

지상파TV 방송의 단일 주파수 방송망 구성

□ 이용태, 음호민, 박성익, 서재현, 김흥묵, 이재영 / ETRI 방송시스템연구그룹

1. 서론

일반적으로 방송 서비스를 위해서는 방송사의 방송 구역에 따라 그리고 주변 지형지물에 따라 송신기 및 중계기를 배치한다. 국내 지상파TV 방송의 경우 아날로그 방식이든 디지털방식이든 모두 각각의 송신기 혹은 중계기마다 다른 주파수를 부여하여 방송망을 구성하는 복수 주파수 망(MFN: Multiple Frequency Network)을 통해 서비스되고 있다. 이러한 MFN 방식을 통해 방송 신호를 전송하면 동일 주파수 간섭이 없는 원거리 지역을 제외하고는 같은 주파수를 재사용할 수 없기 때문에 주파수 이용 관점에서 비효율적이다[1-2].

만약 복수 개의 송신기 및 중계기가 단일 주파수 망(SFN: Single Frequency Network) 구성을 통해 방송 신호를 전송하면 방송 주파수의 이용 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 방송 구역

내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있다. 더욱이 이동방송 서비스를 위해서는 SFN 구성이 유리하다[1-2].

그동안 논란이 되었던 전송방식문제에 있어서도 그 구현가능 여부가 주요 이슈가 되었을 정도로 SFN 구성은 디지털 방송시대에 있어서 매우 중요한 기술로 대두되었다. 또한 현존하는 모든 디지털 TV 방송 서비스는 모두 SFN 구성을 통한 서비스를 지향하고 차세대 방송 기술로 논의되고 있는 DVB-T2(Digital Video Broadcasting-Terrestrial 2)에서도 SFN 구성을 중요시하고 있다[1-3].

국내 전송방식으로 채택된 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 방식은 최근 디지털 TV 수신 기술의 발전으로 인해 전송 채널에서 발생하는 다중경로 신호의 제거 능력이 개선되었을 뿐만 아니라, 0 dB 고스트 신호까지 제거할 수 있는 수신기들이 개발되고 있다[4-6]. 또한 SFN 구성을

위한 기술기준(A/110)[7] 및 기술권고(A/111)[8]가 발표됨에 따라 ATSC 지상파 디지털 TV 방송에서도 SFN 구성이 가능해졌다.

본 논문에서는 MFN과 SFN의 기본 개념을 설명한 후 SFN 구성을 위해 요구되는 사항에 대해 기술한다. 또한 ATSC 방식과 DVB-T 방식에서의 SFN 구성 사례를 설명하고 결론을 맺는다.

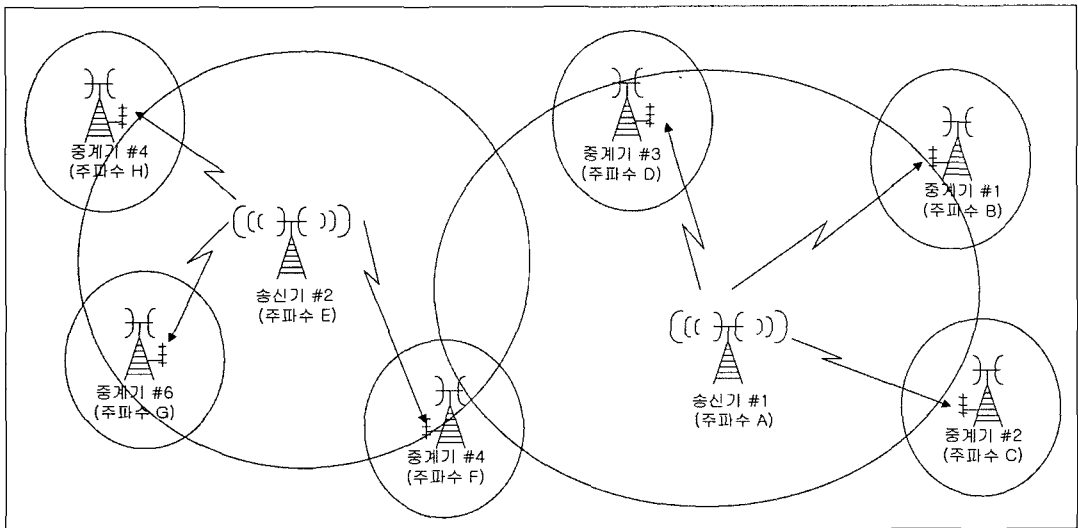
II. MFN과 SFN

만약 지상파 디지털 TV 방송을 그림 1과 같이 송신기 혹은 중계기마다 다른 주파수를 부여하는 MFN을 통해 서비스한다면 주파수 자원 활용 측면에서 SFN 보다 비효율적이라고 할 수 있다. 그림 1에서 송신기 1과 2는 각각 송신 주파수 A와 E를 통해 방송 신호를 송출하고, 각 송신기의 방송구역 내에 사용된 중계기들은 송신기의 주파수가 다를 뿐

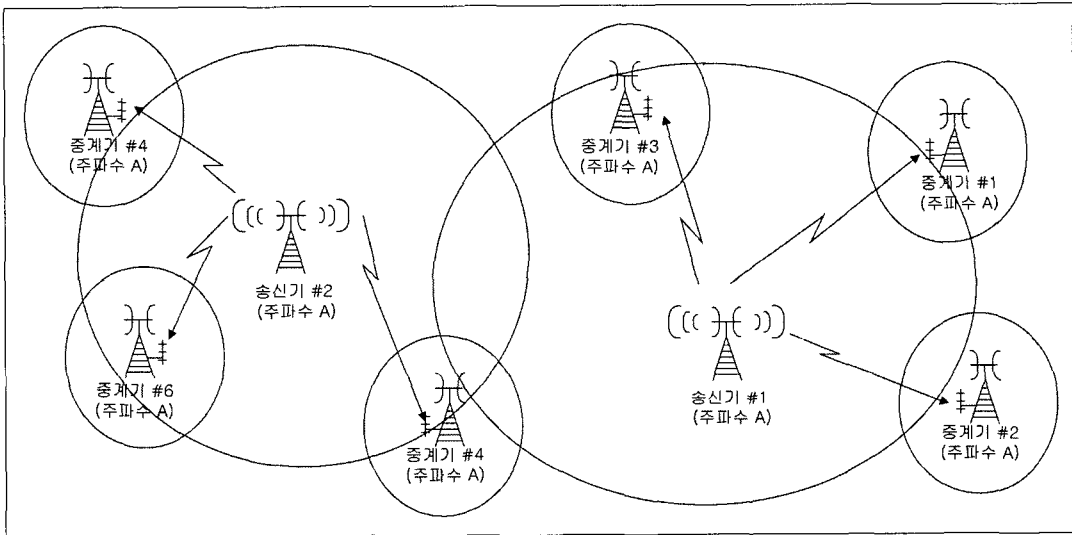
만 아니라 각각의 중계기 간에도 다른 주파수가 사용하게 된다.

현재 국내 지상파 디지털 TV 방송 서비스는 그림 1과 같이 각각의 송신기 및 중계기마다 다른 주파수를 부여하여 송신기 신호의 난시청 지역을 해소하거나 방송 구역을 확장시키고 있다. 그러나 각각의 송신기 및 중계기가 서로 다른 주파수 대역을 사용하게 되므로 많은 주파수 자원이 필요하게 되어 주파수 자원 이용 효율은 떨어지게 된다.

이러한 주파수 비효율성을 해결하기 위해, 최근에 다수의 송신기 및 중계기를 동일한 주파수를 사용하여 방송망을 구성하는 방법 SFN 구성방안이 연구되고 있다[9-11]. 이러한 SFN 구성을 통한 방송서비스의 개념도는 그림 2와 같다. 그림 2에서 송신기 1과 2는 각각 동일한 송신 주파수 A를 통해 방송 신호를 송출할 뿐만 아니라, 각각의 중계기 또한 송신기 주파수와 같은 주파수 A로 신호를 중계함을 알 수 있다. 이와 같이 SFN을 사용하면 방송구역



〈그림 1〉 기존 송신기 및 중계기를 이용한 MFN 방송 서비스의 개념도



〈그림 2〉 동일 주파수를 사용하는 송신기 및 중계기를 이용한 SFN 방송 서비스의 개념도

확대 및 난시청 해소를 위해 추가적인 주파수 할당이 필요 없어 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 방송구역 내 방송 신호의 평균적인 전계 강도도 높일 수 있다.

III. SFN구성을 위한 요구사항

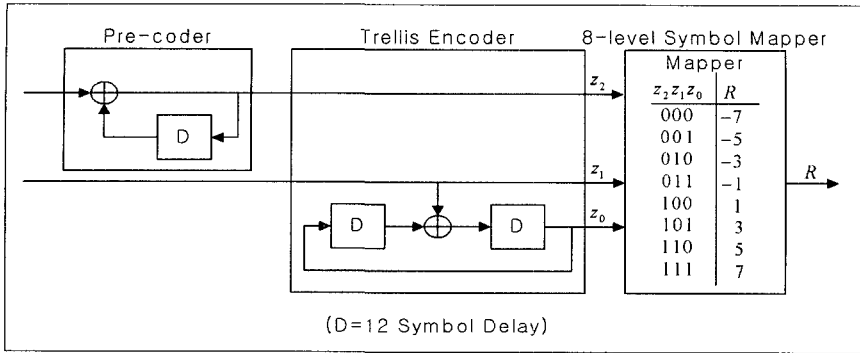
1. 송신부의 요구사항

지상파 디지털 TV 방송을 SFN을 통해 서비스하기 위하여 송신부에서는 다음과 같은 세 가지의 조건을 만족하여야 한다[1-2].

첫째, 동일한 주파수를 통해 신호를 전송해야 한다. 만약 송신기 혹은 중계기의 송신 주파수가 다르다면 도플러(doppler) 천이된 고스트 신호를 야기시키고, 이것은 수신기 적응 등화기(adaptive equalizer) 등의 성능 저하 요인으로 작용하여 방송

구역을 축소시키게 된다.

둘째, 송신기 혹은 중계기들은 동일한 출력 신호를 가져야 한다. 그러나 ATSC 변조 방식을 사용하는 송신기들은 그림 3과 같은 TCM (Trellis Coded Modulation) 부호화와 pre-coder로 구성된 트렐리스 부호부를 포함하며, 송신기들의 출력 신호는 트렐리스 부호부를 구성하는 메모리의 상태와 송신기 입력 신호에 따라 달라진다. 즉, 각 송신기에 입력되는 신호가 동일하다고 하더라도 각 송신기의 트렐리스 부호부 메모리 상태에 따라 출력 신호가 동일하지 않는 모호성(ambiguity)이 존재한다. 이러한 모호성으로 인해, 동일 주파수 대역 내에서 송신기 출력 신호들은 상호 연관성(correlation)이 없는 잡음 신호가 되고, 이러한 잡음 신호는 수신기에서 등화기 혹은 다른 장치로도 제거되지 않기 때문에 수신기 성능 저하의 요인이 된다. 따라서, ATSC 송신기들로 SFN을 구성하기 위하여 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 관계없이 송신기 및 중계기의 동일



〈그림 3〉 ATSC 표준 TCM 부호기 및 Pre-coder

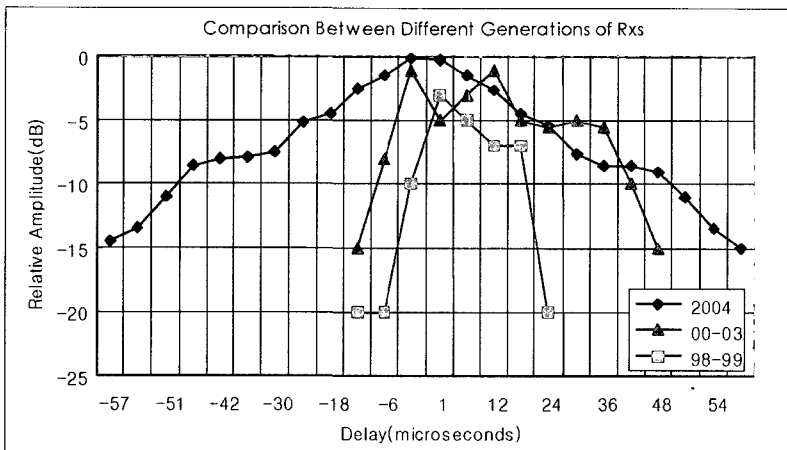
한 출력 신호를 가질 수 있도록 별도의 방법이 개발되어 표준화 되었다[7-8].

셋째, 송신기의 경우 신호 송출 시간을 제어할 수 있어야 하고, 중계기의 경우 신호처리 시간이 가능한 짧아야 한다. 왜냐하면 방송국과 서로 다른 위치에 있는 송신기들로 TS(Transport Stream)를 전송하는 경우, 방송국과 송신기들간의 거리 차로 인해 각 송신기의 송출시간 간의 편차가 발생할 수 있기 때문이다. 이러한 송출 시간의 편차는 결과적으로 방송구역 내에서 지연시간이 긴 다중경로 신호 혹은

고스트 신호를 발생시키기 때문이다. 이와 같이 송신기들의 송출시간 및 중계기들에 의해 발생하는 긴 고스트 신호는 수신기의 수신 성능을 저하시키는 요인이 된다.

2. 수신부의 요구사항

지상파 디지털 TV 방송을 SFN을 통해 서비스하기 위하여 수신부에서는 송신기 및 중계기들로부터 수신되는 신호를 고스트로 인지하고 제거할 수 있



〈그림 4〉 ATSC 방식의 고스트 제거 능력

어야 한다.

ATSC 방식의 경우 수신신호의 고스트를 제거하기 위하여 적응형 등화기법을 사용하는데 그림 4와 같이 고스트를 제거할 수 있는 능력이 최근 들어 많이 향상되고 있음을 알 수 있다. 물론 98~99년 사이에 제작된 초기의 제품의 경우 고스트 제거 특성이 매우 열악하여 SFN 구현시 수신성능이 악화될 수 있는 여지가 있을 것으로 판단된다. 그러나 최근 제품의 경우 적응형 등화기술 등 수신기술의 발전으로 SFN 구현에 특별한 문제가 없을 것으로 보여진다.

DVB-T 및 DAB 방식의 경우 수신신호의 고스트를 제거하기 위하여 Guard Interval 기법을 사용하는데 그림 5와 같이 고스트를 제거할 수 있는 능력이 Guard Interval의 길이와 비례함을 알 수 있다. DVB-T 방식의 경우 2K 모드의 경우 SFN 구현시 수신성능이 악화될 수 있으나, 8K 모드의 경우 넓은 범위의 SFN 구현이 가능함을 알 수 있다. 그러나 Guard Interval의 길이가 길어질수록 데이터전

송 효율이 낮아지는 trade-off가 있다. DAB 모드 I의 경우 국내 T-DMB와 동일한 특성을 갖는데, 현재 T-DMB 방송의 경우 수도권에서는 SFN 구성을 통해 서비스 되고 있다.

IV. SFN 구성 사례

1. ATSC 방식

분산 송신기(DTxT: Distributed Transmitter)를 통해 SFN을 구성하기 위한 방법은 Merrill Weiss Group에 의해 제안되었으며 2004년 ATSC 표준으로 채택되었다. 그 구조는 그림 6과 같다[7].

Merrill Weiss Group의 제안에서는 GPS(Global Positioning System)신호를 사용해 1 또는 2 Hz 오차한도 이내에서 복수 송신기들의 동작 주파수를 맞추며, 방송국에서 CS(Cadence Signal)를 주기적으로 전송하여 송신기 입력 신호들의 동기를

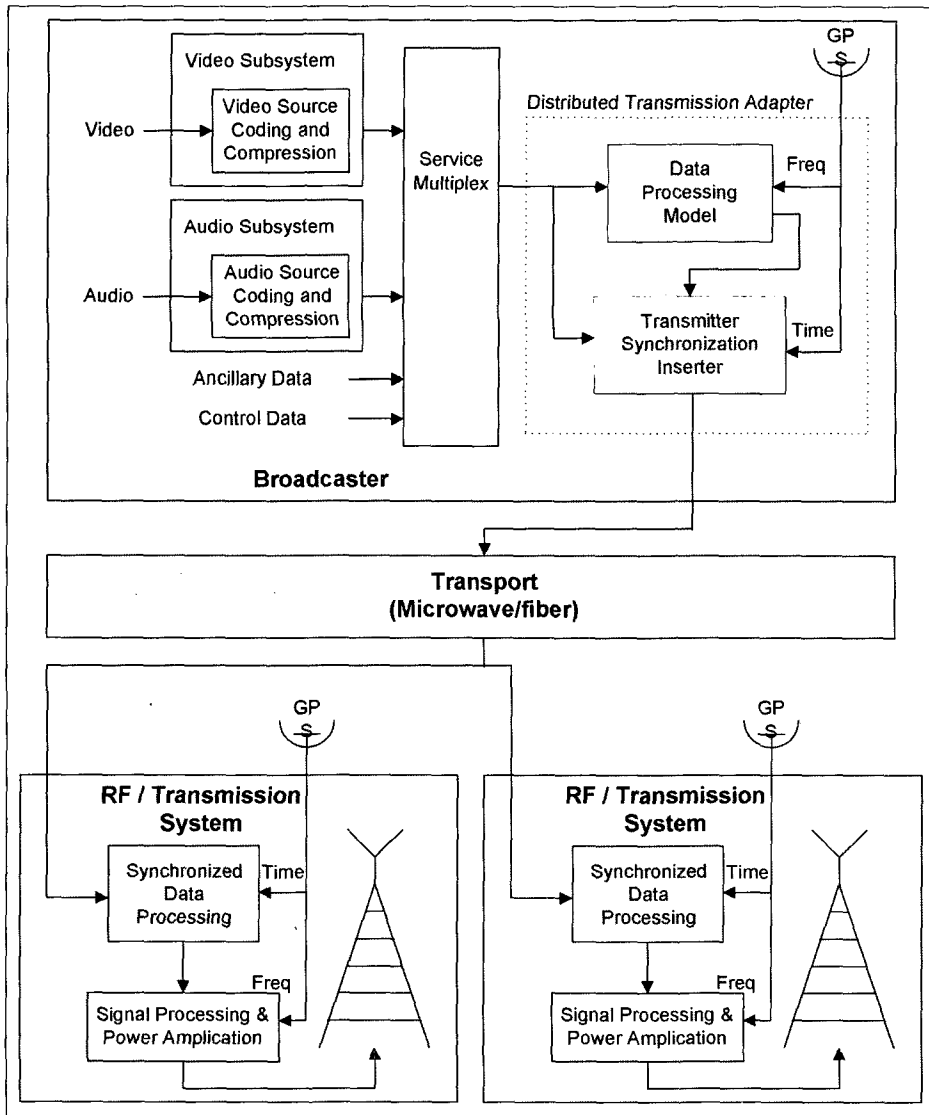
MODES	DVB-T		DAB				Maximum distance between Tx
	8 K	2K	I	IV	II	III	
Nb symbols / frames	68	68	78	78	78	155	
Used for control	-	-	2	2	2	2	
Used for data	68	68	76	76	76	153	
Useful symbol duration	896 μs	224 μs	1000 μs	500 μs	250 μs	125 μs	Tx
Guard interval durations		7 μs	246 μs	123 μs	62 μs	31 μs	
		28 μs					
		56 μs					
		112 μs					
		224 μs					
Delivery time accuracy (~10%)	2..22 μs	0..5 μs	24 μs	12 μs	6 μs	3 μs	~ 3 kms ~ 6 kms ~ 12 kms ~ 24 kms ~ 48 kms ~ 96 kms

(그림 5) DVB-T 및 DAB 방식의 고스트 제거 능력

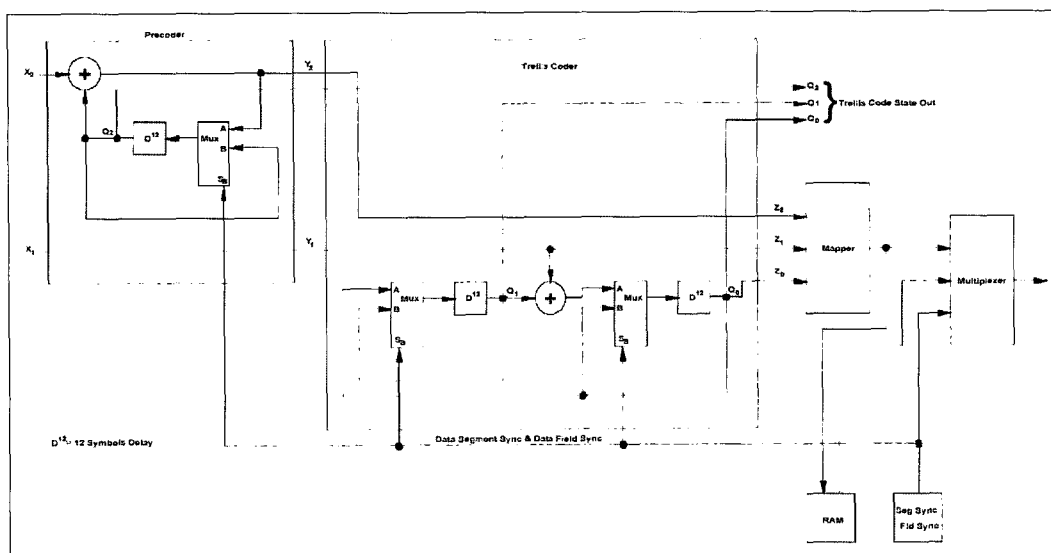
맞춘다. 또한, 트렐리스 부호의 메모리에 관한 정보인 TCSP (Trellis Code State Packet) 신호를 그림 7과 같은 장치를 이용해 별도로 추출하여 전송하고, 전송된 TCSP 신호로부터 트렐리스 부호의 메모리 값을 획득하여 그림 8과 같은 장치를 이용하여 TCM 부호기 및 pre-coder의 메모리의 모호성을

제거한다.

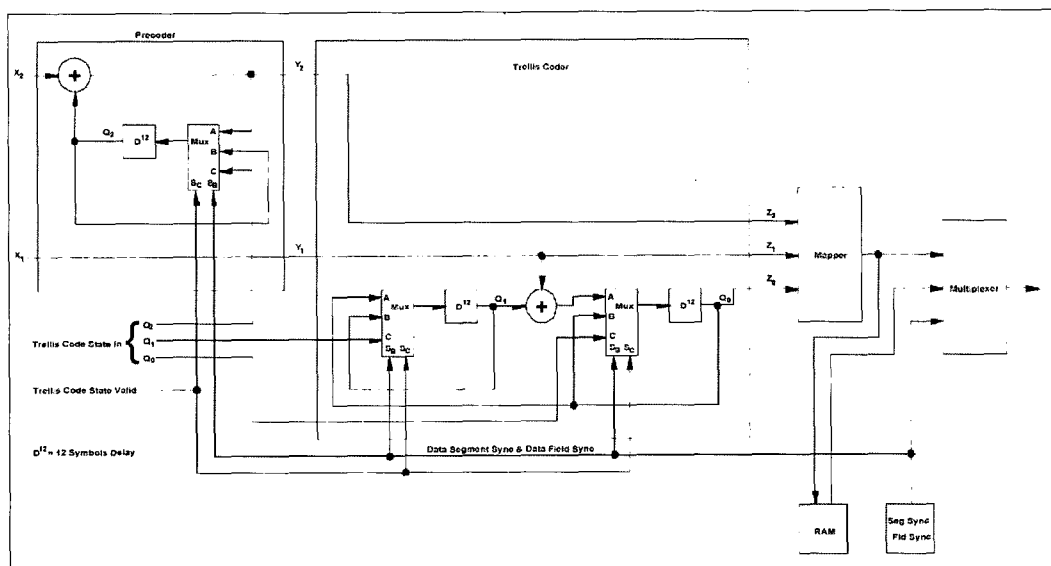
이러한 방법에서는 트렐리스 부호의 메모리 상태에 관한 정보인 TCSP 신호 및 송신기 입력 동기 신호(cadence signal)를 전송하기 위해 방송국에서 데이터 랜더마이저; RS 부호기; 데이터 인터리버; 트릴레스 부호기(그림 8); CS 및 TCSP 신호 삽입기



〈그림 6〉 분산송신기술 이용한 SFN 구성도



〈그림 7〉 트렐리스 부호기 동기화 신호발생기

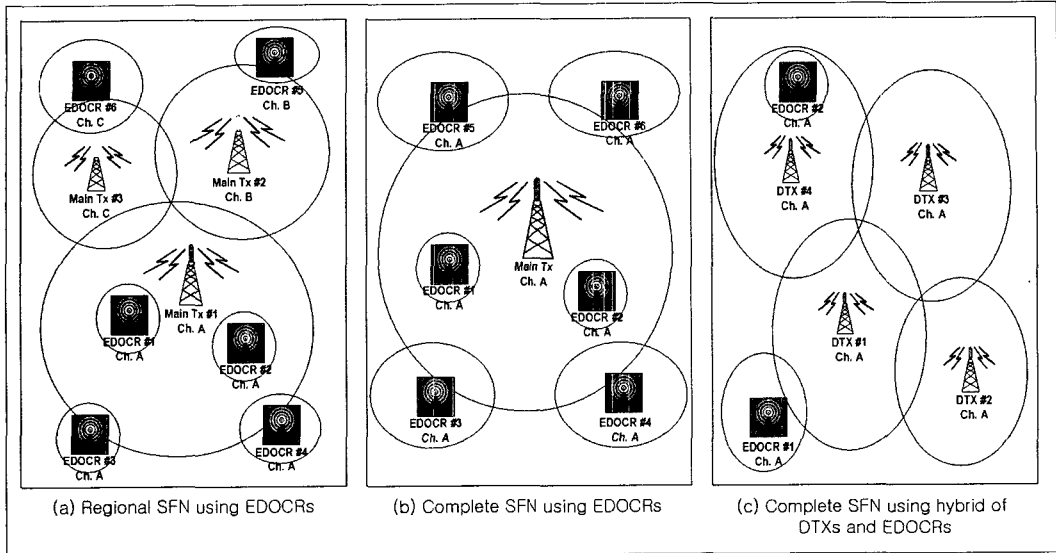


〈그림 8〉 트렐리스 부호기의 동기화

등이 별도로 필요하며, 송신기에서는 STL을 통해 수신된 TCSP 신호로부터 트렐리스 메모리 값을 추출하여 트렐리스 부호기로 삽입하는 장치 등이 별

도로 요구된다.

ATSC 방식의 경우 등화형 동일채널 중계기 (EDOCR: Equalization Digital On Channel

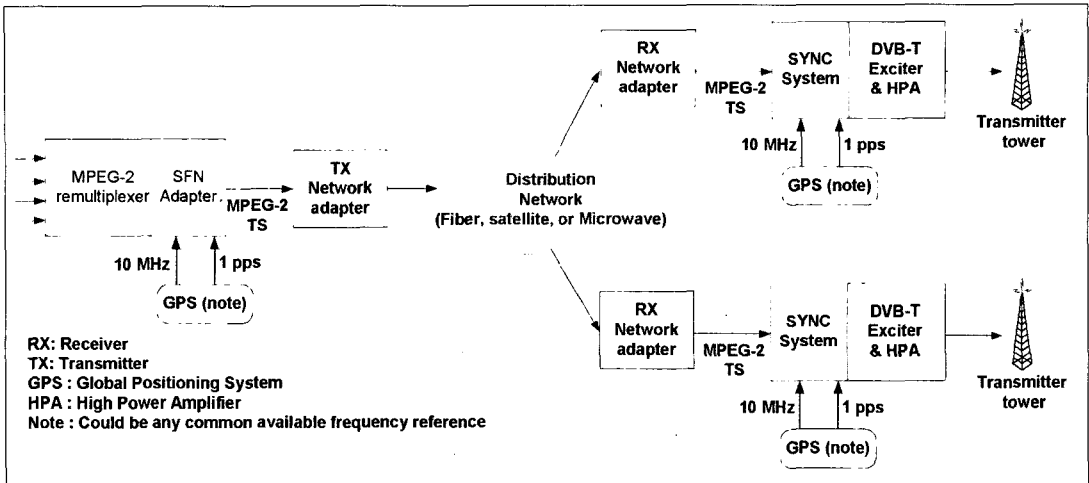


〈그림 9〉 EDOCR을 이용한 SFN 구성

Repeater)를 통하여 SFN 구성이 가능한데 그 구성은 그림 9와 같다[11]. EDOCR에 대한 상세한 설명은 참고문헌 [11] 및 본 논문의 “등화형 디지털 동일채널 중계기”를 참조하기 바란다. 그림 9 (a)는 기존 송신기들과 EDOCR을 이용한 지역적인 SFN(RSFN: Regional SFN)을 구성하는 개념도를 나타낸 것이다. 이러한 RSFN 구현을 위해서는 기존에 설치되었거나 설치 예정인 MFN에서의 중계기들을 EDOCR로 바꾸는 것으로, 이는 SFN 구현을 위한 첫 번째 단계라고 할 수 있다. 다음 단계는 그림 9 (b)처럼 고출력의 주송신기 하나와 다수의 EDOCR을 이용하여 완전한 SFN을 구성하는 것이다. 또한, EDOCR은 Merrill Weiss Group에 의해 제안된 DTXT와 혼합되어 사용될 수도 있는데, 그림 9 (c)는 EDOCR과 DTX를 이용한 SFN 구현 방안을 제시하고 있다.

2. DVB-T 방식

DVB-T 방식에서의 SFN 구성을 위해서는 그림 10과 같이 기존의 DVB-T 송신시스템에서 SFN Adapter, synchronization (SYNC) system을 추가한다[12]. 앞서 설명한 바와 같이 송신기들의 출력주파수를 일치시키기 위하여 GPS 신호를 이용한다. 또한 송신기들이 동일한 출력신호를 송출할 수 있도록 방송국에 SFN adapter를 송신기에는 Sync system을 설치한다. SFN adapter는 GPS 신호를 기준신호로 하여 Mega-frame Initialization Packet (MIP)을 기존의 TS packet에 끼워 넣고 각각의 송신기에서는 MIP를 추출하여 Distributed network에서 각기 다르게 발생하는 시간지연을 보상함으로써 각 송신기들의 출력신호 동기를 맞출 수 있다. 또한 각 송신기의 송출신호 시간을 조절하여 최적의 방송망을 구성하게 된다. 참고로 국내의



(그림 10) DVB-T 방식의 SFN 구성도

T-DMB 방송도 DVB-T 방식과 유사하게 SFN 구성을 한다.

V. 결론

현재 디지털 전환시기의 방송주파수 부족 문제는 국내는 물론 디지털 전환을 추진하는 모든 국가에서 겪고 있으며, 이를 극복하기 위한 논의가 ATSC는 물론 DVB-T에서도 진행되고 있다. 주파수 자원의 효율적인 이용은 빠른 디지털 방송전환은 물론 잉여 주파수 자원의 활용 가능성 때문에 그 중요성이 날로 증가하고 있다.

따라서 디지털 방송시대에서는 SFN 구현을 적극적으로 검토해야 할 것으로 사료된다. 이러한 SFN 구성은 주파수 이용효율의 증대 뿐만 아니라 서비스지역에서의 고른 전계 강도 유지 및 이동에 따른 수신주파수 변경이 필요없으므로 특히 이동방송 서비스를 위해서는 필수적이라고 할 수 있다. 더욱이 향후 차세대 방송기술은 고정 및 이동수신 성능을 모두 만족시킬 수 있는 방향으로 진보할 것으로 볼 때 SFN 기술은 차세대 방송기술에서도 중요한 요소기술로 자리잡을 것으로 예상된다. 아날로그 방송 시대에서 디지털방송 시대로 전환하는 지금 방송망 구축 기술의 패러다임도 전환되어야 할 것이다.

● 참고 문헌 ●

- [1] Y.-T. Lee, S. I. Park, S. W. Kim, and J. S. Seo, "ATSC Terrestrial Digital Television Broadcasting using Single Frequency Networks," ETRI Journal, vol. 26, No. 2, pp. 92-100, April 2004.
- [2] 박성익, 이용태, 김승원, 이수인, "단일 주파수 망을 이용한 ATSC 지상파 디지털 TV 방송서비스를 위한 방법 연구," 방송공학회논문지, 제8권, 제2호, pp. 109~115, 2003년.
- [3] <http://www.dvb.org/technology/dvbt2/index.xml>
- [4] R. Citta, "A VSB Receiver Design for Indoor and Distributed Transmission Environments," IEEE 52 Annual Broadcast Symposiums, Oct. 2002.
- [5] Comm. Research Center, "Results of the Laboratory Evaluation of LINX ATSC Prototype Receiver with ATSC Modulation for Terrestrial Broadcasting," Ottawa, April 2002.
- [6] Y. Wu, X. Wang, R. Citta, B. Ledoux, S. Lafleche, and B. Caron, "An ATSC DTV receiver with improved robustness to multipath and distributed transmission environments," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 50, pp. 32-41, March 2004.
- [7] Advanced Television Systems Committee (ATSC), "Standard A/110: Synchronization Standard for Distributed Transmission," Washington D.C., 14 July 2004.
- [8] Advanced Television Systems Committee (ATSC), "Recommended Practice A/111: Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks," Washington D.C., 3 Sep. 2004.
- [9] S. Merrill Weiss, "Distributed Transmission Systems: Overcoming the Limitations of DTV Transmission," Proceeding NAB Broadcast Engineering Conference, pp. 263-279, April 2003.
- [10] Anders Mattsson, "Single Frequency Networks in DTV," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 51, no. 4, pp 413-422, Dec. 2005.
- [11] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo, H. M. Kim, S. W. Kim, and J. S. Seo, "A Design of Equalization Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network ATSC System, IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 53, pp. 23-37, March 2007.
- [12] TS 101 191, "Digital Video Broadcasting (DVB): DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization," V1.1.1, April 1997.

필자 소개



이용태

- 1993년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
- 1995년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 1995년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송, 디지털신호처리, RF 신호처리



음호민

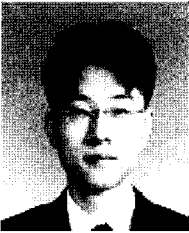
- 1998년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년 5월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : 영상신호처리, DTV 전송시스템

필자소개



박 성 익

- 2000년 2월 : 한양대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : 채널코딩, DSP, DTV 전송시스템



서 재 현

- 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : DTV 전송시스템, DSP



김 흥 목

- 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 3월~2001년 12월 : 포스코 기술연구소
- 2002년 1월~2003년 10월 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 선임연구원
- 주관심분야 : RF 신호처리, DSP, DTV 전송시스템



이 재 영

- 2001년 5월 : Rutgers University 전자공학과 (공학사)
- 2003년 5월 : University of Wisconsin 전자공학과(공학석사)
- 2003년 6월~현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원
- 주관심분야 : DTV 전송시스템, DSP