

T-DMB Synchronizer 설계 기술

>> Design Methodology

MM



T-DMB(지상파 DMB) Synchronizer 설계 기술

이주현 선임연구원_한국전자통신연구원 응용SoC개발팀(juehyun@etri.re.kr)

엄낙웅 책임연구원_한국전자통신연구원 응용SoC개발팀(nweum@etri.re.kr)

1. Introduction

1.1. T-DMB and EUREKA-147

T-DMB(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting)는 이동 중에도 고품질의 비디오/오디오 방송을 시청할 수 있도록 하자는 취지에서 고안된 것으로 유럽형 라디오 방송의 표준인 EUREKA-147 표준을 근간으로 멀티미디어 송수신에 필요한 성능을 만족시키기 위해 Outer decoder로 Convolutional Interleaver와 Reed-Solomon Decoder를 채택하고 멀티미디어 지원을 위한 H.264/AVC(Advanced Video Coding), BSAC(Bit Sliced Arithmetic Coding)의 기술이 결합하여 탄생하였다. T-DMB의 채널 규격은 EUREKA-147의 규격을 따르고 있어서 T-DMB의 동기 가능 블록을 이해하고 구현하기 위해서는 EUREKA-147의 채널 규격의 이해가 선행되어야 할 것이다.

EUREKA-147 방식은 디지털 라디오 방송을 위한 ITU-R의 여러 개의 권고안 가운데 Digital System A로 불리고 있으며, 초단파/극초단파대(VHF/UHF), 지상파 및 위성 디지털 음성방송으로 차량수신용, 휴대수신

용, 고정수신용으로 권고하고 있으며 다음과 같은 특징들이 있다.

- 단일 주파수망(Single Frequency Network : SFN) 구현으로 난청 지역 해소 가능

〈표 1〉 EUREKA-147 방식의 각 모드별 전송 파라미터

Transmission Mode	I	II	III	IV
Suitable Application	Terrestrial (SFN)	Terrestrial	Satellite/Cable Transmission	Hybrid Satellite/?
Nominal Frequency Range	~375 MHz	~1.5 GHz	~3 GHz	1.5 GHz
Size of FFT	2048	512	256	1024
Carrier Number/Space	1,536/1 KHz	384/4 KHz	192/8 KHz	768/2 KHz
Guard Interval Duration	246 μ S	62 μ S	31 μ S	123 μ S
Useful Symbol Duration	1 μ S	250 μ S	125 μ S	500 μ S
Transmission Frame Duration	96 mS	24 mS	24 mS	48 mS
Tuning Accuracy	\pm 50 Hz	\pm 200 Hz	\pm 400 Hz	\pm 100 Hz
Symbol Bandwidth	1,536 MHz			
Bit Rate	2.4 Mbps			
BER	MUSICAM:(10e-4), AVC/BSAC:(10e-6)			
Error Correction	Constraint Length	7		
	Max. Decoding Rate	1.824 Mbps		
	Code Rates	1/4 ~ 8/9		

- 강력한 이동(150Km 이상) 및 휴대 수신 가능
- 유연한 서비스 (비디오, 오디오, 데이터), 다중화 기능 제공
- 아날로그 대비 1/10의 저출력으로 동일한 커버리지 송출가능(1Kw)
- 멀티패스에 강하여 이동 중 수신 품질 우수

EUREKA-147 방식은 1.536MHz의 대역폭을 사용하며, 다수의 CD 음질 오디오 서비스가 가능하도록 MPEG Audio Layer II에 기반한 고품질 오디오 압축 기술(MUSICAM)을 사용한다. 이동체 수신에서 다중 경로 페이딩 및 도플러 확산에 대처하기 위해 COFDM 전송 방식을 사용하며 변조방식은 $\pi/4$ -DQPSK를 사용하며 오류 정정 부호화 방식으로는 1/4 길쌈 부호(convolutional code)를 기반으로 한 RCPC(Rate Compatible Punctured Code)를 사용하고, 오디오 및 데이터의 연접 오류(Burst Error)를 방지하기 위한 384msec의 데이터에 대해 인터리빙(Interleaving) 기술을 적용한다.

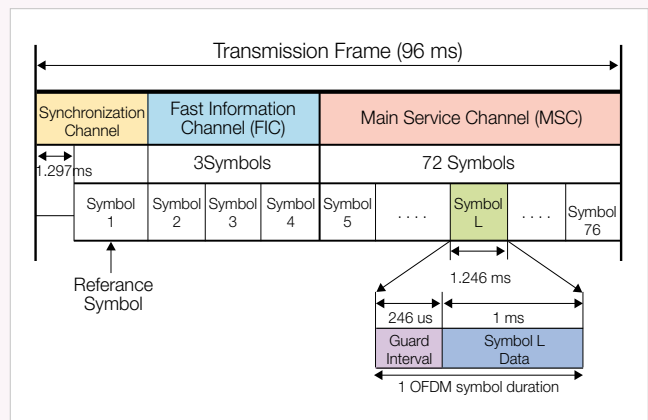
또한, 제한된 대역폭과 주어진 채널 환경 하에서 여러 개의 오디오 및 데이터를 최적 데이터율로 전송하기 위해 UEP(Unequal Error Protection) 및 EEP(Equal Error Protection)을 두고 있으며 오디오 데이터의 경우 오류에 대한 민감성을 고려하여 UEP(Unequal Error Protection)을 사용한다. 전송규격은 지상 단일주파수방송망(SFN) 밴드 I,II,III의 지역방송에 적합한 전송모드 I, 밴드 I, II, III, IV, V와 L 밴드에 적합한 전송모드 II와 IV 그리고, 3 GHz 이하의 지상방송, 위성방송, 케이블, 지상 및 위성방송에 적합한 전송모드 III의 4가지 전송모드를 정의하고 있다. 표 1에 EUREKA-147 규격의 각 모드별 전송 파라미터가 나타나 있다. 한국형 T-DMB는 현재 전송모드 I을 사용하고 있다.

1.2. T-DMB Synchronization Channel

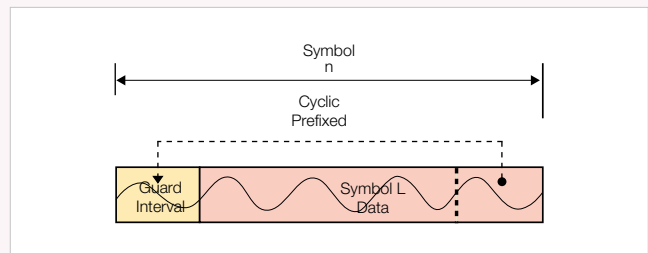
전송모드 I에서의 DMB 전송 프레임의 구성은 그림 1과 같다. 프레임의 첫 심볼은 NULL symbol 이며 다음은 PRS(Phase Reference Symbol)로서 DQPSK(Differential QPSK)의 시작 위상(Phase)에 대한 기준 심볼이다. NULL 심볼과 PRS 심볼은 동기를 위해 삽입된 심볼이기도 하다. 이후의 심볼들은 모두 데이터 심볼들이며 그림 2에서와 같이 ISI(Inter Symbol Interference)를 피하기 위해 각 심볼들은 CP(Cyclic Prefix)가 적용되어 있다.

DMB Synchronizer에서는 NULL symbol, PRS symbol, Guard Interval(CP)의 3가지를 이용하여 동기화 관련된 모드검출, 주파수 및 타이밍 옵셋을 추정하고 이를 보정하게 되며 각각은 다음과 같은 용도로 사용된다.

- NULL SYMBOL : AMD(Auto Mode Detection) 및 Frame 동기에 사용
- PRS SYMBOL : Coarse Frequency 옵셋추정 및 Timing Offset 추정에 사용
- Guard Interval(CP) : Fine Frequency 옵셋추정에 사용



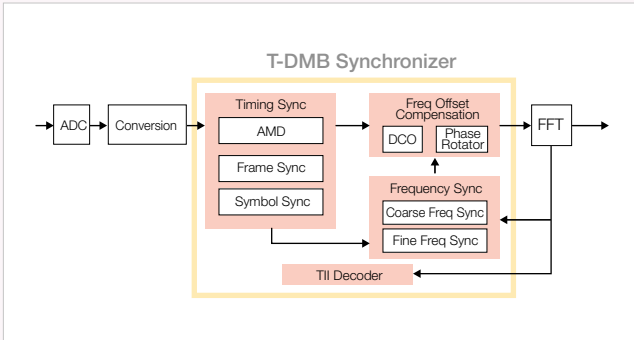
〈그림 1〉 EUREKA-147 방식 전송모드 I에서의 전송 프레임



〈그림 2〉 Cyclic Prefixed SYMBOL

2. T-DMB Synchronizer

T-DMB 수신기에서 FFT를 이용하여 수신된 심볼들을 복조(Demodulation)함에 있어 각 부 반송파 간의 ICI(Inter Carrier Interference)에 의한 성능 저하 현상을 없애기 위해서는 정확하게 수신 신호의 주파수를 송신단과 일치시켜 주어야 하고 또한 앞, 뒤 심볼들에 의한 간섭 현상인 ISI(Inter Symbol Interference)와 다중경로 간섭 현



〈그림 3〉 T-DMB Synchronizer 블록도

상(Multi-path Fading)에 의한 신호의 열화를 최소화 하여야 한다. 또한 한국형 T-DMB 방식에서 추진하고 있는 중계망 유료화 관련 사항을 지원하기 위해 TII(Transmitter Identification Information) Decoder 또한 필요하다. 이러한 신호의 요구사항을 만족하기 위한 T-DMB 동기 블록의 구성은 그림 3에 나타나 있으며 각각의 블록의 기능이 표 2에 나타나 있다.

〈표 2〉 T-DMB 동기 기술 구성요소

구성요소	기능
AMD	Auto Mode Detection 블록, 수신된 신호의 전송 모드를 판별
Timing Synchronizer	수신된 신호에서 프레임의 대략적인 위치를 찾아내는 프레임 동기 및 각 심볼에서 앞과 뒤 심볼에 의한 간섭과 다중경로간섭을 최소화 할 수 있는 입력 신호의 위치를 정확하게 찾아내어 FFT에 입력해 주어 송신 심볼의 복조를 가능하게 하는 시간 동기 블록
Frequency Synchronizer & Freq Offset Compensation	송신단과의 수신단 사이의 주파수 옵셋의 정수배 및 소수배에 해당하는 값을 찾아내고 이들을 이용하여 수신 신호의 주파수 옵셋을 보정하는 주파수 동기 및 보정 블록
TII Decoder	전송 프레임의 NULL 구간에 포함되어 있는 TII 정보를 해석

2.1. Auto Mode Detection

EUREKA-147 프레임의 널(Null) 심볼의 길이가 각 전송 모드 별로 서로 다른 점을 이용하여 입력 신호에서 NULL 심볼의 길이를 판단한 후 표 3에서의 각 모드 별 NULL 심볼 길이를 참조하여 모드를 판단한다.

EUREKA-147 표준에서는 표 1에서와 같이 각 모드 별로 전송 파라미터가 모두 상이하므로 동기 기능 블록에서는 맨 처음 모드를 검출하여야 이후의 다른 동작이 가능하다.

〈표 3〉 전송 모드 별 NULL SYMBOL 길이

Transmission Mode	I	II	III	IV
Null Symbol Duration (T _{null})	1,297 ms	324 μ s	168 μ s	648 μ s
Transmission Frame Duration (T _F)	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms

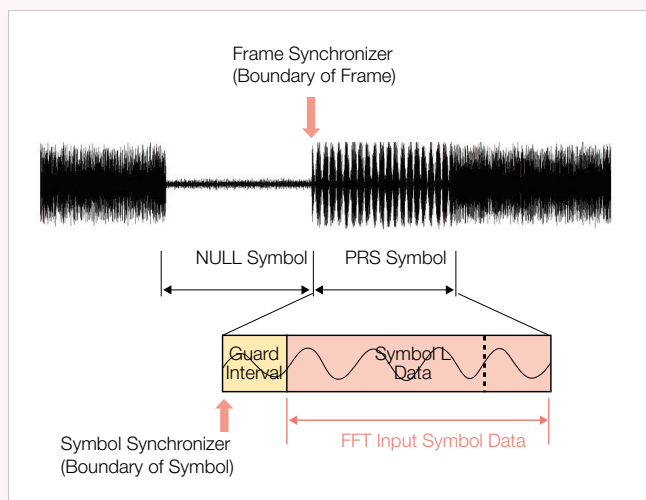
2.2. Timing Synchronization

T-DMB 에서의 시간 동기 기능은 크게 다음으로 나누어 볼 수 있다.

- 프레임 동기 (Frame Synchronization)
- 심볼 동기 (Symbol Synchronization)
- 샘플 동기 (Sampling Clock Synchronization)

T-DMB의 시간 동기의 목적은 입력 신호에서 다중경로(Multi-path fading)에 의한 ICI/ISI의 영향을 최소화 할 수 있는 FFT 입력 데이터의 위치 즉, FFT의 입력으로 사용될 심볼의 정확한 위치를 찾는 것이 목적이 라고 할 수 있다. 또한 정확히 찾아진 심볼의 위치 정보는 주파수 옵셋의 추정을 위한 Guard Interval의 추출에도 사용이 된다.

시간 동기에서 필요한 기능 블록은 표 4에 나타난 바와 같이 수십 샘플의 오차 범위에서 프레임의 경계를 찾아내는 프레임 동기, 프레임 동기의 결과를 바탕으로 1 샘플 이내의 오차 범위로 심볼의 경계를 찾아내는 심볼 동기 ADC 샘플링 Clock의 Locking을 위한 샘플 동기로 구성 된다.(표 4), (그림 4)



〈그림 4〉 시간 동기 기능 개념도

〈표 4〉 시간 동기 블록의 구성 요소

구성요소	기능
Frame Synchronization	수십 샘플의 오차 범위에서 프레임의 경계를 찾아냄
Symbol Synchronization	프레임 동기의 결과를 바탕으로 1 샘플 이내의 오차 범위로 심볼의 경계를 맞춤
Sampling Clock Synchronization	ADC 샘플링 Clock의 Locking

2.3. Frequency Synchronization

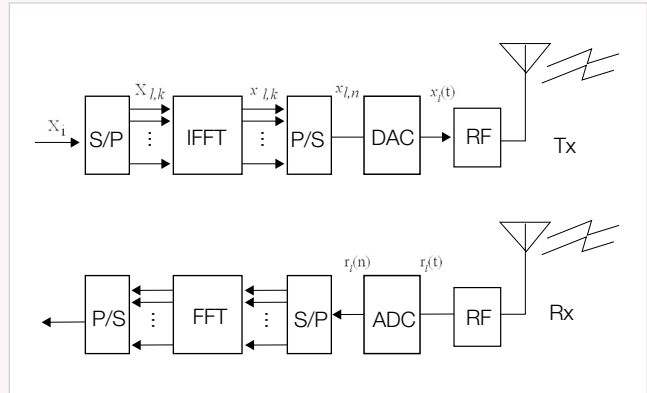
일반적인 OFDM 송수신 시스템은 그림 5과 같이 구성된다. 송신 단에서 보낸 신호의 스펙트럼의 주파수와 실제로 수신한 신호의 주파수가 서로 완전히 일치하지 않아서 주파수 오프셋이 그림 6에서 보는 바와 같이 발생하고 이 때문에 수신 단에서의 DFT(또는 FFT)과정에서 누설(Leakage) 현상이 발생하여 수신 성능을 저하 시키는 문제가 발생한다. 이러한 주파수 오프셋의 주된 원인으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 수신단과 송신단의 발진기의 주파수 차이
- 수신단 및 송신단의 발진기 주파수의 시간에 따른 변화
- 수신체의 이동에 따른 도플러 효과

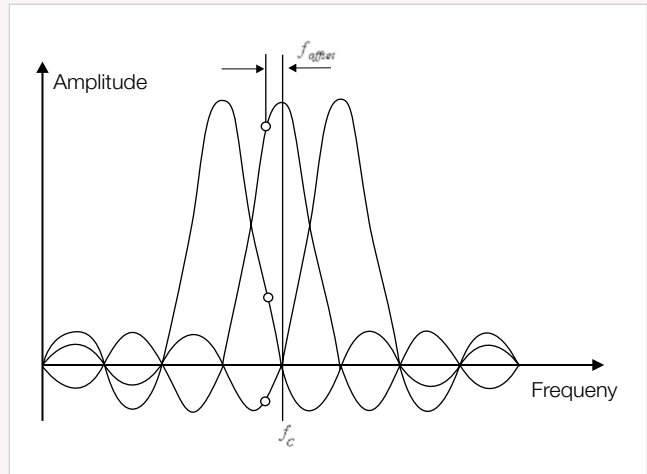
주파수 동기의 역할은 이러한 주파수 오프셋(그림 6의 f_{offset})을 추정하고 이를 보정하는 역할을 수행하는 것이다. 주파수 오프셋은 대부분의 추정 알고리즘에서 부 반송파 간격에 정규화된 형태로 구하게 되며 정수 값에 해당하는 부분과 소수 값에 해당하는 부분을 서로 독립적으로 알고리즘을 적용하여 추정한 후 이를 합하여 DCO(Digital Controlled Oscillator)와 Phase Rotator를 이용하여 보정하게 된다. 주파수 동기의 주요 기능 블록은 표 5와 같다.

〈표 5〉 주파수 동기 블록의 구성요소

구성요소	기능
Coarse FrequencyOffset Estimator (정수배 주파수 동기)	부 반송파 간격에 정규화된 주파수 오프셋의 정수 part를 추정
Fine FrequencyOffset Estimator (소수배 주파수 동기)	부 반송파 간격에 정규화된 주파수 오프셋의 소수 part를 추정
DCO	추정된 주파수 오프셋의 정수배, 소수배 part를 합하여 이에 해당하는 Error신호를 생성 $Error = e^{-j2\pi en/N}$ <i>e</i> : normalized frequency offset <i>N</i> : number of FFT pt.
Phase Rotator	DCO에서 출력되는 Error 신호를 이용하여 입력 신호에 대한 보정을 수행



〈그림 5〉 OFDM 송수신 시스템 개념도



〈그림 6〉 Frequency Offset & DFT leakage

주파수 동기 알고리즘 및 심볼 동기 알고리즘은 어떠한 알고리즘을 사용하는가에 따라 상호간의 의존성(Dependency)이 발생하므로 각 알고리즘의 초기 동작 순서들도 중요한 고려 사항이 된다.

일반적으로 QPSK modulation을 사용하는 OFDM 시스템에서 주파수 오프셋에 의한 SNR 성능의 저하가 0.1dB 이내로 하려면 부 반송파 간격의 1%이내로 주파수 오프셋을 보정하여 주어야 한다.

2.4. TII Decoding & Conditional Access

EUREKA-147 표준에서의 TII 는 현재 수신하고 있는 송신국의 대략적인 위치 정보(경도/위도)를 알려주기 위해 고안된 것으로 표 6에 나타난



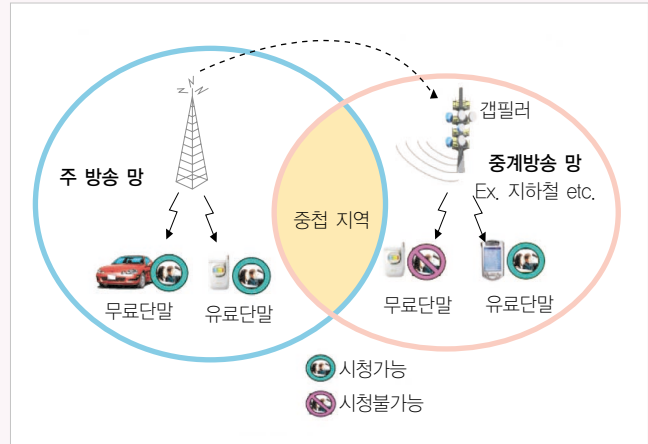
〈표 6〉 TII 정보 패턴 (p:MainID)

P	$\alpha_b(P)$ b=0,1,2,3,4,5,6,7	P	$\alpha_b(P)$ b=0,1,2,3,4,5,6,7	P	$\alpha_b(P)$ b=0,1,2,3,4,5,6,7
0	00001111	24	01011100	48	10101001
1	00010111	25	01100011	49	10101010
2	00011011	26	01100101	50	10101100
3	00011101	27	01100110	51	10110001
4	00011110	28	01101001	52	10110010
5	00100111	29	01101010	53	10110100
6	00101011	30	01101100	54	10111000
7	00101101	31	01110001	55	11000011
8	00101110	32	01110010	56	11000101
9	00110011	33	01110100	57	11000110
10	00110101	34	01111000	58	11001001
11	00110110	35	10000111	59	11001010
12	00111001	36	10001011	60	11001100
13	00111010	37	10001101	61	11010001
14	00111100	38	10001110	62	11010010
15	01000111	39	10010011	63	11010100
16	01001011	40	10010101	64	11011000
17	01001101	41	10010110	65	11100001
18	01001110	42	10011001	66	11100010
19	01010011	43	10011010	67	11100100
20	01010101	44	10011100	68	11101000
21	01010110	45	10100011	69	11110000
22	01011001	46	10100101		
23	01011010	47	10100110		

패턴을 NULL 심볼 구간에 전송하게 된다. 실제 표 6에 나타난 각각의 p 값(MainID:0~69)은 각각의 패턴의 심볼 내에서의 쉬프트된 위치를 나타내는 c값(SubID:0~23)과 함께 조합하여 사용되어 1680 가지의 패턴을 가지게 된다.[2]

TII (Transmitter Identification Information)에 대한 구현은 EUREKA-147 [2] 표준에서는 송신기에 있어서는 필수(Mandatory) 사항이나 수신기 구현에 있어서는 Optional 사항으로 분류 되어 있다. 하지만 T-DMB 경우 지하철과 같은 음영지역에서의 중계망에 대한 유료화가 추진되면서 유료/무료 사용자에 대한 구별 및 제한적 수신을 위해 TII 정보를 이용하는 방법이 추진되고 있다.

제한 수신에 대한 상세한 표준은 몇몇 단계에서 방식을 제안하고 선정하는 과정에 있어서 아직 미정이지만 (2005년 8월 현재) TII 정보를 사용하는 것은 공통된 의견이어서 T-DMB에 있어서 TII Decoding 기능과 CAS(Conditional Access) 기능에 대응하는 De-Scrambling 기능은 필수적 사항이 될 전망이다



〈그림 7〉 T-DMB 중계망 유료화 개념도

T-DMB에서의 제한적 수신은 그림 7에 나타난 것처럼 주 방송망에서는 본래의 취지대로 무료로 방송을 하여 유/무료 단말기 모두 방송을 수신할 수 있도록 하며 중계망의 경우에는 중계기 설치에 필요한 투자 비용을 고려하여 유료화 함으로서 무료 단말기의 경우에는 중계망에서는 수신하지 못하도록 하는 것이 기본 개념이다. 이러한 방법을 실현 하는 수단으로 주 방송망과 중계방송 망의 TII 정보를 서로 다르게 송신하여 수신기에서는 수신된 TII 정보와 함께 별도로 제공되는 키 테이블을 이용하여 De-scrambling을 수행하게 될 것으로 보인다.

그림 7의 중계방송 망의 유료화에는 몇 가지 극복해야 할 사안들이 있다. T-DMB의 채널 규격의 근간이 되는 EUREKA-147 방식 자체가 CAS에 대한 고려는 되어 있으나 방송망에 따라 CAS를 적용한다는 개념의 고려가 없었으므로 표준의 틀을 벗어나지 않는 범위에서 그림 7과 같은 개념을 실현 시키려다 보니 다음과 같은 문제점들이 현재 이슈가 되고 있다.

- TII 에 의한 전체 수신 성능의 저하 문제
- 중첩지역에서의 수신 문제
- 키 테이블의 보안 문제
- Hardwired Logic 칩 구현 업체의 반발

TII 정보는 송신 단에서 모든 블록의 처리가 완료된 후 RF 신호를 생성하기 직전에 삽입하게 된다. 따라서 Error Protection이 전혀 되어 있지 않으므로 TII 수신 성능이 전체 시스템의 수신성능의 Bottle Neck이 될 수도 있는 문제가 있어 고성능의 TII 수신 알고리즘의 개발이 요구되고 있다.

〈표 7〉 구현 방식에 따른 소비전력 비교

Company Spec.	Including DSP				Fully Hardwired (Optimized)
	SAA3500H	U2739M	Sony	SH7490	
Main Clock (MHz)	24,576	24,576	24,576	16,384	24,576
RAM interface	Internal 0.5Mb	External 4Mb	Internal 2Mb/DRAM	External 2Mb	External 4Mb
Source Decoding	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Outer Decoding	No	No	No	No	Yes
Silicon Technology	0,5um	0,35um	0,35um	NA	0,18um
Power Consumption	>600mW	860mW	750mW	600mW	<100mW

또한 주 방송망과 중계방송 망은 중첩지역에서의 수신을 위해서는 동일한 키 값으로 스크램블을 해야만 하고 이에 따라 주 방송망과 중계방송 망의 키 값에 대한 보안 또한 중요한 사안으로 대두되어 키 테이블을 주기적으로 변경하여 사용하는 방법 등이 고려되고 있다.

3. T-DMB Synchronizer Implementation

T-DMB Synchronizer의 설계에 있어 크게 2가지의 접근 방법을 고려해 볼 수 있다. 그 첫 번째는 DSP등의 프로세서를 이용한 SDR(Software Defined Radio) technique 방식과 Fully Hardwired Logic 기반 구현의 방식이 그 것이다. SDR technique 방식은 개발 기간이 단축되고 변경 및 수정이 용이하여 TTM(Time-To-Market)에 관점에서 적당하다. 또한 DMB+DVB-H 등의 Multi Standard 지원 수신기의 관점에서 장점이 있다고 할 수 있다. 반면에 하드웨어 최적화를 통한 저전력 구현에는 적합하지 않으므로 전력이 일반적으로 Fully Hardwired 방식 보다는 큰 단점이 있다.

이와는 달리 Fully Hardwired 설계 방법은 개발 기간이 길며 알고리즘의 변경 및 수정이 어렵다는 단점이 있으나 Clock Gating, Multi Threshold Control, Deep Power-Down 등의 저전력 회로 기술을 적용할 수 있고 회로 최적화를 통해 하드웨어 크기를 줄일 수 있어 소비전력 절감이 용이한 장점이 있다. 이러한 점은 구현방식에 따른 소비전력을 비교한 표 7에서 잘 나타나 있다. Fully Hardwired 방식으로 동기 블록을 구현 할 경우 SDR 방식보다 동기 획득시간이 빨라져 수신기의 초기 기동 시간이 빨라지는 장점도 있다.

T-DMB의 채널 규격의 경우 이미 알고리즘에 대한 연구가 많이 이루어져 왔으므로 구현 후 알고리즘의 변경의 이슈가 없다고 할 수 있고 또한 Mobile 환경 이므로 저전력화는 필수적 요소이므로 Fully Hardwired 방식의 구현 접근 방법이 궁극적인 솔루션으로 판단된다. Ⓜ

▶ 참고문헌

- [1] TTAS.KO-07.0026 초단파 디지털라디오방송(지상파 DMB) 비디오 송수신 정합표준
- [2] ETSI EN 300 401 v1.3.3 (2001-05), Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting to mobile, portable and fixed receivers
- [3] OFDM for Wireless Multimedia Communications , Richard Van Nee, Ramjee Prasad
- [4] Moose, Paul H. "A Technique for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Frequency Offset Correction." IEEE Transactions on Communications, vol. 42, No. 10, Oct. 1994, pp. 2908-2914
- [5] Daffara, Flavio and Ottavio Adami. "A New Frequency Detector for Orthogonal Multicarrier Transmission Techniques." IEEE 1995, pp. 804-809
- [6] Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM" IEEE Transactions on communications, vol.45, no.12, Dec.1997, pp. 1613-1621
- [7] Classen, Ferdinand. Heinrich Meyr. " Frequency Synchronization Algorithms for OFDM Systems Suitable for Communication Over Frequency Selective Fading Channels." IEEE Transactions, Mar. 1994, pp 1655-1659
- [8] Keukjoon Bang , Namshin Cho "A Coarse Frequency Offset Estimation in an OFDM System Using the Concept of the Coherence Phase Bandwidth", IEEE Transactions on Communications, vol.49, no.8, Aug. 2001.
- [9] Otto Klank, Dominique Madeleine, "METHOD FOR FREQUENCY CORRECTION OF MULTICARRIER SIGNALS AND RELATED APARATUS", US patent 5970397, Oct.19,1999
- [10] Richard Van Nee, Ramjee Prasad, 조용수 역 "무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM 기초" ISBN 89 7163 146 5 93560
- [11] Wolfgang Hoeg, Thomas Lauterbach "Digital Audio Broadcasting Principles and Applications" ISBN 0 471 85894 3