



IEEE 802.15.4g SUN 표준 기술 동향

신철호* 오미경** 최상성***

IEEE 802.15 TG4g SUN(Smart Utility Network) 표준화 그룹에서는 스마트 그리드와 연계하여 전기, 수도, 가스 등과 같은 유틸리티 공급자와 사용자가 무선 네트워크를 이용하여 상호 정보를 교환함으로써 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 무선 전송기술에 대한 표준을 추진하고 있다. 현재 표준으로 제안된 기술은 무선 메터링 서비스를 위한 저전력 설계와 열악한 전파 환경을 극복하기 위한 높은 링크 마진 제공에 의한 메쉬 네트워크 기능 지원 강화로 향후 전력 수용가 지역에서 스마트 그리드와 연계된 다양한 서비스 창출이 기대되는 무선 전송기술로 기대되고 있다. 본 고에서는 스마트 유틸리티 네트워크에 대한 개요와 IEEE802.15.4g 표준화 동향 및 관련 표준 기술의 개요에 대해 기술하였다. ☐

목	차
---	---

- I. 서론
- II. SUN 기술 개요
- III. 표준화 추진 현황
- IV. SUN 표준기술 개요
- V. 결론

I. 서론

스마트 그리드(Smart Grid) 기술은 지능형 전력망을 통한 효율적 에너지 관리 및 비용절감, 신재생 에너지 생산 및 연계를 통한 저탄소 지향 등을 목적으로 미국, 유럽 등 선진국에서는 2000 년 초부터 IT 기반의 다양한 전력망 정책을 추진하고 있으며, 국내에서도 2009 년부터 국가 단위의 정책 및 전략을 추진하고 있다.

최근 IEEE 802.15.4g 에서는 스마트 그리드와 연계하여 매우 넓은 지역 내의 다양한 네트워크들을 응용 지원할 수 있는 스마트 유틸리티 네트워크 같은 국제 공통 규격의 무선 전송기술의 표준 제정을 위해 2009 년 1 월에 Call for Proposals 을 승인하고 5 월부터 PHY 규격 제안서를 받아 표준화를 진행하고 있다.

* ETRI 그린융합무선시스템연구팀/책임연구원
 ** ETRI 그린융합무선시스템연구팀/선임연구원
 *** ETRI 그린융합무선시스템연구팀/팀장

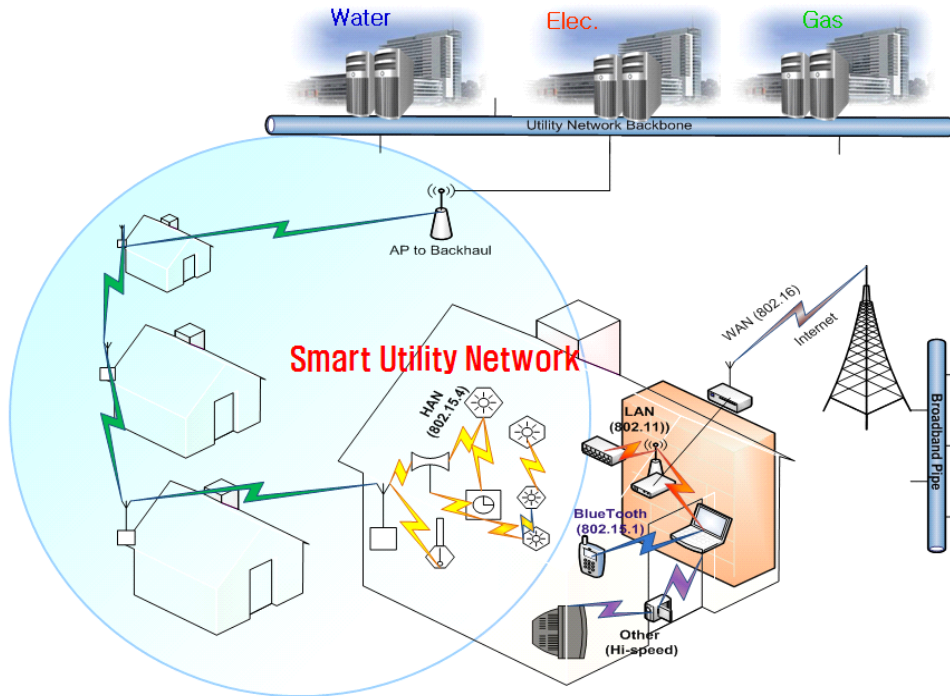
SUN(Smart Utility Network)을 지원하기 위한 PHY의 요구 조건으로는 낮은 가격의 구현 구조, 최소 40kbps에서 최대 1Mbps 미만의 데이터 전송률, 1,500 Octet 이상의 페이로드(Payload), 최소 3개 이상의 동시 운용 가능한 네트워크, 혼잡한 주파수에서 성공적인 운용을 보장하기 위한 주파수 공유 기술 및 지하실 및 코너와 같은 SUN 환경에서 최적의 에너지 효율적인 링크마진을 제공하는 것이다.

이러한 SUN PHY 운용을 위한 주파수 대역으로는 우선적으로 700MHz~1GHz 대역 및 2.4GHz 대역을 포함한 지역적으로 비면허 사용이 가능한 주파수 대역이 검토되고 있으며, 각 지역별 주파수 대역에서 정한 기술기준에 따라 사용할 수 있는 채널 수와 채널 대역폭을 이용하여 다른 무선 통신 시스템과의 주파수 공유 상황에서 SUN을 위한 무선 통신 시스템을 구현할 수 있는 다양한 PHY 규격들이 IEEE 802.15.4g에 제안되었다.

IEEE 802.15.4g에서 표준 기술로 검토 중인 기술들은 크게 MR-FSK, MR-OFDM 및 MR-O-QPSK이며, 이러한 전송 기술들은 각 지역에서 사용 가능한 비면허 주파수 사용 현황을 만족하기 위해 수십 kHz~수 MHz의 점유 대역폭을 사용할 것을 제안하고 있다. 초기 SUN 응용과 추가적인 조건 없이 SUN 주파수를 확보하기 위해서는 200~300kHz 이하의 점유 주파수 대역폭을 사용하면서 타 통신 시스템과의 주파수 공유를 위해 주파수 호핑을 사용하는 전송 방식이 유리하지만, 향후 SUN 응용의 확장을 위해서는 데이터 전송률이 너무 낮다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.15.4g에서는 현재 당장 운용이 용이한 저속 SUN 시스템과 더불어 향후 SUN 응용 확장을 위해 보다 넓은 점유 대역폭을 사용하면서 높은 데이터 전송률을 제공할 수 있는 방식을 SUN PHY 표준 규격으로 검토하고 있다. 본 고에서는 SUN의 개념, 표준화 진행 사항 및 표준에서 검토하고 있는 표준안의 주요 내용에 대해 기술하고자 한다.

II. SUN 기술 개요

SUN은 발전과 배전에 관련된 기존 전력 망에 가정과 상업 지구에 존재하는 미터기, 가전기 기, 공공 시설 및 전기자동차의 전력 소비량 계측과 모니터링을 능동적이고 쉽게 수행하기 위해 필요한 양방향 통신 방식을 제공하는 것이다[1],[2]. SUN의 가장 기본적인 응용은 (그림 1)과 같이 각 가정에서 사용하는 전력량을 자동으로 SUN을 이용하여 전기를 위주로 한 수도/가스 등의 양방향 통합 원격 검침 망을 구축하는 것이다. 이러한 가정과 기존 전력망 간의 양방향 통신 망은 단순한 가정 내의 전력 소비량 뿐만 아니라, 가정 내에서 생산할 수 있는 태양열 및 풍



(그림 1) SUN 을 이용한 양방향 통신망 구축 예제

력 발전과 같은 새로운 자연친화적 전력 공급 망을 기존 전력 망에 통합할 수 있는 방법을 제시할 수 있으며, 전력 소모량에 따른 전기 요금을 차별화하고 이를 각 가정에서 확인할 수 있도록 함으로써 연중 피크 전력량을 평준화하여 불필요한 전력 설비의 추가 증설을 방지할 수도 있다. 또한 요즘 친환경 자동차로 각광받기 시작한 전기 자동차와 연계하여 전기 자동차의 충전과 전력 저장소로서 이용할 수 있는 특성을 이용하여 저가격의 전기차, 충전인프라 구축을 통한 전기차 활성화에도 기여할 수 있다.

표준화 초기 단계에서는 SUN PHY 기술로서 IEEE 802.15.4 를 수정하여 사용하는 것에 대해 검토하였으나, 스마트그리드 응용에 필요한 1km 의 통신 거리, 실외 환경에서의 페이딩에 대한 통신 방식의 강인성 및 기존 통신 방식들과의 공존성을 고려할 경우, IEEE 802.15.4 를 비롯한 기존의 802 표준 규격들로는 SUN 응용의 요구 사항을 만족시키기 어려워서 SUN 응용을 위한 새로운 PHY 표준을 IEEE 802.15.4g 에서 진행하게 되었다.

현재 IEEE 802.15.4g 표준 그룹에서는 SUN 응용을 위한 저 복잡성, 저 가격 및 저전력 무선 통신 방식의 표준화를 목적으로 하고 있다. 이러한 표준은 기본적으로 IEEE 802.15.4 기술에 대한 Alt-PHY 를 제공하는 것이다. 새로운 통신 규격은 주로 실외에서 사용되고, 저속 데이

터 전송률을 제공하면서 IEEE 802.15.4 의 Alt-PHY 로서 정의되며, PHY 표준의 구현을 지원하기 위해 MAC 표준으로는 IEEE802.15.4g PHY 를 지원할 수 있는 IEEE 802.15.4 MAC 의 수정안을 사용하도록 정의하고 있다[3],[4].

본 고에서는 IEEE 802.15.4g 에서 표준화 진행중인 SUN 기술에 대한 현재 진행 사항 및 기술 개요를 소개하고자 한다.

III. 표준화 추진 현황

IEEE 802.15.4g 에서는 2009 년 1 월에 발의한 Call for proposals 을 시작으로 2009 년 5 월에 제안서를 마감한 후, 제안된 기술들 간의 통합을 통해 IEEE 802.15.4g 의 표준 규격으로 MR-FSK, MR-OFDM 및 MR-O-QPSK 규격을 제안하고 있다. 각 통신 방식 간의 통합을 위한 오랜 노력 끝에 2010 년 4 월 2 일부터 5 월 12 일까지 SUN 표준 제안서에 대한 Letter Ballot 51 을 수행하였으나, 지난 2010 년 5 월 Interim meeting 에서 유효 투표자의 75% 이상의 찬성을 얻지 못해 LB51 은 부결되었으며 표준안에 제시된 기술의 완성도가 떨어지는 부분을 보완하기 위한 총 1,851 개의 코멘트(Comments)가 제출되었다.

<표 1> SUN 표준화 일정

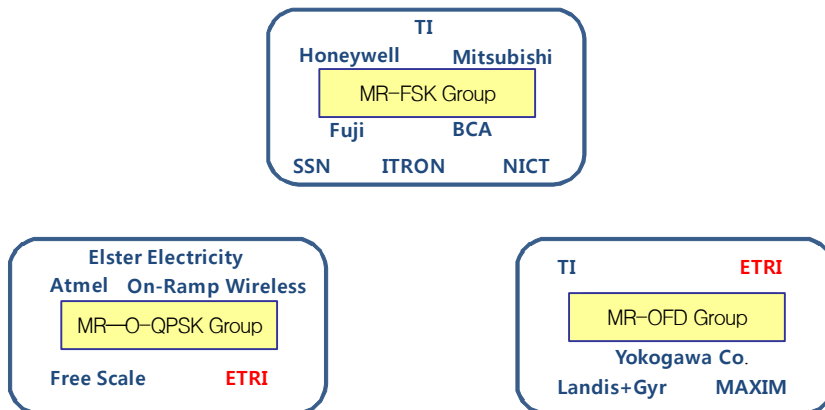
구분	2010												2011						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
Letter Ballot			×																
Comment Resolution				×	×	×	×	×	×										
Letter Ballot									×	×	×								
Comment Resolution											×								
Resolution 1											×	×							
Comment Resolution													×						
Resolution 2													×	×					
Comment Resolution															×				
Sponsor Ballot															×	×			
Comment Resolution																	×	×	
Resolution 1																		×	×
Comment Resolution																			×
Resolution 2																			×
Seek conditional EC approval for Revoom																			×

<자료>: Submission deadlines for Revcom are July 29, Oct 17

2010년 7월 샌디에고 plenary meeting 을 거쳐 2010년 9월 하와이 미팅까지 LB51 에 대한 comment resolution 을 수행한 후, 2010년 10월 1일부터 11월 4일까지 Letter Ballot 51 에 대한 Comments resolution 결과를 바탕으로 Letter Ballot 59 를 추진하였으며, 2010년 11월 Dallas 미팅에서 87.64%의 찬성으로 LB59 승인하고 LB59 에 제출된 1,188 개의 comments resolution 을 진행하고 있다. LB59 에 제출된 1,188 개 코멘트 중 상당수는 지난 LB51 의 합의 내용을 반영하는 내용이므로, 향후 LB 59 이후의 표준화는 무난하게 진행될 수 있을 것으로 예상되며, 2011년 7월까지의 표준화를 완료할 수 있을 것으로 기대된다. 현재까지 결정된 잠정적인 세부 일정은 <표 1>과 같다[5].

IV. SUN 표준 기술 개요

IEEE 802.15.4g 에서는 (그림 2)와 같이 MR-FSK, MR-OFDM 및 MR-O-QPSK 세 종류의 Alt-PHY 를 SUN 디바이스를 위한 표준으로 고려하고 있다. 표준에서 사용하고 있는 MR 은 다양한 데이터 전송률을 제공할 수 있다는 의미의 Multi-Rate 과 다양한 지역에 적합한 시스템 규격을 제공할 수 있다는 Multi-Region 의 의미를 포함하고 있다. MR-FSK PHY 는 전송신호가 일정하기 때문에 전송 전력 효율이 좋다는 장점이 있고, MR-O-QPSK PHY 는 현재 IEEE 802.15.4-2006 O-QPSK PHY 와 그 특징을 공유할 수 있어 설계가 수월하다는 장점이 있다. 그리고 MR-OFDM PHY 는 열악한 무선 환경에서 신뢰성 있는 데이터 통신과 상대적으로 고속인 전송속도를 가질 수 있다는 장점이 있다. 본 장에서는 이 3 가지 PHY 에 대해서 간략하게 설명하고자 한다.



(그림 2) SUN 표준화를 위한 3 가지 Alt-PHY

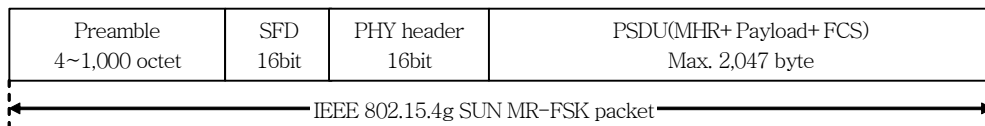
1. MR-FSK PHY 기술

MR-FSK PHY에서는 전송 스펙트럼 마스크를 만족하는 2 또는 4 레벨 Filtered FSK 변조 방식을 사용한다. 각 주파수 대역에 대한 변조 기법 및 채널 파라미터는 <표 2>와 같다[6]. 여기서 동작모드 1은 반드시 지원을 해야 하며, 동작모드 2와 3은 옵션으로 제공할 수 있다.

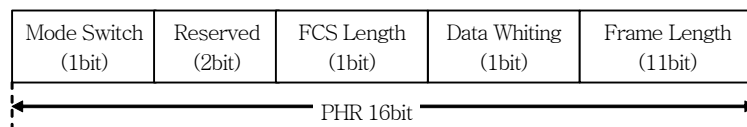
MR-FSK PHY 패킷은 (그림 3)과 같이 프리앰블과 SFD를 포함하는 SHR(Synchronization Header), PHR(PHY Header) 그리고 PSDU(Physical Layer Service Data Unit)로 구성되어 있다. Preamble은 '01010101' 시퀀스를 4~1000번 반복하게 되어 있다. SFD는 16비트 시퀀스

<표 2> 주파수 대역에 따른 MR-FSK 변조 방식 및 채널 파라미터

Freq. band(MHz)	Parameters	Operating mode #1	Operating mode #2	Operating mode #3
450~470	Data(kb/s)	4.8	9.6	-
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	-
	Channel spacing(kHz)	12.5	12.5	-
470~510 (China)	Data(kb/s)	50	100	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing(kHz)	200	400	400
863~870 (Europe)	Data(kb/s)	50	100	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing(kHz)	200	400	400
902~928(ISM) 2,400~2,483.5 (Worldwide)	Data(kb/s)	50	150	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing(kHz)	200	400	400
896~901 901~902 928~960 1,427~1,518	Data(kb/s)	10	20	40
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing(kHz)	25	25	25



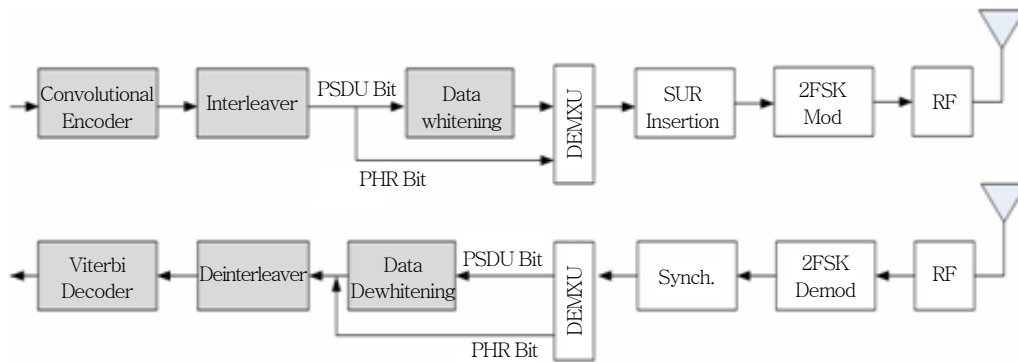
(그림 3) MR-FSK 패킷 형식



(그림 4) MR-FSK 패킷의 PHY 헤더 형식

로 phySUNMRFSKSFDPB 속성과 PHR 과 PSDU 에 대해 FEC(Forward Error Correction)을 적용하는지에 따라 4 가지로 나뉘어진다. PHR 은 PSDU 에 대한 정보를 포함하고 있으며, (그림 4)와 같이 16 비트로 구성되어 있다. PSDU 는 MHR(MAC Header), 페이로드 및 FCS(Frame Check Sequence)를 포함하며 최대 길이가 2,047 바이트이다.

(그림 5)는 위에서 설명한 MR-FSK PHY 에 대한 송수신 기능 블록 다이어그램이다. 송신부에서는 PHR 과 PSDU 에 대해서 Convolutional encoding 과 인터리빙을 취한 후, PSDU 에 대해서는 추가로 Data whitening 을 수행한다. 여기에 SHR 을 삽입한 다음 FSK 변조 후 RF 를 통해 송신한다. 수신부에서는 수신 RF 신호에 대해 FSK 복조를 수행한 다음 SHR 을 이용하여 동기화를 맞추고, Data Dewhitening, Deinterleaver 및 Viterbi decoding 을 거쳐 PHR 과 PSDU 를 복원한다.



(그림 5) MR-FSK PHY 송수신 기능 블록도

MR-FSK PHY 에서 FEC 기능은 옵션이다. 즉 (그림 5)의 Convolutional encoder 는 부호율 1/2, 구속장 4 의 RSC(Recursive and Systematic Code) 또는 NRNSC(Non-Recursive and Non-Systematic Code)를 선택하여 사용하거나, 또는 FEC 를 사용하지 않을 수도 있다. 그리

<표 3> MR-FSK Radio 파라미터들

Parameter	Value
Channel switching time	≤500us
Adjacent channel rejection	≥10dB
Alternate channel rejection	≥30dB
Symbol rate tolerance	±300ppm
Receiver sensitivity@50kbps	-90dBm
Clock frequency tolerance@50kbps, 915MHz	≤30ppm

고 FEC 사용 시 인터리버의 적용도 옵션이다. 또한 PSDU 에 대한 Data whitening 기능 적용도 옵션으로 되어 있으며, PHR 5 번째 비트로 기능 설정하도록 되어 있다. 마지막으로 (그림 5)의 RF 블록에 대한 규격은 <표 3>과 같다.

2. MR-OFDM PHY

가. Data rates for MR-OFDM PHY

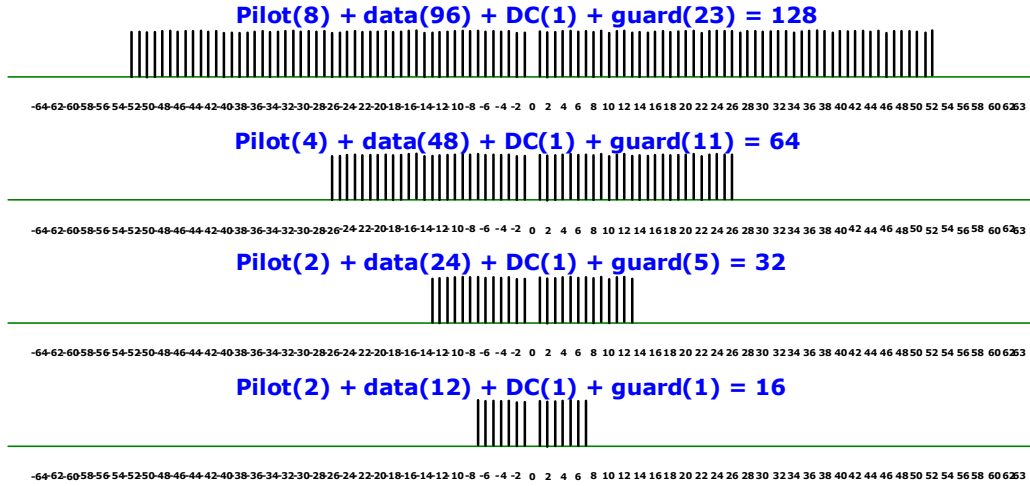
MR-OFDM PHY 는 <표 4>와 같이 데이터 전송률 50~800kbps 를 제공할 수 있으며, PHR 과 PSDU 를 전송하기 위해 필요한 FFT 사이즈에 따라 4 가지 옵션을 제공할 수 있다. 표준 규격은 옵션 1 부터 옵션 4 까지 128, 64, 32 및 16 의 FFT 사이즈를 지원할 수 있다[6],[7].

<표 4> MR-OFDM PHY 를 위한 데이터 전송률 모드

Parameter	OFDM Option 1	OFDM Option 2	OFDM Option 3	OFDM Option 4	unit
FFT size	128	64	32	16	
Active tones	104	52	26	14	
# Pilot tones	8	4	2	2	
# Data tones	96	48	24	12	
MCS0(BPSK rate 1/2 with 4x frequency repetition)	100	50			kbps
MCS1(BPSK rate 1/2 with 2x frequency repetition)	200	100	50		kbps
MCS2(QPSK rate 1/2 with 2x frequency repetition)	400	200	100	50	kbps
MCS3(QPSK rate 1/2)	800	400	200	100	kbps
MCS4(QPSK rate 3/4)		600	300	150	kbps
MCS5(16-QAM rate 1/2)		800	400	200	kbps
MCS6(16-QAM rate 3/4)			600	300	kbps

<표 4>에서 설명된 특정 옵션(1, 2, 3 or 4)을 지원하는 모든 디바이스는 특정 옵션에서 제공할 수 있는 모든 BPSK 와 QPSK 변조를 사용하는 MCS(Modulation and Coding Scheme) 모드를 반드시 제공할 수 있어야 하며, 모든 16-QAM MCS 모드는 옵션으로 제공할 수 있어야 한다.

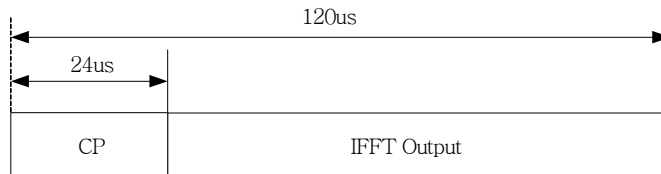
MR-OFDM 시스템은 (그림 6)와 같이 subcarrier 간격을 10.407kHz 로 고정하고 FFT 사이즈를 옵션에 따라 128 에서 16 까지 조절할 수 있도록 함으로써 채널 당 차지하는 전체 점유 대역폭을 1.2MHz~200kHz 까지 조절할 수 있도록 하였다. 이러한 다양한 옵션들은 세계 각국의 기술기준에서 정한 채널 배치 기준에 맞게 선택적으로 옵션을 선택할 수 있도록 할 것이다.



(그림 6) MR-OFDM의 옵션에 따른 FFT 사이즈

나. Symbol structure of MR-OFDM

MR-OFDM PHY의 심볼 전송률은 약 8.3 Ksymbols/sec이며, 심볼 길이는 IFFF 출력값을 전송하는 96us와 이의 1/4 구간을 재 전송하는 24us의 CP(Cyclic Prefix) 구간을 포함하여 (그림 7)과 같이 한 개의 OFDM 심볼은 총 120us로 구성된다.



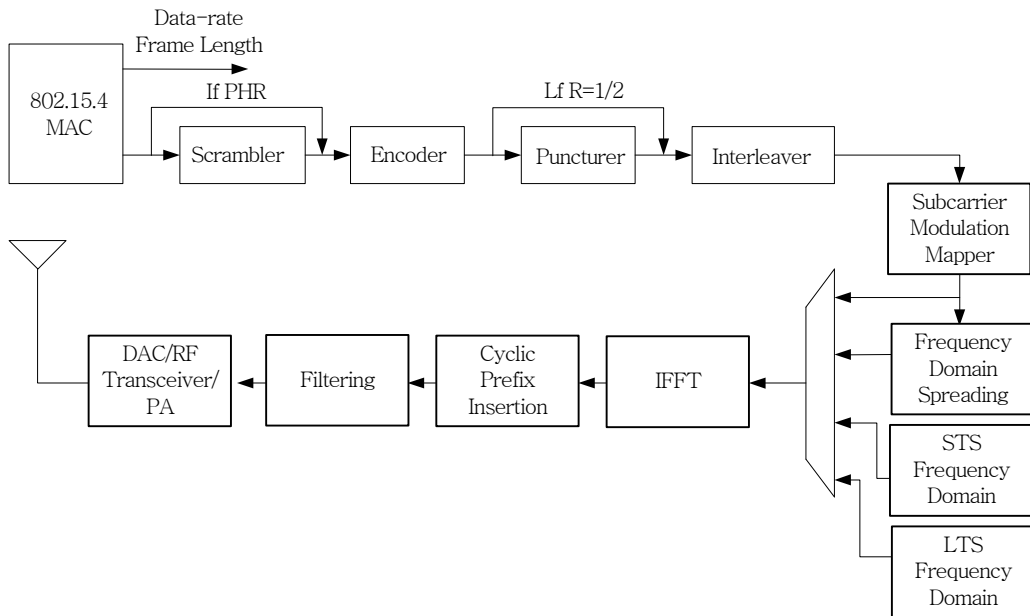
(그림 7) MR-OFDM 심볼 구조

다. MR-OFDM의 PPDU 구조

MR-OFDM 시스템의 전체 패킷 구조는 (그림 8)과 같다. 전체 패킷은 STF(Short Training Field)와 LTF(Long Training Field)로 구성되는 프리앰블과 전송되고 있는 패킷의 복조에 필요한 기본 정보로 구성된 PHY 헤더 및 4Byte로 생성된 FCS를 포함한 MAC으로부터 전달받은 실제 전송 데이터인 PSDU(PLCP Service Data Unit)로 구성된다. 그리고, 마지막으로 패킷을 완성하기 위한 6bit zero로 구성된 Tail 비트들과 OFDM 심볼을 완성하기 위해 추가되는 패드 비트들이 추가된다.

마. MR-OFDM 의 송신 구조

MR-OFDM 시스템의 송신 블록도를 도시하면 (그림 10)과 같다. PHY 헤더는 각 옵션에서 제공하는 가장 낮은 MCS 모드를 이용하며, 스크램블러를 사용하지 않고 데이터를 전송한다. 또한 코딩률이 1/2 인 데이터 전송률 모드인 MCS0~3 까지는 코딩률이 1/2 인 convolutional encoder 를 사용하기 때문에 Puncturer 를 사용하지 않고 데이터를 전송하여야 한다.



(그림 10) MR-OFDM 송신 구조

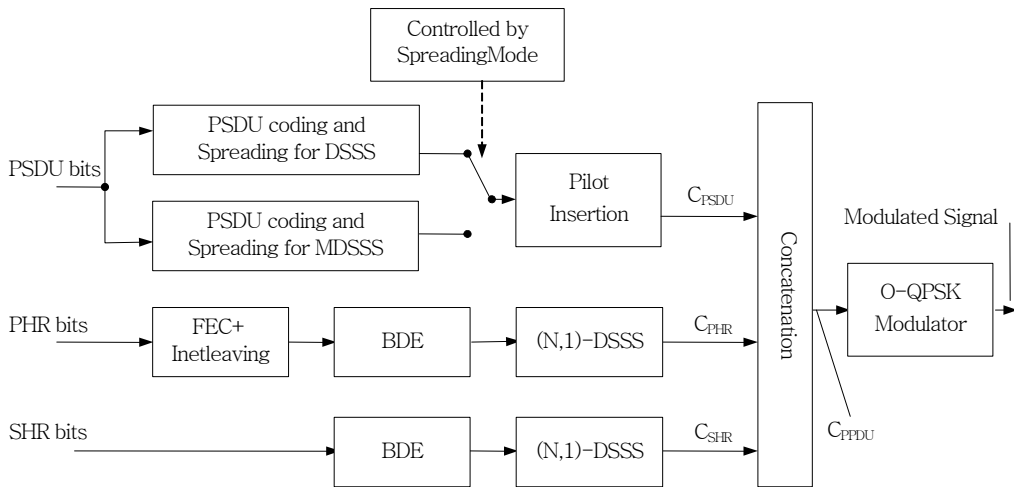
3. MR-O-QPSK(DSSS) PHY

현재 DSSS 전송 방식을 이용하는 IEEE 802.15.4 PHY 는 전체 PPDU 를 통틀어 고정된 스프레딩 값을 사용한다. 반면, IEEE802.15.4g 에서 새롭게 표준화 진행중인 SUN 시스템을 위한 MR-O-QPSK PHY 는 PSDU 동안 다중 데이터 전송률 모드를 지원하기 위해 다른 스프레딩 모드들이 사용되고 있으며, 다중 경로 환경에서의 성능을 향상시키기 위해 코딩률이 1/2 인 FEC 와 인터리빙을 적용하였다. MR-O-QPSK 는 스프레딩 모드에 따라 크게 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 와 MDSSS(Multiplexed Direct Sequence Spread Spectrum)를 지원할 수 있으며, DSSS 방식은 <표 5>와 같이 허용 가능한 모든 주파수 대역을 지원할 수 있으며, MDSSS 방식은 902~928MHz 대역과 2,400~2,450MHz 대역만을 지원할 수 있다[6].

<표 5> SpreadingMode ‘DSSS’와 SpreadingMode ‘MDSSS’를 위한 PSDU 파라미터들

Frequency band (MHz)	Chip rate (kchip/s)	Rate Mode	Differential Encoding	Spreading	1/2 rate FEC + interleaving	data rate (kbps)	Frequency band (MHz)	Chip rate (kchip/s)	Rate Mode	Differential Encoding	Spreading	1/2 rate FEC + interleaving	data rate (kbps)	
470-510	100	0	yes	(4,1)-DSSS	yes	12.5	470-510	100	0, 1, 2/3	no	none	yes	50	
		1	no	none	yes									
		2/3	not supported											
779-787	1000	0	yes	(16,1) _{1/2} -DSSS	yes	31.25	779-787	1000	0, 1, 2, 3	no	none	yes	250	
		1	no	(16,4)-DSSS	yes	125								
		2	no	(8,4)-DSSS	yes	500								
		3	no	none	yes	500								
868-870	125	0	yes	(4,1)-DSSS	yes	12.5	868-870	125	0, 1, 2/3	no	none	yes	50	
		1	no	none	yes									
		2/3	not supported											
902-928	1000	0	yes	(16,1) _{1/2} -DSSS	yes	31.25	902-928	1000	0, 1, 2, 3	no	no	(64,8)-M-DSSS, (32,8)-M-DSSS, (8,4)-DSSS, (16,8)-M-DSSS	yes	62.5, 125, 250, 500
		1	no	(16,4)-DSSS	yes	125								
		2	no	(8,4)-DSSS	yes	250								
		3	no	none	yes	500								
950-958	100	0	yes	(4,1)-DSSS	yes	12.5	950-958	100	0, 1, 2/3	no	none	yes	50	
		1	no	none	yes									
		2/3	not supported											
2400-2483.5	2000	0	yes	(32,1) _{1/2} -DSSS	yes	31.25	2400-2483.5	2000	0, 1, 2, 3	no	no	(128,8)-M-DSSS, (64,8)-M-DSSS, (16,4)-DSSS, (8,4)-DSSS	yes	62.5, 125, 250, 500
		1	no	(32,4)-DSSS	yes	125								
		2	no	(16,4)-DSSS	yes	250								
		3	no	(8,4)-DSSS	yes	500								

(그림 11)은 MR-O-QPSK의 송신 구조를 보이고 있으며, SHR과 PHR은 동일한 구조를 사용하고 PSDU에서만 DSSS 모드와 MDSSS 모드를 선택하여 전송할 수 있다.



(그림 11) MR-O-QPSK 송신 구조

V. 결론

최근 기존 전력망에 정보통신기술을 접목하여 전력의 생산 및 소비 정보를 양방향으로 실시간 유통함으로써 에너지 효율을 최적화하고, 온실가스 배출을 최소화하는 그린에너지 산업 혁신의 핵심 시스템 기술로서 스마트 그리드에 대한 국제표준 및 기술개발 경쟁이 점점 치열해지고 있다. IEEE 802.15.4g에서는 스마트 그리드의 양방향 통신망 구축을 지원하기 위한 표준화를

진행하고 있으며, 본 고에서 검토한 IEEE 802.15.4g 기술은 스마트 그리드의 실외 환경에 적합한 무선기술을 위한 표준 기술로서, 스마트 그리드 응용에 있어서 현재 Zigbee의 PHY 기술인 IEEE 802.15.4에서 제기된 실외 환경에서의 서비스 거리 제약 조건과 한정된 데이터 전송률을 극복할 수 있는 Zigbee의 또 다른 Alt-PHY 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

<참 고 문 헌>

- [1] Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap, June 2009.
- [2] Dr David Hart, "Smart Grid Overview", 15-09-0414-00-wng0, May. 2009.
- [3] Phil Beecher, "TG4g-SUN Opening Report for Montreal", 15-09-0370-00-004g-tg4g, May. 2009.
- [4] Phil Beecher(BCC Ltd), Benjamin A. Rolfe(Blind Creek Associates) et al., "TG4g PHY Technical Parameters Document", IEEE 802.15-09-0075-08-004g, Dec. 2009.
- [5] Phil Beecher, "TG4g-SUN Closing Report for Waikoloa, September 2010", 15-10-0807-00-004g-tg4g, September. 2010.
- [6] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(WPANs)-Amendment 4: Physical Layer Specification for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks", P802-15-4g/d1, March. 2010.
- [7] Wei An¹, Sangsung Choi², Cheolho Shin², Khurram Waheed³, Emmanuel Monnerie⁴, Charles Razzell⁵, Rishi Mohindra⁵, Partha Murali⁶, Steve Jillings⁷, Tim Schmidl⁸, Shusaku Shimada⁹, "TG4g PHY Technical Parameters Document Proposed OFDM Comment Resolution Responses", 15-10-0768-00-004g, July. 2010.

* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT 신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음.[10035236, 스마트 유틸리티 네트워크용 무선 전송기술 개발]

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 NIPA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.