기는 188바이트의 임의의 정수배이면 되지만, 비트오류율 측정의 효율성, 수신기에서 데이터 처리단위, 수신기에 접근 횟수 등을 고려하여 결정한다. 384kbps에서의 PRBS 그룹은 6개의 TS 패킷들로 구성되어 있다. 각 TS 패킷은 4바이트의 헤더와 184바이트의 페이로드로 구성된다. 184바이트의 페이로드는 PRBS로 구성되는데 첫 번째 TS 패킷 페이로드의 초기 4바이트는 동기정보로 구성된다. 동기정보는 FF FE FD FC의 값을 갖는데 비트오류율 측정시 채널을 통해 수신된 PRBS와 비트오류율 측정 시스템에서 생성된 기준 PRBS 사이의 동기화에 사용된다. TS 패킷의 헤더정보는 모두 동일한 값을 갖는데 구체적인 값은 표 1과 같다. TS 패킷들은 0x1FFF의 PID를 갖는 널 패킷의 헤더정보를 갖는다. 결과적으로 1128바이트 중에서 TS 헤더 및 동기정보에 18바이트가 사용되고, PRBS 전송에는 1100바이트가 사용된다.

표 1. TS 패킷 헤더 필드 값
Table 1. Values of TS packet header field

Syntax	# of bits	Value
Sync	8	0x47
Transport error indicator	1	0
Payload unit start indicator	1	0
Transport priority	1	0
PID	13	0x1FFF
Transport scrambling control	2	00
Adaptation field control	2	01
Continuity counter	4	0000

2. 비트오류율 측정 알고리즘

제안된 비트오류율 측정 알고리즘의 개요도는 그림 2와 같다.

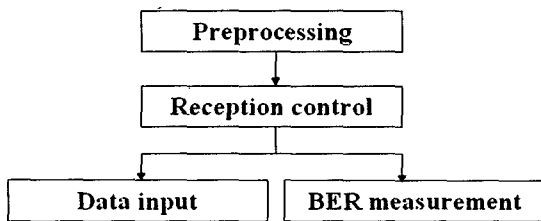


그림 2. 알고리즘의 개요도
Fig. 2. Algorithm overview

제안된 알고리즘은 전처리부, 수신 제어부, 데이터 입력부, 비트오류율 측정부로 구성된다.

전처리부는 비트오류율 측정이 효율적으로 이루어질 수 있도록 부가 데이터를 생성하는 역할을 수행한다. 전처리 과정의 중요한 역할로는 측정 기준시간의 단위변환, 버퍼할당, 기준 PRBS 생성, 비트카운트 테이블 생성이 있다. 이동측정의 경우 기준시간 동안 데이터를 수집하여 비트오류율을 계산하는 과정이 반복되고, 계산된 비트오류율은 기준시간 동안 이동한 구간의 수신상태를 나타낸다. Eureka-147에서 데이터 전송이 CIF 단위로 이루어지므로 기준시간을 해당 시간동안 수신되어야 하는 CIF 수로 환산하고, 이 결과를 다시 PRBS 그룹의 수로 환산한다. 측정과정에서 기준시간 동안 수신되어야 하는 PRBS 그룹의 수와 실제 수신된 PRBS 그룹의 수와의 차이는 채널환경의 악화로 수

신되지 못한 PRBS 그룹을 의미하며 여기에 포함된 PRBS 데이터들은 전부 비트오류로 간주된다. 버퍼할당은 수신 데이터용 버퍼와 기준 PRBS용 버퍼에 적용된다. 수신 데이터용 버퍼의 크기는 기준시간에서 환산된 PRBS 그룹의 수에 의해 결정되며, 기준 PRBS용 버퍼의 크기는 PRBS 그룹 중에서 순수 PRBS의 크기에 의해 결정된다. 기준 PRBS는 전처리 과정에서 미리 생성하여 측정과정에서 참조가 가능하도록 한다. 비트 카운트 테이블은 수신 데이터와 로컬에서 생성된 기준 데이터 사이의 비교 후 오류 비트 수를 계산하는 시간을 단축시키는데 사용된다. 비교는 수신된 데이터와 기준 데이터의 바이트 단위 XOR 연산으로 이루어지며, 결과에 포함된 1의 수는 수신된 데이터에 포함된 오류 비트수를 의미한다. 연산의 시간 단축을 위하여 결과로 가능한 값들을 인덱스로 하고, 여기에 포함된 1의 수를 반환값으로 하는 테이블을 생성한다.

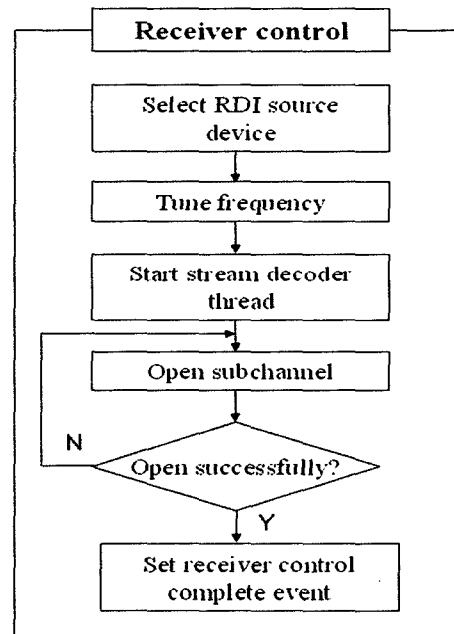


그림 3. 수신 제어부 흐름도
Fig. 3. Flow chart of reception control part

그림 3은 수신 제어부의 흐름도이다. 수신 제어부의 역할은 PRBS를 수신할 수 있도록 수신기를 제어하는 것이다. 이 과정은 RDI(Receiver Data Interface)^[5] 소스를 선택하는 것으로 시작된다. RDI 소스는 DAB 수신기 채널 디코더의 출력 비트스트림이 된다. RDI 소스 선택이 끝나면

PRBS를 전송하는 주파수로 튜닝을 한다. 튜닝이 완료되면 스트림 모드로 전송되는 서브채널들을 수신할 수 있도록 스트림 디코더 스테드를 시작한다. 스트림 디코더 스테드가 시작되면 PRBS가 포함된 서브채널과 접속을 시도한다. 이 과정은 실제 접속이 이루어질 때까지 계속하여 반복된다. 접속이 완료되면 수신 제어 완료 이벤트를 발생시켜 데이터 입력부가 실행될 수 있도록 한다. 전계강도가 약한 지역에서 측정을 시작할 시에는 일정 수준의 전계강도가 확보되는 지역으로 이동하기 전까지 수신 제어가 완료되지 않을 수 있다. 이 과정 동안은 주파수 튜닝 자체가 불가능하므로 PRBS를 수신할 수는 없어 비트오류율을 측정할 수 없지만 (BER = N/A), 이동측정 시스템의 다른 측정 요소인 전계강도와 GPS 좌표의 측정은 지속되어야 한다. 따라서 수신 제어부는 PRBS가 정상 수신될 때까지 지속되는 스테드로 구현한다. 수신기 제어명령은 DCSR (DAB Command Set for Receivers)^[6]에 따르며, 본 비트오류율 측정 시스템에는 DCSR을 이용할 수 있도록 제공되는 상용 API (Application Programming Interface)를 이용한다.

전처리와 수신 제어가 완료되면 비트오류율 측정을 시작한다. 비트오류율의 측정은 데이터 입력부와 비트오류율 측정부에서 이루어진다. 데이터 입력부에서는 수신 데이터를 버퍼에 저장하고, 비트오류율 측정부에서는 저장된 데이터를 이용하여 비트오류율을 측정한다. 이 두 가지 일은 동시에 수행되어야 하므로 스테드를 이용한다.

그림 4는 데이터 입력부에 대한 흐름도이다. 데이터 입력부는 우선 측정 종료 여부를 확인한다. 측정이 종료되었다면 데이터 입력부 스테드의 실행을 중단한다. 종료되지 않았다면 수신 제어부가 완료되었는지 확인한다. 수신 제어가 완료되어야 수신기에 데이터를 요청할 수 있으므로 완료될 때까지 기다린다. 수신 제어가 완료되면 수신 데이터용 버퍼에 쓰기가 가능한지 확인한다. 이는 비트오류율 측정부가 수신 데이터용 버퍼를 읽는 동안 버퍼를 참조하는 것을 방지하기 위한 것이다. 쓰기가 가능하지 않으면 계속 기다리고, 가능하면 수신 데이터용 버퍼 읽기를 불가능하게 하여 데이터 입력부에서 버퍼에 데이터를 쓰는 동안 비트오류율 측정부에서 버퍼를 읽는 것을 방지한다. 이어지는 동기화 과정에서는 수신 데이터를 버퍼에 저장하기 앞서 비트오류율 측정을 위한 동기화가 되었는지 확인한다. 동기가 어긋난 데이터의 비트오류율을 측정하는 것은 무의미하므로 버퍼에 저장하기 전의 동기화는 중요하다. 만일 동기가 어긋

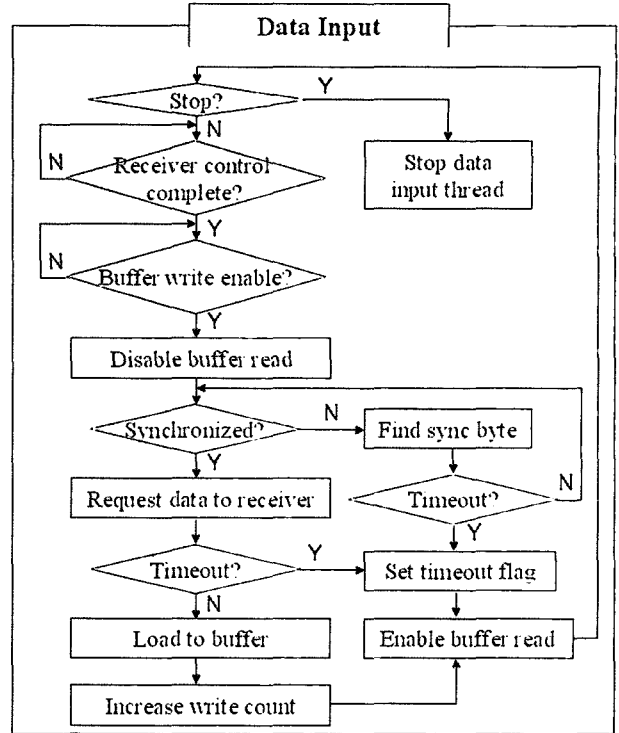


그림 4. 데이터 입력부 흐름도
Fig. 4. Flow chart of data input part

난 상태라면 수신 데이터에서 동기 패턴인 FF FE FD FC 를 찾는다. 이때 전계강도가 미약하여 수신기의 응답이 20 초 이상 없다면 타임아웃 상태가 된다. 동기 패턴을 찾으면 수신기에 데이터 전송을 요청한다. 요청할 데이터의 크기는 PRBS 그룹의 크기와 동일하다. 요청한 데이터를 정상적으로 전송받았다면 버퍼에 저장하고 쓰기 카운트를 1 증가시킨다. 쓰기 카운트는 기준시간 동안 수신된 PRBS 그룹의 수이며, 비트오류율 측정부에서 오류비트들 수의 초기값을 결정하는데 사용된다. 쓰기 카운트 증가 후에는 버퍼 읽기를 가능하게 하여 비트오류율 측정부에서 수신 버퍼 참조가 가능하게 한다. 만일 수신기에 PRBS 그룹 전송을 요청하였는데도 20초 이상 아무런 응답이 없다면 타임아웃 상태가 된다. 타임아웃이 발생하면 타임아웃 플래그를 설정하고, 버퍼 읽기를 가능하게 비트오류율 측정부에 주도권을 넘겨준다. 비트오류율 측정부가 비트오류율을 계산하는 시간동안 수신된 데이터는 상용 API가 제공하는 버퍼에 저장된다.

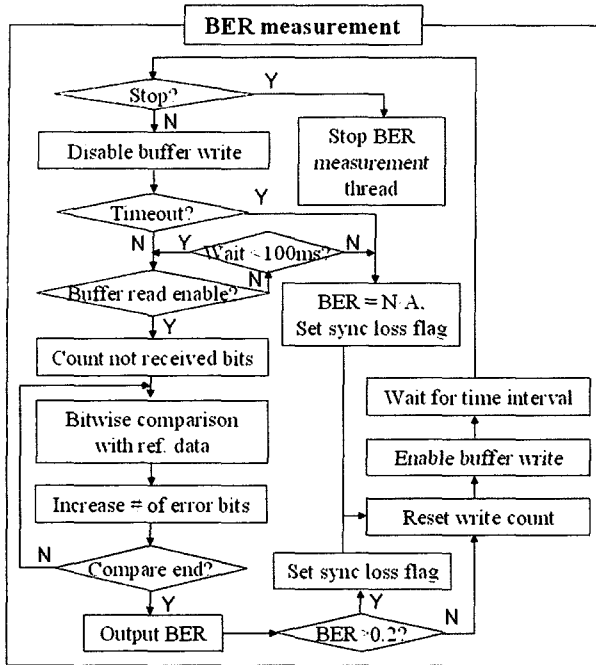


그림 5. 비트오류율 측정부 흐름도
Fig. 5. Flow chart of BER measurement part

그림 5는 비트오류율 측정부의 흐름도이다. 비트오류율 측정부는 데이터 입력부에서 저장한 데이터를 이용하여 비트오류율을 계산한다. 실행에 앞서 측정 종료 여부를 확인하여 종료되었다면 비트오류율 측정부의 실행을 중단한다. 종료되지 않았다면 버퍼 쓰기를 불가능하게 하여 비트오류율을 계산하는 동안 데이터 입력부가 버퍼에 쓰는 것을 방지한다. 비트오류율 측정 결과는 타임아웃인 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어지고, 타임아웃이 아닌 경우는 버퍼 읽기가 가능한지 아닌지에 따라 나누어진다. 타임아웃인 경우는 비트오류율 계산이 불가능하므로 BER = N/A로 하고, 동기 상실 플래그를 설정하여 데이터 입력부가 동기화 과정부터 진행하도록 한다. 타임아웃이 아닌 경우는 버퍼 읽기가 가능한지를 확인한다. 버퍼 읽기가 가능한지는 데이터 입력부가 정상적으로 진행되었는지에 의해 결정된다. 버퍼 읽기가 불가능한 경우 중에는 데이터 입력부가 정상적으로 수행되고 있지만 완료되지 않은 경우도 있으므로 100ms를 기다리면서 계속 확인한다. 100ms가 경과한 후에도 버퍼 읽기가 불가능하다면 타임아웃 직전의 20초에 해당하여 수신기가 데이터 입력부에서 요청한 데이터를 제공하지 못하고 있는 상태이거나, 동기화가 이루어지지 않아 계속 동기 패

턴을 찾고 있는 경우이다. 두 경우 모두 비트오류율을 측정하는 것이 무의미하므로 BER = N/A로 하고, 동기 상실 플래그를 설정한다. 버퍼 읽기가 가능하다면 수신 버퍼를 참조하여 비트오류율 측정을 시작한다. 오류비트 수의 초기값은 기준시간 동안 수신되지 못한 PRBS 그룹의 수에 의하여 결정되는데, 이는 수신되어야 하는 PRBS 그룹의 수와 실제로 수신된 PRBS 그룹의 수와의 차이이다. 실제로 수신된 PRBS 그룹의 수는 쓰기 카운트 값과 같다. 오류비트 수 초기화 이후에는 로컬로 생성된 기준 PRBS와 수신된 PRBS를 XOR연산으로 비교하여 오류비트들을 카운트한다. 이 계산 결과를 수신되어야 했던 PRBS의 총 비트 수로 나누어 비트오류율을 계산한다. ITU-T O.150에 의하여 계산된 비트오류율이 0.2보다 크거나 같으면 동기를 잃어버린 것으로 간주하고^[7], 동기 상실 플래그를 설정한다. 기준시간 동안 수신된 데이터들에 대한 비트오류율 측정이 완료되면 쓰기 카운트를 0으로 초기화하고, 버퍼 쓰기를 가능하게 하여 데이터 입력부가 실행될 수 있도록 한다. 마지막으로 데이터 입력부에 실행을 넘겨준 상태로 기준시간 동안 기다린다. 데이터 입력부는 이 시간 동안 데이터를 수집하고, 기준시간 경과 후에 비트오류율 측정부는 다시 측정을 시작한다.

III. 통합 측정 시스템 구현

이동 측정 항목에는 비트오류율, 전계강도, GPS 경위도 좌표가 있다. 그림 6은 측정 시스템의 구성도이다. 측정은 이동환경에서 이루어지기 때문에 차량을 이용한 이동 측정 시스템을 구현하였으며, 측정 시스템은 비트오류율 측정 시

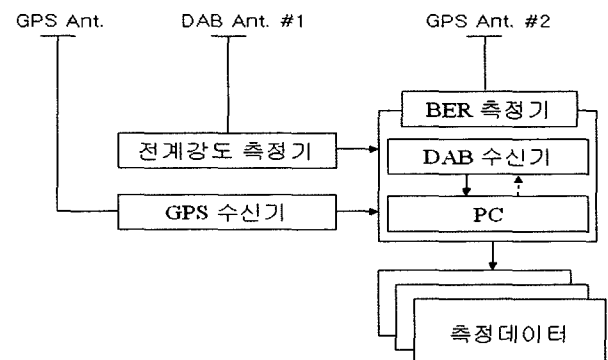


그림 6 통합 이동 측정 시스템 구성도
Fig. 6. Organization of integrated mobile measurement system

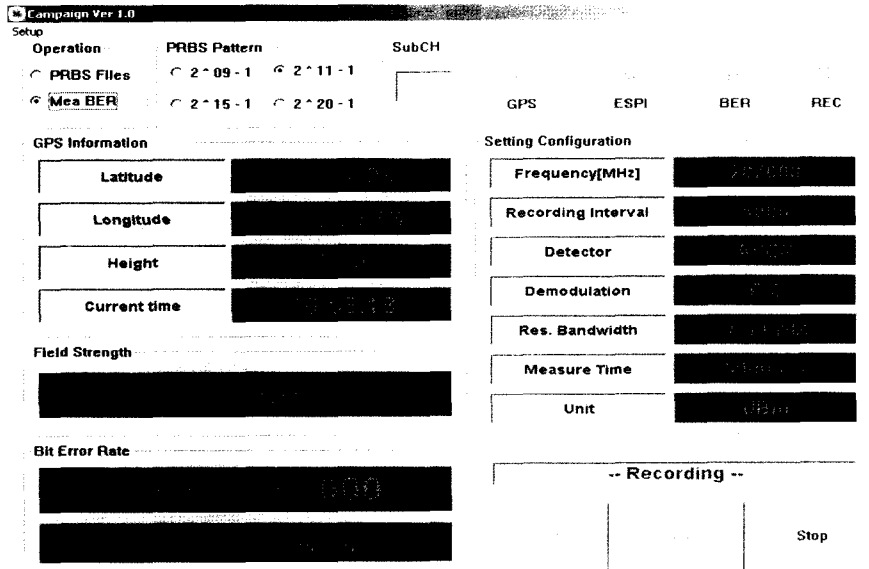


그림 7. 통합 이동 측정 시스템 메인화면
 Fig. 7. Main display of integrated mobile measurement system

스텝, 전계강도 측정 시스템, GPS 측정 시스템으로 구성된다. 측정 데이터를 분석하여 방송구역을 산정하기 위해서는 측정 항목들의 통합 생성이 필요하며, 이를 위해 비트오류

율 측정 시스템, 전계강도 측정 시스템, GPS 측정 시스템을 개발하고, 시스템들 사이의 인터페이스를 구현하여 통합 측정 시스템을 완성하였다. 통합 측정 시스템은 비트오류율

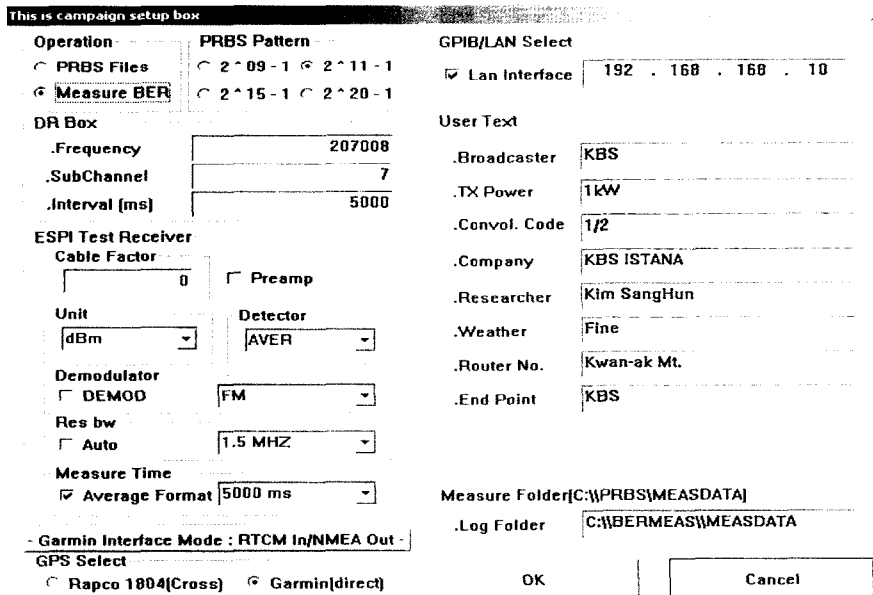


그림 8. 통합 이동 측정 시스템 환경설정 화면
 Fig. 8. Display for configuration setting of integrated mobile measurement system

측정 시스템이 메인이 되어 전계강도 측정 시스템과 GPS 측정 시스템을 제어한다.

그림 7은 통합 측정 시스템의 메인화면을, 그림 8은 환경 설정 화면을 나타낸다. 메인화면은 각 시스템의 측정결과를 수집하여 측정상태 및 환경정보와 함께 보여주는 역할을 수행한다. 환경설정에서는 비트오류율, 전계강도, GPS 좌표 측정을 위한 기준이 되는 조건을 설정한다. 비트오류율 측정의 중요한 설정요소로는 PRBS 패턴, 수신주파수, 서브채널, 기준시간 설정이 있고, 전계강도의 경우에는 측정단위, 측정모드, 측정시간, 측정결과 형식, 인터페이스 설정이 있으며, GPS의 경우에는 GPS 종류 선택이 있다. 추가적인 환경설정으로 로그파일 작성을 위한 부가 정보가 있다.

비트오류율 측정시스템은 DAB 수신기와 PC로 구성되어 있는데, 수신기에서는 비트오류율 측정 시스템의 제어에 따라 COFDM 신호 복조와 데이터 수신, PC에서는 본 논문에서 제안된 방법에 따라 비트오류율 측정을 담당한다. 수신기는 Terratec사의 DR-Box1을 사용하였으며, PC와의 연결에는 USB 인터페이스를 사용한다. 전계강도 측정에는 Rohde & Schwarz사의 ESPI3를 사용하였다. ESPI3와 비트오류율 측정 시스템과의 통신에는 IEEE 488.2 규격의 GPIB (General Purpose Interface Bus)와 TCP/IP 모두 사용 가능하다. 전계강도 측정을 시작하기에 앞서 전계강도 측정 시스템은 환경설정 화면에서 사용자가 설정해준 정보에 따라 ESPI3를 초기화한다. 초기화 과정이 정상적으로 종료되면 전계강도 측정을 위한 스펙트럼이 시작된다. 전계강도 측정 스펙트럼은 설정된 전계강도 측정시간 마다 Poll 방식으로 ESPI3에 전계강도 데이터를 요청한다. ESPI3로부터 반환된 전계강도 데이터는 버퍼에 저장되고, 비트오류율 측정 시스템의 요청이 있으면 현재 비트오류율 측정 기준 시간 내에서 수신된 전계강도들을 평균한 값을 반환한다. 이동 중 측정지점의 경위도 좌표를 구하기 위한 GPS 수신

기는 Rapco 1804와 Garmin을 선택하여 사용하며, 비트오류율 측정 시스템과의 인터페이스에는 RS-232를 사용한다. GPS 좌표를 수신하기에 앞서 GPS 측정 시스템은 시리얼 포트를 초기화 한다. 초기화가 완료되면 GPS 수신 스펙트럼이 시작된다. GPS 수신 스펙트럼은 시리얼 포트에 이벤트가 발생할 때마다 동작하여 발생한 이벤트가 데이터 수신과 관련된 것이면 수신된 데이터를 버퍼에 저장한다. 버퍼에 저장된 데이터는 GPS 좌표가 수신될 때마다 최근 데이터로 갱신되고, 비트오류율 측정 시스템의 요청이 있으면 버퍼에 저장된 좌표를 반환한다.

측정결과를 저장하는 로그파일은 헤더정보, 측정 데이터, 종료정보로 구성된다. 헤더정보는 방송국명, 송신전력, 에러보호율, 측정차량, 측정자, 날씨, 측정경로, 측정시작 시간, 측정시작 위치로 구성되고, 측정 데이터는 시간, 위도, 경도, 고도, 기준시간 평균전계강도, 기준시간 내 시간별 전계강도, 전계강도 단위, 비트오류율로 구성된다. 종료정보는 측정 종료시간, 측정종료 위치, 측정종료 장소로 구성된다.

IV. 실험 결과

제안된 알고리즘을 이용하여 개발된 비트오류율 측정 시스템을 실험을 통하여 검증하고, 통합 이동 측정 시스템을 이용하여 실제로 필드테스트를 수행한 결과를 제시하였다.

1. 비트오류율 측정 시스템 검증

비트오류율 측정 시스템 검증을 위한 전체적인 실험 구성은 그림 9와 같다.

비트오류율 측정을 위하여 PRBS를 생성한다. 실험에는 ITU-T O.150 기준에 의하여 $2^{11}-1$ 비트의 길이를 갖는 페

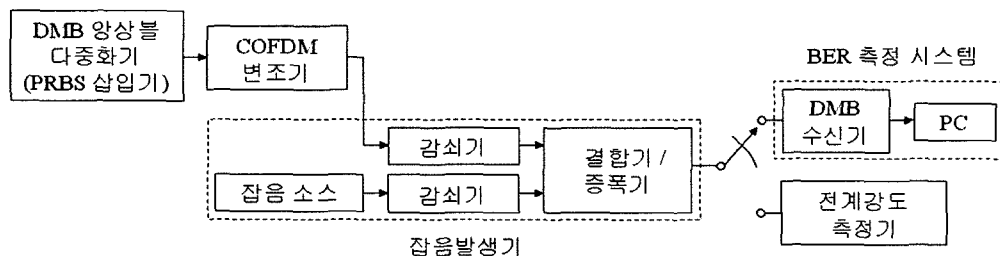


그림 9. 비트오류율 측정 시스템 검증 실험 구성도
 Fig. 9. Organization of experiment for verifying BER measurement system

턴을 사용하였다. 생성된 PRBS는 제안된 PRBS 그룹 형태로 변환되어 파일에 저장된다. 파일은 T-DMB 다중화기에 입력되어 설정된 다중화 환경 정보에 따라 반복 전송된다. 다중화기는 VDL사의 D-Vaudax를 사용하였으며, 본 실험을 위한 다중화 환경정보는 데이터 스트림 모드, EEP-3A(1/2), 384kbps가 사용되었다. 다중화기의 출력은 ETI-NA (Ensemble Transport Interface-Network Adaptation)⁸ 형태로 COFDM 변조기의 입력에 부가되어 설정된 주파수, DAB 모드, 송신 출력에 따라 송출된다. COFDM 변조기로는 UBS사의 DAB Modulator 3000을 사용하였다. 변조기의 출력은 잡음발생기의 입력으로 부가된다. 잡음발생기에 입력된 신호는 잡음발생기 내부의 신호 감쇠기에 의하여 적정한 수준으로 감쇠되고, 생성된 잡음 역시 잡음 감쇠기에 의하여 적정한 수준으로 감쇠된다. 감쇠된 신호와 잡음은 잡음발생기 내부의 RF 결합기와 증폭기에 의하여 결합 및 증폭된다. 잡음발생기로는 Noise Com사의 UFX 7109를 사용하였다. 전계강도 측정기는 잡음발생기의 출력에 연결되어 신호와 잡음의 크기를 측정한다. 측정된 신호와 잡음의 전계강도에 따라 감쇠 수준을 조절하여 비트오류를 측정에 적합한 C/N비를 얻어낸다. 전계강도 측정기로는 Rohde&Schwarz의 ESPI3를 사용하였다. C/N비 조절이 완료되면 잡음발생기의 출력을 비트오류율 측정 시스템에 부가하여

측정을 시작한다.

C/N값의 변화에 따른 비트오류율 측정결과는 표 2와 같다. 표 2의 BER(Reference)는 정보통신부에서 고시한 무선설비 기술기준⁹에서 송신장치의 기술적 조건에 제시된 부호율이 1/2일 때의 이론상의 비트오류율을 의미한다.

그림 10은 표 2의 결과를 그래프로 도시한 것이다. 무선설비 기술기준에 의하면 측정 비트오류율과 이론상의 비트

표 2. 기준 비트오류율과 측정된 비트오류율
Table 2. Reference and measured BER

C/N	Reference BER	Measured BER
5.0 dB	$1 \cdot 10^2$	$1.316 \cdot 10^2$
5.4 dB	$3 \cdot 10^3$	$5.031 \cdot 10^3$
5.8 dB	$1 \cdot 10^3$	$2.171 \cdot 10^3$
6.2 dB	$3 \cdot 10^4$	$4.572 \cdot 10^4$
6.6 dB	$1 \cdot 10^4$	$2.800 \cdot 10^4$
6.9 dB	$3 \cdot 10^5$	$7.161 \cdot 10^5$
7.2 dB	$1 \cdot 10^5$	$2.665 \cdot 10^5$
7.5 dB	$3 \cdot 10^6$	$1.028 \cdot 10^5$
7.8 dB	$1 \cdot 10^6$	$2.788 \cdot 10^6$

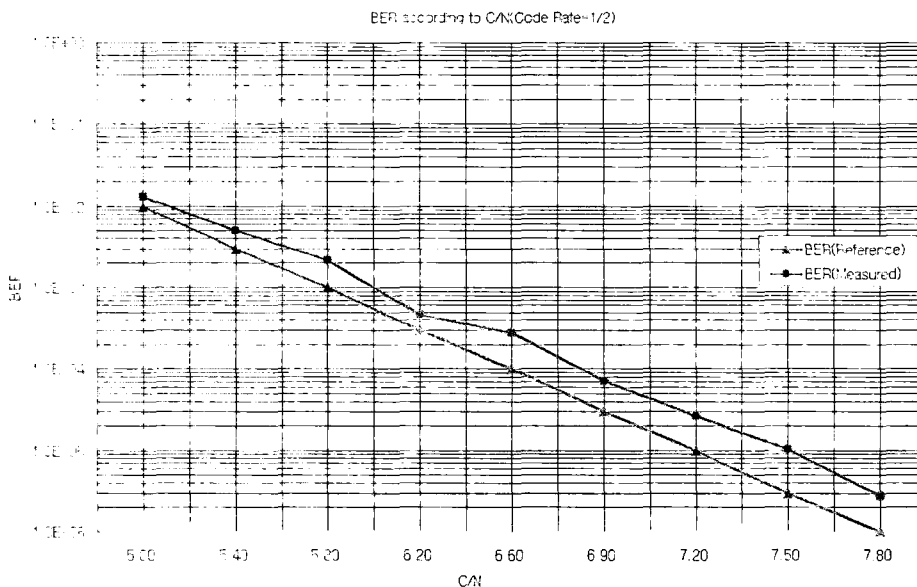


그림 10. 기준 비트오류율과 측정된 비트오류율 비교
Fig. 10. Graphical comparison between reference and measured BER

오류율이 동일하다고 가정할 때 C/N비의 편차는 1dB 이내이다. 그림 10에 의하면 C/N비 편차의 최대값은 3×10^{-4} 의 비트오류율에서 약 0.4dB 정도로 무선설비 기술기준의 조건을 만족하였다. 오디오 서비스의 기준 비트 오류율인 10^{-4} 에서는 약 0.23dB 정도의 편차를 보였으며, 채널부호화의 영향을 고려하지 않았을 때 비디오 서비스의 기준 비트오류율인 2×10^{-4} 에서는 약 0.32dB 정도의 편차를 보였다. 실험결과 개발된 비트오류율 측정 시스템이 무선설비 기술기준에 제시된 신호 대 잡음비에 따른 비트오류율에 관한 조건을 만족함으로써 T-DMB에서의 비트오류율 측정에 적합함을 확인할 수 있었다.

2. 통합 이동 측정 시스템을 이용한 실험용 필드테스트

통합 이동 측정 시스템을 이용하여 필드테스트를 수행하였다. 다중화기는 VDL사의 D-Vaudax를 사용하였으며, PRBS 패턴과 다중화 환경은 비트오류율 측정 시스템 검증

실험과 동일하다. 필드테스트는 송출부, 송신부, 수신 및 이동측정부로 구성되어 수행된다. 송출부는 KBS 방송기술연구팀에 위치하여 PRBS 생성과 다중화를 수행하고, 다중화기의 출력은 마이크로웨이브 링크를 이용하여 관악산에 위치한 송신부로 전송된다. 송신부는 전송프레임을 구성하여 채널부호화를 수행하고 207.008MHz의 VHF 대역에 1kw의 출력으로 RF신호를 발사한다. 필드테스트에 사용하는 송신기는 Rohde&Schwarz사의 NA6100E이다. 수신 및 이동측정부는 차량에 탑재한 통합 이동 측정 시스템을 이용하여 계획된 경로에 대하여 이동측정을 수행한다.

이동측정은 KBS 방송기술연구팀과 인천국제 공항 및 영종도 일대의 경로에서 수행되었다. 그림 11은 전계강도에 따른 비트오류율 특성을 나타낸다. 수신불능 상태인 BER = N/A는 0.5로, 완벽한 수신 상태인 BER = 0은 10^{-8} 으로 도시하였다. 그림을 보면 일정 전계강도 이하에서 비트오류율 특성이 급격히 나빠짐을 확인할 수 있다. 이동측정 결과를 KBS 방송기술연구팀에서 개발한 T-DMB 평가 프로그

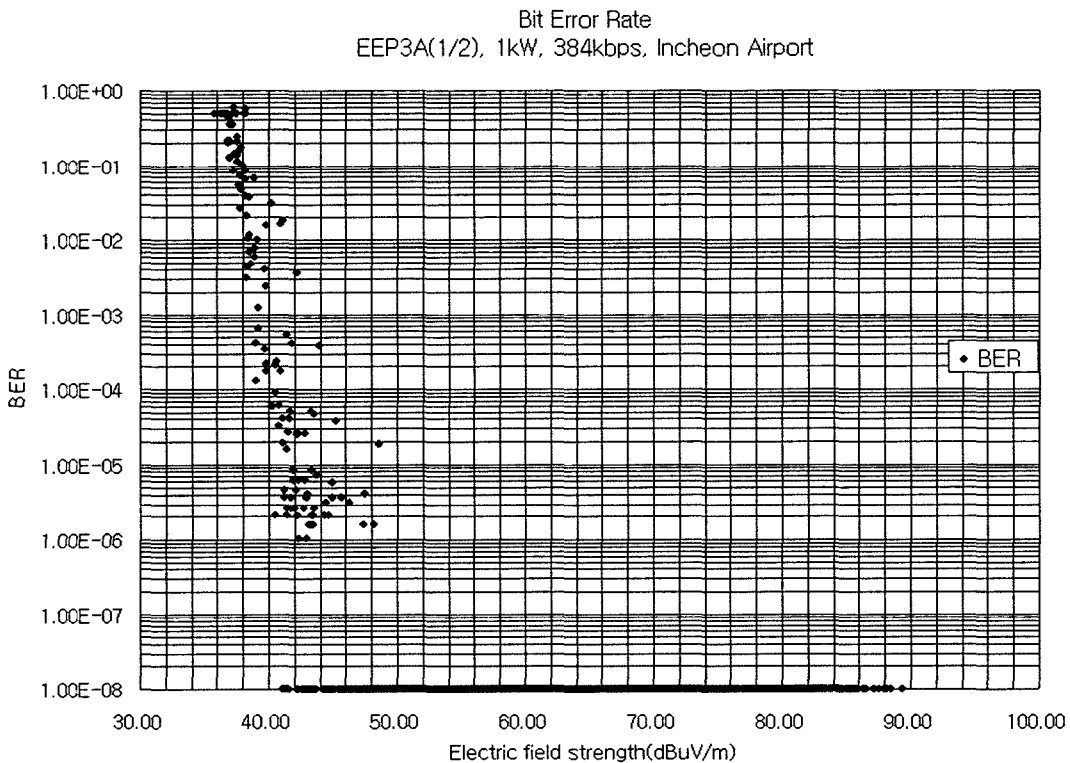


그림 11. 전계강도에 따른 비트오류율 특성
Fig. 11. Characteristic of BER depending on electric field intensity



그림 12. 비트오류율 분석 결과
 Fig. 12. Analysis results of BER

랩을 이용하여 지도상에 도시하였다. 그림 12는 이동경로상의 비트오류율 분포를 10^{-3} 과 10^{-1} 을 기준으로 지도상에 도시한 결과이다. 그림에서 비트오류율 10^{-1} 이하의 수신 양

호 구간을 의미하고, 10^{-3} 이상은 수신 불량 구간을 의미한다. 그림 13은 전계강도 분포를 지도상에 도시한 것이다. 결과는 전계강도 39, 41dBuV/m를 기준으로 도시하였다.



그림 13. 전계강도 분석 결과
 Fig. 13. Analysis results of electric field intensity

도시 기준이 된 전계강도는 그림 11에서 비트오류율과의 상관관계를 고려하여 유추한 값이다. 측정결과 개발된 통합 이동 측정 시스템은 이동지점의 주변 지형에 따른 전계강도 변화와 비트오류율 변화를 충실히 반영하였다.

V. 결 론

본 논문은 T-DMB를 위한 통합 이동 측정 시스템 개발에 관한 것이다. 이를 위하여 통합 이동 측정 시스템에 적합한 비트오류율 측정을 위한 데이터 구조와 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 스트림모드 전송에 TS 패킷만을 사용할 수 있는 송출 시스템에서도 PRBS 전송이 가능하고, 이동측정의 다른 요소인 전계강도 측정부와 GPS 수신부와의 동기화와 인터페이스에 적합하다.

측정은 이동환경에서 이루어지기 때문에 차량을 이용한 이동 측정 시스템을 구현하였으며, 측정 시스템은 비트오류율 측정 시스템, 전계강도 측정 시스템, GPS 측정 시스템으로 구성된다. 측정 데이터를 분석하여 방송구역을 산정하기 위해서는 측정 항목들의 통합 생성이 필요하며, 이를 위해 비트오류율 측정 시스템, 전계강도 측정 시스템, GPS 측정 시스템을 개발하고, 시스템들 사이의 인터페이스를 구현하여 통합 측정 시스템을 완성하였다.

실험을 통하여 제안된 비트오류율 측정 시스템을 검증하였고, 그 결과는 무선설비 기술기준에 명시된 신호 대 잡음비에 따른 비트오류율 조건을 만족하였다. 개발된 통

합 측정 시스템을 이용한 필드테스트를 수행한 결과도 제시하였다.

개발된 통합 이동 측정 시스템은 '지상파 DMB 동영상 실험방송' 과제에 사용되었으며, 측정결과는 T-DMB 방송망 구축을 위한 기본 자료로 사용될 예정이다.

참 고 문 헌

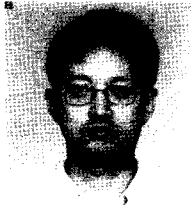
- [1] "Radio Broadcasting Systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," ETSI EN 300 401 V1.3.3, May 2001.
- [2] "초단파 디지털라디오방송 비디오 송수신 정합 표준," TTASK.KO-07.0026, Aug. 2004.
- [3] R. Schamm, "Pseudo channel BER - an objective quantity for assessing DAB coverage," EBU Technical Review, pp. 23-30, Winter 1997.
- [4] 김상훈 외, "지상파 DMB를 위한 효율적인 비트오류율 측정시스템," 방송공학회논문지 8권 3호, pp. 250-258, Sep. 2003.
- [5] "Digital audio broadcasting system - Specification of the receiver data interface(RDI)," EN 50255, Dec. 1997.
- [6] "Digital audio broadcasting system - Specification of the DAB command set for receiver (DCSR)," EN 50320, Nov. 2000.
- [7] "General requirement for instrumentation for performance measurements on digital transmission equipment," ITU-T O.150, May 1996.
- [8] "Digital Audio Broadcasting (DAB): Distribution interfaces: Ensemble Transport Interface (ETI)," ETSI ETS 300 799, Sep. 1997.
- [9] "방송 표준방식 및 방송업무용 무선설비의 기술기준," 정보통신부 고시 제2003-33호, Jun. 2003.

저 자 소 개



김 상 훈

- 1983년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1986년 : University of Washington 전기공학과 공학석사
- 1992년 : University of Washington 전기공학과 공학박사
- 1992년~1998년 : 삼성종합기술원 수석연구원
- 1993년 : Georgetown University 의과대학 객원연구원
- 1996년 : University of Rochester 전기공학과 객원연구원
- 1998년~현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 부교수
- 주관심분야 : 비디오호처리, 영상통신, 입체영상처리, MPEG-21



임 중 곤

- 1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년~현재 : KBS 방송기술연구팀
- 2000년~2001년 : NHK 방송기술연구소 초빙연구 (ISDB-T)
- 주관심분야 : DMB 다중화, OFDM 전송, DMB 표준화



채 영 석

- 1989년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1991년 8월~현재 : KBS 방송기술연구팀
- 주관심분야 : DMB, 데이터방송, 자동제어



김 만 식

- 1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1981년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
- 현 KBS 방송기술연구팀
- 주관심분야 : 디지털 방송(DTV, DMB), 방송제작 기술