

TECH & TREND

ATSC SFN 구현 기술

1. 서론

다가오는 2012년에는 컬러TV가 시작되고 20여년간 서비스되었던 아날로그TV 방송이 종료되고 본격적인 디지털 방송의 시대가 시작될 예정이다. 안정적인 디지털 전환을 위하여 정부와 지상파 방송사들을 포함한 관련 단체들은 디지털 서비스 영역 확대, HD 제작시설 확충, 주파수 재배치, 저소득층의 수신시설 지원 등 다각적인 노력을 기울이고 있다.

국내 DTV 표준으로 선정된 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 방식은 경쟁 방식이었던 유럽방식 DVB-T와 일본방식 ISDB-T를 비교하여 단일 캐리어(Single carrier)를 통해 전송하는 방식으로 실내수신 성능과 이동수신에 대한 문제를 비롯하여 SFN(Single Frequency Network) 구성이 불가능한 단점을 가지고 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 다양한 규격들이 ATSC 표준화 위원회에 제안되었다. 대표적인 제안 규격으로 실내수신 성능 개선을 목표로 제안되어 ATSC Optional 표준으로 채택되었던 E-VSB(Enhanced-VSB) 그리고 SFN 구현을 위한 DTX(Distributed TX) 등의 분산 송신기술 등이 제안되었으며, Mobile 기능을 구현한 A-VSB(Advanced VSB)와 MPH(Mobile/Pedestrian/Handheld) 표준을 통합한 ATSC M/H 표준이 Candidate standard로 제안되었다.

특히, 디지털 전환을 위하여 새롭게 신설되는 디지털 간지 중계기(DTVR) 채널 분배 및 아날로그 TV 종료에 따른 주파수 재배치 문제로 주파수의 효율적인 활용에 대한 다각적인 연구가 요구되고 있다. 또한, ATSC M/H 표준을 통한 Mobile 방송 서비스 구현을 위해서는 권역별 SFN 구성에 대해서도 다각적인 연구가 필요한 시점이다.

현재 소출력 중계기를 통하여 좁은 의미의 SFN 구현에 대한 테스트가 이루어지고 있으나 본격적인 SFN 구현에 대한 논의는 진행되지 못하고 있다. 따라서, 본 글에서는 ATSC 전송방식에서 SFN을 구현할 수 있는 분산 송신 기술(Distributed TX)과 DOCR(Digital On Channel Repeater) 등에 대하여 알아보겠다.

2. Single Frequency Network

2.1 SFN 개요

SFN이란 다수의 송신기가 하나의 송신채널(주파수)을 공유하는 네트워크로 수신기는 다수의 수신신호를 상호간의 에코(echo)로 인식하여 SFN 간섭환경 하에서 신호를 복조할 수 있어야 한다. OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 기술 기반의 다수 캐리어 전송방식에서는 SFN 구성이 가능하지만 단일 캐리어 방식인 ATSC 전송방식에서는 다수의 주파수를 사용하는 MFN(Multi Frequency Network)을 구성하여야 한다.

SFN 구현시 장점을 기술하면 다음과 같다.

- ▶ 서비스 영역 내 균일한 신호레벨 구현
- ▶ 소규모의 서비스 영역 설계가 가능하여 송신출력/안테나 높이 축소 가능
- ▶ 저출력으로 인하여 인접 지역 간섭 최소화
- ▶ 일부 지역에서 LOS 가 확보되지 않는 지형적 문제가 개선됨
- ▶ 실내 수신 성능 개선
- ▶ 주파수 스펙트럼 이용 효율 개선

2.2 SFN Requirements

1) Receiver Requirements

SFN 구성시 수신기는 시간차를 두고 수신되는 다수의 신호를 서로 다른 신호가 아닌 에코(echo)로 인식하여 수신 및 복조를 할 수 있어야 한다. 그리고, 신호의 Delay 시간 크기를 나타내는 Delay spread(The Time window of echoes)를 확보하여야 한다.

2) Transmitter Requirements

SFN을 구성하는 모든 송신기는 당연히 동일한 주파수와 동일한 타이밍을 유지하여야 한다. 또한, 동일한 Transport stream 입력에 대하여 동일한 출력신호를 생성하여야 한다. 그리고, 적절한 Delay 시간차를 유지하기 위하여 SFN Cell 크기를 적절하게 조정하여야 한다. 마지막으로 송신기를 구분하기 위하여 RF watermark를 삽입하여 전송하여야 한다.

3. Digital On Channel Repeater

3.1 DOCR 개요

DOCR은 중계기나 Booster와 비슷한 기능, 형태로 주 송신기 신호를 받아 같은 주파수로 재송신하여 서비스 영역을 확대하는 역할을 한다. SFN 구현기술 중 가장 간단하고 저렴한 비용으로 구축이 가능하며, 인접 서비스 영역간 간섭을 최소화하기 위하여 송신출력이 제한된다.

전송형태에 따라 RF Processing DOCR, IF Processing DOCR, Baseband Equalization DOCR, Baseband Decoder/Regeneration DOCR로 구분되며, 송신안테나, 수신기, 신호처리부, 송신기, 송신안테나로 구성된다.

3.2 DOCR 종류

1) RF Processing DOCR

- ▶ 주파수 변환 없이 RF대역에서 증폭하여 재송신
- ▶ Pre-selector, Low-level AMP, RF Bandpass filter, Power Amplifier로 구성
- ▶ 인접채널 간섭에 매우 민감한 형태임(Adjacent Channel)
- ▶ Loop Back 신호로 인한 간섭을 최소화하기 위해 송수신 블록간 Isolation이 매우 중요함
- ▶ 10W 이하의 소출력 중계기로 사용

2) IF Processing DOCR

- ▶ 수신신호를 IF 대역으로 변환하여 처리한 후 송신 주파수로 변환하여 재송신
- ▶ IF 변환을 위한 OSC/Mixer 사용되며 IF 사용으로 인하여 증폭과 Filtering 과정이 간편함
- ▶ SAW Filter의 skirt 특성이 개선되거나 Delay 특성이 나빠짐(1~2us)
- ▶ 인접채널간 간섭 특성은 개선되거나 Loopback에 의한 간섭은 존재하여 송신출력 제한됨

3) Baseband Decoding DOCR

- ▶ 수신신호를 복조 한 후, FEC 부가 등의 디지털 신호처리를 한 후, 재전송하는 방식
- ▶ 동일한 데이터 전송을 위하여 Trellis Encoder states에 대하여 추가적인 보정이 필요함
- ▶ De-interleaving 과정에서 매우 긴 Delay 발생(수ms 이상)
- ▶ 인접채널간 간섭 특성과 Loopback 문제는 해결되나 주 송신기와 DOCR의 서비스영역이 완전히 분리되지 않으면 사용되기 어려움

4) Baseband Equalization DOCR

- ▶ 수신신호를 복조한 후, 인접채널 간섭, Loopback 문제, Multipath distortion 등을 개선하기 위하여 적응형 등화기 기술을 적용(Adaptive Equalization)
- ▶ 3-bit symbol에 대하여 Slicing 및 Trellis Decoding을 실행하여 노이즈 경감과 채널 간섭 최소화

- ▶ BB Decoding 방식에 비하여 Delay가 짧으며 RF/IF 방식보다 고출력 전송이 가능함
- ▶ 데이터 복조 및 변조 과정에서 발생하는 에러에 대한 복구가 되지 않아 수신 전력 및 수신안테나의 고성능이 요구되며, 충분한 성능이 확보되지 않을 때에는 RF/IF 방식을 적용해야 함



4. Distributed Transmission

4.1 DTx 개요

기존의 TV 방송이나 FM 송신방식은 고지 송신소나 높은 타워를 이용하여 대 출력 전송을 하고 음영지역은 별도의 주파수를 할당받은 중계기를 추가로 설치하는 방식이었다.

DTx 방식의 기술특징은 다음과 같다.

- ▶ 분산송신 기술 DTx는 transmitter diversity라고도 불리 우며, 여러 개의 송신기가 하나의 주파수를 공유하여 서비스를 제공함
- ▶ A110B 표준(Synchronization Standard for Distributed Transmission, Rev. B)
- ▶ DOCR과 다르게 하나의 주파수를 공유하며 송신 출력에 제한이 없음
- ▶ Frequency Synchronization(GPS)
- ▶ Data Synchronization을 위하여 부가적인 신호가 필요함
- ▶ Delay Spread Control이 필요함

4.2 Synchronization Requirements

1) Frequency Synchronization

- ▶ SFN 내의 모든 송신기는 송신주파수와 Timing이 일치해야 함
- ▶ GPS 및 Timing control data 사용(STS, MD, OD)

2) Data Frame Synchronization

- ▶ 8-VSB 송신기에서는 MPEG-2 Transport Stream을 수신하여 Frame을 생성하는 과정에서 임의의 값을 초기 값으로 선택하게 되며, 이에 따라 동일한 TS 입력을 받더라도 다른 Data frame이 생성됨
- ▶ 따라서, Data Frame을 생성하는 과정에 동기화를 위한 Data Field Synchronization(DFS) segment가 필요함
- ▶ DFS는 여러 개의 Pseudo Random Binary Sequence로 구성됨

3) Pre-Coding/Trellis Coding Synchronization

- ▶ Pre-coder/Trellis coder은 확률적인 프로세스로 서로 다른 값이 추출됨
- ▶ 동일 출력이 생성되도록 State Condition을 조정할 신호가 필요함

4.3 DTx System

DTxT는 SFN을 구성하기 위해 다음과 같은 세 가지 요소로 구성된다.

- ▶ External time and frequency reference(GPS)
- ▶ Distributed Transmission Adaptor(DTxA)
- ▶ Slave Synchronization system(each transmitter)

1) Distributed Transmission Adaptor

- ▶ 일반적으로 연주소에 Data Frame synchronization을 위해 Cadence Signal(CS), Distributed Transmission Packet(DTxP)을 생성함
- ▶ Cadence signal : TS 입력에 대하여 동일한 Data frame 생성을 위한 기준신호
- ▶ DTxP : Trellis coder state condition 제어, 부가적으로 송신기 모드 및 Data field Sync segment에 대한 정보를 제공함
- ▶ Inserting into the Transport Stream the Cadence Signal
- ▶ Inserting into the fully formed Distributed Transmission Packet
- ▶ Inserting into the Field Rate Side Channel

2) Slave Synchronization of transmitters

- ▶ 각각의 송신기에 위치한 Slave synchronizer가 Cadence signal과 DTxP를 수신하여 Data frame 동기화를 구현함

3) Cadence Signal

- ▶ Data Frame 생성에 기준신호로 사용됨
- ▶ A periodic inversion of the MPEG-2 TS packet sync word
(Normal MPEG-2 Sync word 0x47 Cadence signal 0xB8)
- ▶ 624packet마다 주기적으로 삽입됨
- ▶ 데이터에서 CS의 위치는 DTxP에 포함된 Packet Number information에 의해 계산됨

4) Distributed Transmission Packet

- ▶ Synchronization of the pre-coder and trellis coder
- ▶ DTxP is a specific form of Operation and Maintenance Packet(OMP)
- ▶ Header, Trellis coder state data, Transmitter timing data, Reed-Solomon error correction coding 등을 포함하고 있음
- ▶ Minimum Insertion rate : 규정되어 있지 않으며 1초당 하나의 DTxP가 삽입되는 경우 전체 데이터량의 0.0078%를 차지함. 만약, DTxA에 입력신호가 없는 경우에는 null packet이 생성되며, 이때에도 대략 초당 1개씩의 DTxP가 생성되어 삽입됨

- ▶ Maximum Insertion rate : DTxP는 313패킷마다 하나 이상 삽입될 수 없음. 즉, 하나의 data field에 최대 하나의 DTxP가 삽입될 수 있음(24.2ms)
- ▶ Trellis code state data : 36bit로 구성되어 12개의 pre-coder 및 trellis-coder에 3bit씩 할당됨

5) Distributed Transmission Packet RF Watermark

DTxP에는 송신기 구분과 특성 측정을 위한 기준신호로 RF Watermark가 데이터 확산 방식으로 삽입되며, 그 특징은 다음과 같다.

- ▶ Identification of individual transmitters and measurement(signal)
- ▶ Pseudo Random Binary Sequence embedded in an 8-VSB signal
- ▶ Direct sequence buried spread spectrum
- ▶ A unique Kasami code sequence
- ▶ 24bit의 tx_address와 network_identifier_pattern을 통해서 shift register의 초기 값을 결정함

6. SFN Design Consideration

6.1 수신기 설계 시 고려사항

1) Effects of Receiving Signals from Multiple Transmitters

- ▶ Delay Spread
- ▶ Channel fading effects
- ▶ Doppler shift effects(frequency stability $\pm 0.5\text{Hz}$)

2) Adjacent Channel Reception Issues

3) Trade off 관계가 있는 수신특성

- ▶ Noise figure vs. adjacent channel overload capability
- ▶ Adjacent channel overload(tuner AGC) vs. impulse noise response
- ▶ IF selectivity vs. equalizer loading(equalizer speed)
- ▶ Large and distant pre-echo capability vs. S/N threshold

4) Recommended Echo Delay

- ▶ Legacy Receiver : $-3\sim 5\mu\text{s}\sim 20\mu\text{s}$ (-4dB small post echo)
- ▶ Current Receiver : $-50\mu\text{s}\sim 50\mu\text{s}$ (0dB 3 μs post echo)
- ▶ Future Receiver : wide range 0dB echo

6.2 송신기 설계 시 고려사항

1) Single application

- ▶ 동일주파수를 사용하는 송신기를 추가하여 네트워크 구성
- ▶ DOCR에 비하여 네트워크 내 간섭을 최소화하여 출력에 대한 제한을 제거함

2) Complex application

- ▶ 다수의 분산송신기를 이용하여 네트워크 구성하므로 네트워크 내 균일한 품질구현이 가능함
- ▶ Large Cell system : 반경 30~50km 규모의 5개 Cell로 네트워크 구성
- ▶ Small Cell system : 반경 8~16km 규모의 12개 Cell로 네트워크 구성
- ▶ Micro Cell system : Large/small cell system의 음영지역 보완

3) DTx design consideration

- ▶ Network Interference(Natural echoes/SFN signals)
- ▶ SFN-Signals Delay spread
- ▶ Separation Distance Between SFN Transmitters
- ▶ Signal Directivity
- ▶ Terrain Shielding
- ▶ Adjacent Channel DTV/NTSC

6.3 DOCR Consideration

1) DOCR Requirement

- ▶ RF Emission Mask를 만족해야 함
- ▶ Frequency Stability를 유지해야 함($\pm 0.5\text{Hz}$)
- ▶ Loopback에 의한 DOCR Output Signal Spectrum Ripple 확인

2) DOCR Design Parameters

- ▶ 수신신호의 출력과 송수신 안테나간의 Isolation 특성에 의해 송신신호의 출력이 결정됨
 - Received Signal Power
 - Transmitting-to-receiving antenna isolation
 - * $\text{Amplifier Gain} = \text{Antenna Isolation} + 20\log(a)$
 - * $\text{Output Signal Power} = \text{Received Signal power} + \text{Antenna Isolation} - 20\log(a)$
- ▶ EDOCR and its advantages
 - BB Equalizer를 통해 loopback 신호를 보정할 수 있음. -4dB까지의 loopback 신호 보정이 가능하여 1dB ripple의 경우 20.3dB 추가 마진 확보가 가능함

- RF/IF DOCR Transmission power :

$$40\text{dBm(RS)}+104.3\text{(I)}-24.3\text{(loopback)} = 40\text{dBm(10W)}$$

- EDOCR Transmission power :

$$-40\text{dBm(RS)}+104.3\text{(I)}-4\text{(loopback)}-6\text{(Safety)} = 54.3\text{dBm(269W)}$$

- ▶ EDOCR의 경우 내부적으로 8레벨 신호에 대한 재생성(cleans up and regenerates) 기능으로 높은 S/N비를 구현할 수 있음

7. 결론

지금까지 ATSC 전송방식에서 분산 중계기와 분산 송신 기술을 중심으로 한 SFN 구현을 위한 기술을 살펴보았다. 2012년 디지털 전환을 앞두고 새롭게 신설되는 디지털 간지 중계기(DTVR) 채널 분배 및 아날로그TV 종료에 따른 주파수 재배치 문제 등으로 주파수의 효율적인 활용에 대한 다각적인 연구가 요구되고 있다. 또한, ATSC M/H 표준을 통한 Mobile 방송서비스 구현을 위해서는 권역별 SFN 구성에 대해서도 다각적인 연구가 필요할 것이다.

ATSC 방식의 약점이었던 이동수신과 SFN 구현을 개선하기 위하여 몇 가지 제안서가 제출되면서 표준이 완료되었지만 실제로 서비스를 구현하기까지는 많은 비용과 시간이 소요될 전망이다. 따라서, 주파수 자원의 효율적인 이용과 새로운 서비스 창출을 위하여 ATSC SFN 구현 기술에 대한 연구 및 검토가 좀 더 필요한 시점이라 할 수 있다.

참고 문헌

1. <http://www.atsc.org/standards, practices>
A/53(ATSC Digital Television Standard, Parts 1-6, 2007)
A/110B(Synchronization Standard for Distributed Transmission)
A/111(Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks)
2. <http://www.atsc.org/ATSC Forum, Seminar>
Overview of ATSC, Mark Richer
A-VSB update, John godfrey