

논문-02-07-3-07

국내 지상파 DTV 비트스트림 측정 및 분석

권태훈*, 목하균*, 서영우*

Measurement and Analysis of Terrestrial DTV Bitstreams in Korea

Tae-Hoon Kwon*, Ha-Kyun Mok* and Young-Woo Suh*

요 약

디지털 방송 시스템 구축에 있어서 시스템 출력단의 기저대역 신호와 RF 신호가 포함하고 있는 MPEG-2 TS(Transport stream) 영역의 데이터를 분석하는 것은 시스템 경로상의 오류 유무와 그 위치를 파악하거나 유추하는 데 중요한 자료를 제공한다. 송출되는 스트림은 RF(Radio frequency) 영역과 TS 영역에서 각각 여러 종류의 오류를 포함할 수 있으며, 이러한 오류를 정정하는 것은 셋톱 박스와의 정합, 안정된 수신성능 보장, 그리고 시청자 편의 등의 측면에서 매우 중요하다.

본 논문에서는 2001년부터 시작되어 현재 관악산에서 송출되고 있는 국내 지상파 디지털 TV(DTV, ATSC^[1-2]) 5개 채널중 지상파 방송 3사의 채널을 선택하여 이 채널의 MPEG TS 스트림상에서의 오류, PSIP(Program and System Information Protocol^[3])상에서의 오류, RF 영역에서의 오류 등 DTV 시스템에서 발생 가능한 오류들을 2001년 12월부터 2달 동안 측정하고 분석하였으며, 미국에서 측정한 RF 및 TS 스트림의 측정 및 분석 결과와 비교하였다.

Abstract

It is very important to find errors in broadcasted streams because it can help us to find where errors occur. Broadcasted streams may have errors in the RF(radio frequency) or baseband domain. It is very important to fix these errors because it can help to stabilize set-top boxes, provide stable receiving, and give comfortable environments to watch TV.

Since 2001, major terrestrial broadcasters in Korea started the DTV broadcasting in Kwan-Ak over Seoul area. In this paper, we provide some analysis on errors in MPEG-based TS streams, PSIP packets, and RF area which may occur in DTV systems and compare this result with that of USA.

I. 서 론

방송 시스템 구축에 있어서 구축된 시스템의 결과물로 나오는 최종 RF 신호와 기저대역 신호가 포함하고 있는 TS 영역의 데이터를 분석하는 것은 시스템 경로상의 오류 유무와 그 위치를 파악하거나 유추하는 데 중요한 자료를 제공하며, 이러한 분석 결과는 결과적으로 시청자들이 오류 없는 방송을 보다 편리하게 수신 및 시청하는데 도움을 줄

수 있다. 이를 위하여 안테나에서 입력된 RF 신호를 KBS에서 자체 개발한 Monitoring System과 Triveni MT-20으로 동시 입력하여 신호 레벨 및 오류 유무, 데이터 분석을 수행했고 국내 업체의 셋톱박스를 사용하여 RF 신호를 TS 신호로 변환한 뒤 이 TS 신호를 다시 MTS-215 및 HP E6300A, KBS Monitoring System, Adherent Stream Station 등의 TS 분석장비를 사용하여 RF 신호에서 측정 한 동일 변수에 대하여 다시 실험하였다. 이러한 분석 결과를 줄 는 국내 DTV 방송상의 오류와 그 원인을 유추하는데 도움수 있으며, 결과적으로 시청자들이 오류없는 방송을 수신하여 시청하도록 할 수 있다.

* 한국방송기술연구소
Korean Broadcasting System, Technical Research Institute

II. RF 및 TS 신호 측정 방법

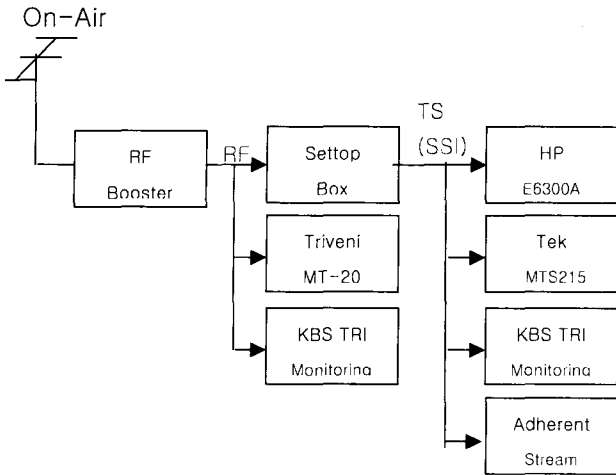


그림 1. RF 및 TS 신호 측정 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram for RF and TS signal measurement system

본 실험을 위한 시스템 구성은 그림 1과 같다. RF 입력을 받을 수 있는 장비와 TS 입력을 받는 장비를 각각 설치하고 동시에 측정을 시작하여 동일 시간동안 측정 한 후 각 장비마다 발생된 오류를 기록하여 비교 분석하였다. 실제 분석한 결과 TS 입력을 받아서 측정한 결과와 RF 입력을 받아서 측정한 결과가 통계적으로 크게 차이가 나지 않는다고 판단되어 그림 2와 그림 3 및 표 2, 표 3, 표 4에서는 RF 입력을 받아 측정한 결과만을 기록하였다.

안테나와 실험장비간 거리가 멀어 RF 증폭기를 사용하였으며 모든 실험장비를 동시에 작동시켜 실험을 하는 것이 옳은 방법이나, 이 경우 SNR이 많이 부족해지므로 RF 입력장비와 셋톱박스를 통한 TS 입력 장비의 두 종류로 장비를 나누어 따로따로 측정하였다. 셋톱박스의 TS 출력의 신뢰도 검증을 위하여 동일 방송국에서 나온 데이터를 RF 형태와 TS 형태로 같은 실험장비(KBS Monitoring System)에 입력하여 두 결과 값을 비교하여 실험하였다. RF에서 TS를 얻기 위해 사용한 셋톱박스는 복조 이외의 여타 다른 신호처리를 하지 않는 장비를 사용하였다.

또한 이러한 오류들이 실제 셋톱박스를 이용하여 시청할 때 어떠한 결과를 보이는지 관찰하기 위하여 총 5개의 셋톱박스를 사용하여 화면과 음향의 상태를 관찰하였다.

III. RF 및 TS 신호 측정 항목

측정 항목은 크게 RF 영역의 측정 항목과 TS 영역의 측정 항목으로 나눌 수 있는데, 측정 항목들은 다음 표 1과 같다.

표 1. RF 및 TS 신호 측정 항목
Table 1. RF and TS signal measurement parameters

측정 항목	의 미
SNR(Signal to Noise Ratio)	신호 대 잡음비
TS_Sync error	TS의 동기신호 오류
Sync_Byte error	동기신호를 포함하고 있는 byte의 오류
PAT error	PAT를 포함하고있는 패킷의 오류
Continuity count error	패킷 손실 오류
PMT error	PMT를 포함하고있는 패킷의 오류
Video buffer overflow	셋톱박스 내 비디오버퍼의 오버플로우
Packet time error	허용된 최대 패킷 도착시간간격을 넘음
PCR error	PCR 지터, PCR의 흔들림
PCR inaccuracy	PCR 주파수오프셋
Audio buffer overflow	셋톱박스 나 오디오버퍼의 오버플로우
Packet CRC error	패킷 내부 내용의 손상
GOP pattern	GOP 패턴의 손상유무
Packet timing error(PSIP)	허용된 최대 패킷 도착시간간격을 넘음
PSIP table missing	PSIP에서 규정된 테이블을 삽입하지 않음

SNR(Signal to Noise Ratio)은 신호 대 잡음비를 의미하며 ATSC에서는 수신을 보장하기 위한 이론적인 최소 신호 대 잡음비를 15dB로 규정하고 있다.

Continuity counter는 동일 PID(Packet ID)를 갖는 패킷의 전송 순서를 표시한다. 따라서 continuity counter를 확인하면 전송로 상에서 패킷이 소실되었는가의 여부를 판단할 수 있다. 비슷한 변수로 패킷이 수신되었으나 패킷 내부의 일부 데이터가 손상되었을 경우가 있는데, 이러한 오류의 발생 여부는 패킷 내부의 CRC를 분석함으로써 알 수 있다.

영상 버퍼나 음성 버퍼가 오버플로우를 일으킬 경우 셋톱박스의 안정적인 동작을 보장할 수 없다. 셋톱박스의 설계 방법에 따라서 다양한 오류가 일어날 수 있으나 대개 영상 버퍼가 오버플로우 될 경우 화면이 멈추거나 끊기는 등의 오류가 일어날 수 있으며 음성 버퍼가 오버플로우 될 경우에는 음성이 끊기거나 잡음이 들릴 수 있다.

PCR(Program Clock Reference)은 인코더에서 보내주는 셋톱박스가 동작하는데 필요한 기준 클럭을 말한다. 이러한 PCR을 포함하고있는 패킷이 손실되거나 혹은 PCR 값이 일정하지 않게 타이밍이 흔들려서 들어간다면 역시 셋톱박스의 안정적인 동작을 보장할 수 없다. 대개 프레임이 손실

되거나 화면 멈춤, 혹은 화면 멈춤 후 빨리 감기는 영상 등의 오류가 생길 수 있으며, 이는 PCR 값이 셋톱박스 내에서 디코딩 및 영상재생의 시간 기준으로 삼는 PTS (Presentation Time Stamp), DTS(Decoding Time Stamp) 값이 PCR 값을 기준으로 생성되기 때문이다.

Packet timing이라 함은 동일패킷의 수신시간 간격을 가리킨다. MPEG TS의 시스템 패킷인 PAT(Program Association Table), PMT(Program Map Table) 등의 패킷이나 PSIP에서 요구하는 MGT(Master Guide Table) 등의 패킷은 효율적이고 편리한 시청을 위하여 패킷의 수신시간이 일정 시간을 넘어서지 않도록 표준에서 정의되어 있다. 이러한 최대 테이블간 수신시간 간격을 넘어서는 빈도를 조사하고 만약 최대 테이블간 도착 시간간격을 넘을 경우 평균 테이블간 수신시간 간격을 구한다. 각 패킷마다 표준에서 정의된 최대 테이블간 수신시간 간격은 각각 다르다.

PSIP table은 ATSC System에서 요구되는 기본 데이터를 저장하는 테이블이며 이러한 테이블중의 일부가 빠져 있을 경우에 가상채널 운용이나 EPG(Electronic Program Guide) 서비스, 혹은 여타 다른 형태의 시청자 편의를 위한 서비스가 제공될 수 없으며 셋톱박스의 내부 신호처리 방법에 따라 프로그램 시청이 불가능할 수도 있다.

IV. 측정 결과

각 지상파 방송사별로 각각 발생된 오류가 달랐으며, 그 오류 항목은 다음 표 2와 같다.

표 2. 각 방송사 별 발생 오류
Table 2. Errors of each broadcasting company

Error	방송사	A사	B사	C사	규격
PCR Jitter		± 100ns	± 450ns	± 450ns	± 500ns
Audio Buffer level overflow		Overflow	이상없음	Overflow	
Table전송주기 초과		MGT	MGT없음	MGT	150ms
GOP구조 흔들림		가끔 있음	발견못함	발견못함	

표 3. 각 방송사 별 주요 테이블 주기
Table 3. Table periods of each broadcasting company

	A사		C사		B사	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차
PAT주기	90ms	90ms	170ms	170ms	90ms	90ms
MGT주기	220ms	300ms	200ms	200ms	없음	없음
PMT주기	80ms	100ms	320ms	300ms	80ms	100ms

1. A사

그림 2와 같이 3개 방송사중 A사의 PCR jitter는 ± 100ns정도의 jitter error만이 발생하여 3개 지상파 방송사중 가장 안정적으로 동작하고 있다.

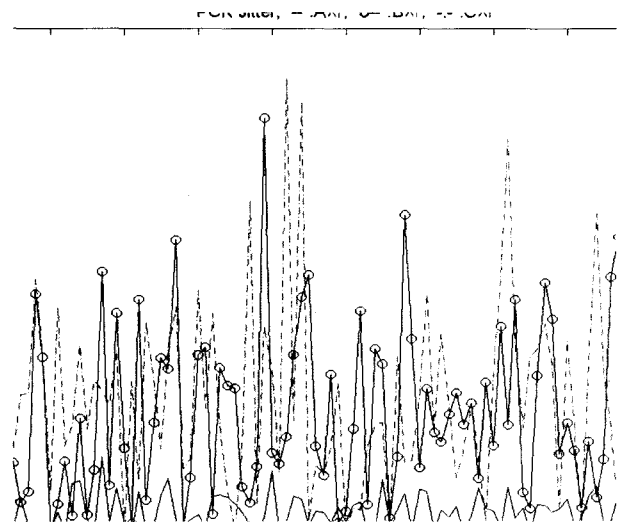


그림 2. 각 방송사별 PCR jitter
Fig. 2. PCR jitter of each broadcasting company

그림 3과 같이 3개 방송사중 A사의 PCR Frequency Offset 값은 최대 지터 ± 550Hz(Standard ± 810Hz)로 안정적으로 동작함이 확인되었다.

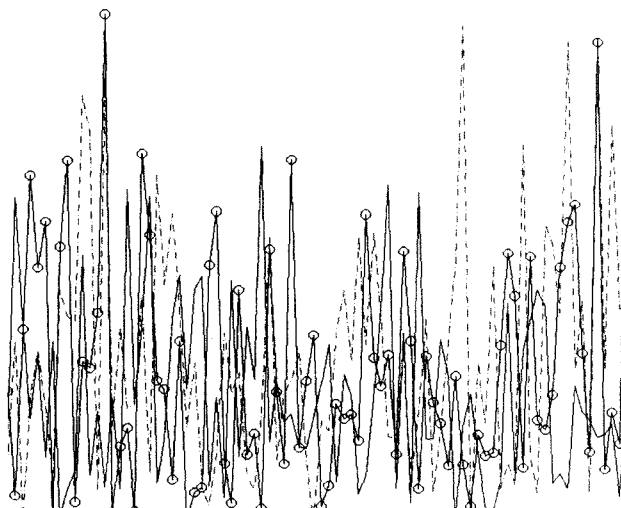


그림 3. 각 방송사 별 PCR Frequency offset
Fig. 3. PCR Frequency offset of each broadcasting company

음성 버퍼가 실험시간 동안에 계속 오버플로우되는 현상이 발견되었다. 실제 시판되는 거의 대부분의 셋톱박스들은 기준보다 영상 및 음성 버퍼를 여유있게 탑재하고 있어서 실제 시청시에 귀로 들리는 오류는 거의 발견되지 않았다. 다만 국내 S사의 구형 2세대 셋톱박스 및 일본 P사의 구형 셋톱박스에서 A사의 오디오를 정상적으로 디코딩하지 못하는 것으로 확인되었으며, 그 밖의 국내 S사의 신형 셋톱박스, 국내 T사의 가정용 및 전문가용 셋톱박스에서는 정상 동작하는 것이 확인되었다.

테이블 주기 측정 항목에서 MGT(Master Guide Table)의 주기가 표준보다 더 길게 방송되는 것이 관찰되었다. 이러한 테이블이 얼마나 자주 스트림 안에 포함되느냐는 사용자가 셋톱박스를 켜 후 화면이 몇 초 경과 후 나오느냐를 결정하는 중요한 요인이기도 한데, 일반적으로 MGT의 경우 150ms 이내마다 하나씩 포함되어 있어야 하나 지금은 약 200~250ms마다 하나씩 포함되고 있다. PAT의 경우 Table 주기가 관측 시간에 따라 불안정하였다. 또한 GOP(Group Of Picture)구조가 가끔씩 흔들리는 게 관찰되었다. A사에서 사용하고 있는 MPEG 인코더의 모드는 현재 픽처구조가 IBBPBBPBBPBBPBB로 동작하도록 설정되어져 있으나, KBS Monitoring 시스템을 이용하여 분석시 가끔씩 구조가 IBBPBBP에서 끝나거나 IPPP로 동작하는 등의 오류가 발견되었다. GOP가 흔들릴때의 디코딩 화면은 MTS-215를 사용하여 스트림을 분석해 본 결과 이상이 없는 것으로 관찰되었다.

화질 및 음질의 주관평가지 국내 T사의 전문가용 셋톱박스의 출력을 받아 PC용 모니터로 30분의 시간동안 관찰하였으며, 이 시간동안 눈에 띄이는 오류는 없었다.

2. B사

2시간동안 비디오 패킷 8개, 오디오 패킷 2개의 패킷 오류가 발견되었다. 테이블 주기의 경우 표준에서 계속적으로 벗어나는 형태의 오류는 없는걸로 판단되며 3개 지상파 방송사중 가장 안정적이다. PAT, PMT 등의 MPEG 기본 테이블과 MGT 이외의 PSIP 정보는 지원하지 않는다. PCR jitter 값이 최대 $\pm 450\text{ns}$ 로 A사보다 jitter 값이 더 크게 관측되었으나 표준에서 규정된 $\pm 500\text{ns}$ 를 초과하지는 않았다.

3. C사

RF 파워가 A사나 B사에 비해서 연구소로 들어오는 신

호의 S/N비가 2dB정도 낮게 관측되었다. 이는 송신안테나의 방향이 다르기 때문인 것으로 보여진다. 테이블 주기의 경우 PAT 및 MGT 테이블 도착 시간간격이 A사와 마찬가지로 표준보다 길게 관측되었다. PSIP 테이블의 경우 B사와는 다르게 아주 기본적인 PSIP정보는 서비스하지만 EIT(Event Information Table), ETT(Extended Text Table) 등의 프로그램 정보를 담은 테이블 및 프로그램 등급 정보를 담고있는 RRT(Rating Region Table) 등의 테이블은 서비스 되고 있지 않다. 기타 참고사항으로는 PCR 지터값 역시 최대 $\pm 450\text{ns}$ 정도로 B사와 비슷한 값을 보였다. RF S/N비가 다른 방송국의 신호에 비해 약하기 때문에 이로 인한 패킷 손실 및 PCR 오류가 많이 관측되었으나 이는 인코더의 문제라고는 볼 수 없기 때문에 고려 대상에서 제외하였다.

위와 같이 각 방송사마다 서로 다른 RF 및 TS상의 오류를 갖고 있음을 알 수 있는데 이의 원인 및 그 해결책을 유추해 보면 다음과 같다.

PCR값이 기준 이상으로 흔들리는 원인은 여러 가지이나 보통 STL Link상의 불안한 채널환경, 인코더의 동작 클럭 기준이 입력신호인 경우는 A/D된 입력영상의 불안정성, 인코더의 동작 클럭기준이 자체발생클럭일 경우는 인코더 자체의 불량등의 원인을 생각해 볼 수 있다. 참고로 A사의 경우, 시험방송 초기에는 PCR값이 매우 불안하였으나 STL(Studio Transmitter Link) 장비를 교체한 뒤 인코더 동작 클럭기준을 입력신호에서 자체 발생클럭으로 바꾼 후 PCR값이 안정되었다.

오디오버퍼가 오버플로우되는 오류의 원인 역시 여러 가지이나 A사의 경우는 측정장비로 검사한 결과 A사에서 사용하고 있는 MPEG 인코더의 음성 PES 패킷의 크기가 표준보다 정의된 음성버퍼 양보다 큰 것이 원인으로 짐작된다. 디지털방송에서 오디오신호의 처리 순서는 다음과 같은데 돌비 AC-3 인코더에서 출력된 음성 ES는 MPEG 인코더 혹은 MUX로 입력되어 PES(Packetized Elementary Stream) 형태로 변환되어 진 뒤 최종적으로 TS형태로 변환되어 전송된다. 이 때 변환된 PES패킷 하나의 크기가 오디오버퍼 총량보다 크면 오디오버퍼 오버플로우가 일어나게 된다. 이는 인코더업체와의 협의를 통하여 MUX상에서 오디오PES 패킷의 크기를 조정해서 오류를 수정하여야만 한다.

PSIP 테이블이 지원되지 않는 오류는 디지털방송 송출시스템 구성상 PSIP 발생기를 연결하지 않았거나 혹은 연결했다라도 가상채널, 지역코드등의 세부 설정값을 설

정하지 않은 것이 원인인것으로 짐작된다. 이는 기본적인 PSIP의 세부 설정값을 바르게 설정하고 EIT, ETT등의 자주 바뀌는 값들은 방송국 내부의 EPG 전산망에 PSIP 발생기가 연동되도록 시스템을 구성함으로써 오류를 없애고 보다 효율적인 PSIP 시스템을 구성할 수 있다.

Table 주기가 표준에서 정의된 기준을 초과하는 것은 인코더와 PSIP 발생기의 출력을 각 각 받아들여 합치는 장비인 MUX나 PSIP 패킷을 출력하는 PSIP 발생기의 정밀도가 떨어지는 것이 가장 주요한 원인이며 이경우는 보다 정밀도 높은 제품을 준비하는 것 이외의 다른 방법이 없다. 이밖에 PSIP 발생기의 패킷 타이밍 조절 항목을 알맞게 조절하지 않는것도 위 오류의 원인이 될 수 있다.

V. 미국의 측정결과 요약 및 비교

Triveni Digital에서는 미국의 21개 DTV방송사에서 방송한 23개의 Transport Stream들을 분석한 결과를 2001년 7월 21일 발표하였다.^[1] 이 스트림들은 방송의 질을 떨어트릴 가능성이 있는 매우 다양한 형태의 오류를 포함하고 있는데 이 오류들은 다음과 같다.

70%의 TS에서 PSIP/PSI 테이블 전송주기규격을 초과하는 오류가 발견되었으며 이는 수신기가 켜진 후 채널을 찾고 화면을 처음 내보내는데 걸리는 시간을 길어지게 한다. 오디오 버퍼 사용 오류가 48%의 TS에서 발견되었으며 이는 오디오의 품질을 떨어트리거나 립싱크 오류의 원인이 될 수 있다. PSIP 테이블이 없거나 테이블의 내용이 잘못 들어간 형태의 오류가 39%의 TS에서 발견되었으며 이는 가상채널을 지원하지 못하거나 EPG를 보지 못하게 하는 원인이 될 수 있다. 35%의 TS에서 EIT, ETT 테이블을 누락한 채로 방송이 이루어졌으며 이 경우 시청자가 EPG를 보는 것이 불가능하다. 17%의 TS에서 PCR 지터 오류 및 주파수 오프셋 오류가 발견되었으며 이는 수신 환경에 따라서는 수신 오류의 원인이 될 수 있다. 13%의 TS에서 PSIP 메타데이터가 발견되지 않았으며 이 경우 EPG, 가상채널, 시간조절 등의 PSIP에서 지원하는 모든 기능의 사용이 불가능하다. 9%의 TS에서 비디오 버퍼 사용오류가 발견되었으며 이는 화질 저하 및 립싱크 오류의 원인이 될 수 있다.

표 4. 미국의 DTV TS 측정결과

Table 4. Measurement result of DTV TS in USA

	해당 방송국 비율	해당 한국 방송사
PSIP/PSI 테이블 전송주기 초과	70%	A사, C사
오디오버퍼 오류(오버, 언더플로우)	48%	A사, C사
PSIP 테이블 없음 혹은 오류	39%	C사, B사
EIT/ETT 테이블 없음	35%	C사, B사
PCR 지터/주파수오프셋	17%	
PSIP 메타데이터 없음	13%	B사
비디오버퍼 오류	9%	

위의 결과는 2001년 5월 21일 총 185개중 21개 DTV 방송사에서 나온 스트림을 분석하여 얻어진 결과이다. 퍼센티지는 측정된 방송사의 TS스트림중 해당 오류를 가지고 있는 스트림의 퍼센티지를 의미하며 괄호 안의 방송사는 현재 해당 오류를 가지고 있는 한국의 방송사를 의미한다. 이상의 결과를 보아 알 수 있듯이 현재 한국의 3개 방송사가 겪고 있는 DTV쪽의 오류들을 현재 미국의 방송사들도 똑같이 겪고 있음을 알 수 있다.

VI. 결론

국내 디지털 방송은 2001년에 첫 본방송을 시작한 이래 저변을 점점 넓혀 가고 있는 추세이다. 각 방송사 별로 스트림상의 상이한 오류를 갖고 있음을 알 수 있었으며 이러한 오류는 시청자들의 편리한 시청에 장애가 될 수 있다. 측정결과 국내 방송사의 경우는 음성버퍼의 오버플로우 오류와 PSIP 서비스를 표준에 맞게 서비스하지 못함을 알 수 있었으며, 이러한 오류들을 수정한다면 시청자들의 시청 편의상 많은 도움이 될 것이라 생각한다.

참고 문헌

- [1] "ATSC Digital Television Standard," *ATSC Document A/53*, Dec. 1996.
- [2] "Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard," *ATSC Document A/54*, Oct. 1995.
- [3] "Program and System Information Protocol for Terrestrial Broadcast and Cable," *ATSC Document A/65*, Dec. 1997.
- [4] "Triveni Digital Finds Majority of Nation's DTV Stations Have Transport Stream Errors. Problems Include Tuner Lock-up, Poor Audio & Video Quality, Lip-Sync and EPG Errors," <http://www.trivenidigital.com>, Jul. 21, 2001.

 저 자 소 개

**권 태 훈**

- 1992년~1996년 : 고려대학교 전파공학과 학사
- 1996년~1998년 : 고려대학교 전파공학과 석사
- 1998년 3월~현재 : 한국방송공사 기술연구소
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 방송 시스템, MPEG, 멀티미디어 서비스

**목 하 균**

- 1976년~1980년 : 서울대학교 전기공학과(B.S.)
- 1980년~1982년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(M.S.)
- 1992년~1995년 : 무궁화 위성(Koreasat) 탑재체(payload) 현장훈련 파견연수(영국, 미국)
- 1991년~2000년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(Ph.D.)
- 1982년~현재 : 한국방송공사 기술연구소 차장(선임연구원)
- 주관심분야 : 지상파 디지털TV 방송 시스템, RF 및 위성 시스템, 위성 방송

**서 영 우**

- 1995년 : 서울대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
- 1997년 3월~현재 : 한국방송공사 기술연구소
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 방송 시스템, 멀티미디어 서비스