

Smart & Green Technology Innovator

USN용 DSME MAC Software 기술 (V2.0)

USN전송기술연구팀
USN/IoT융합연구부

ETRI 한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications
Research Institute

목차

1 요약

2 기술 개요

3 개발기술의 주요내용

4 기술적용 분야 및 기술의 시장성

5 기대효과

➔ 기술개발의 필요성(NEEDS)

- 고신뢰성, 저지연성, 저전력성을 요구하는 플랜트 및 공장자동화 서비스를 지원할 수 있는 새로운 센서네트워크 MAC 기술에 대한 시장의 요구가 많음.

➔ 기술적인 독특한 접근법(APPROACH)

- 이러한 응용서비스 적용에 필요한 고신뢰성, 저지연성, 저전력성 등의 특성을 갖는 IEEE802.15.4e DSME MAC 기술을 개발하여 적용하고자 함.

➔ 기대효과(BENEFIT)

- ETRI 가 개발한 IEEE P802.15.4e 국제표준 특허 기술을 조기에 상용화하여 관련 사업의 시장 확대 및 활성화에 기여할 것으로 기대되며, 특히 국내 기술의 국제 경쟁력 강화 및 국외 시장 진출이 예상됨.

➔ 경쟁사/대체제 대비 우수성(COMPETITION)

- 경쟁기술인 ISA100.11a MAC 기술에 비해 규격이 간단하며, 멀티채널기술, 시각동기기술, 타임슬롯 할당 기술 등이 경쟁력 우위에 있음.

● 기술개발의 필요성

➔ 고객 및 시장의 요구 (Market Needs)

- **고신뢰성, 저지연성, 저전력성을 요구하는 새로운 응용서비스 수요 증가**
 - 유틸리티 관리 및 제어 서비스 (스마트그리드/상하수도/공정관리/환경관리 등)
 - 공장자동화 서비스
 - 체감형 게임 및 모션캡처 응용 서비스
- **기존 IEEE802.15.4-2006 MAC 기술 규격 개선에 대한 필요성 확대**
 - **데이터 전송 신뢰성 요구**: 기존 기술은 단일채널 경쟁기반 매체제어 기술로서 패킷 충돌 및 간섭에 의한 신뢰성 저하 문제가 존재하며 이를 해결하기 위한 시분할 기반의 매체 접속 기술과 다중 채널 MAC 기술이 요구됨
 - **데이터 전송 시의성 요구**: 기존 MAC기술은 멀티홉 데이터 전송에 있어 임의의 전송 지연 시간과 패킷 손실에 따른 센싱 정보 시의성 확보가 어려워, 자원 할당 기술의 개선이 요구됨
 - **데이터 전송 저전력성 요구**: 가변적인 타임슬롯 구조로 효율적인 duty-cycle 기술이 요구됨
- **다양한 응용서비스의 요구사항을 만족시킬 수 있는 MAC 표준기술 요구**

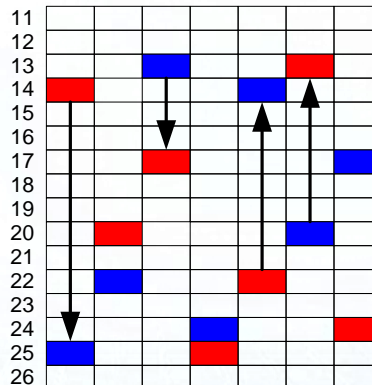
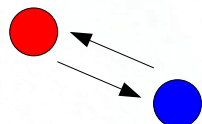
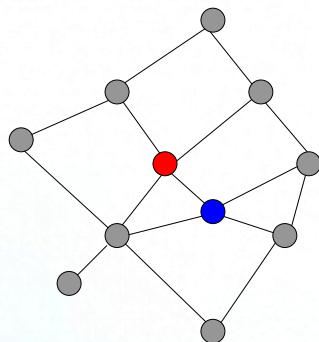
● 기술개념

➔ 기술개념

- **IEEE P802.15.4e 국제표준 기술**
 - IEEE802.15.4-2006 MAC 기능/성능 개선
 - 2012년 3월 국제표준 규격 승인
- **데이터 전송 신뢰성**
 - 멀티채널 관리 기술 (채널호핑기술, 채널적응기술)
 - TDMA 기술
- **데이터 전송 시의성**
 - 멀티홉 TDMA 기술
 - 멀티홉 시각동기 기술
- **저전력 기능 개선**
 - GTS (Guaranteed Time Slot) 기능 확장
 - Duty-cycling 기술 (Active time-slot 사용 최소화)

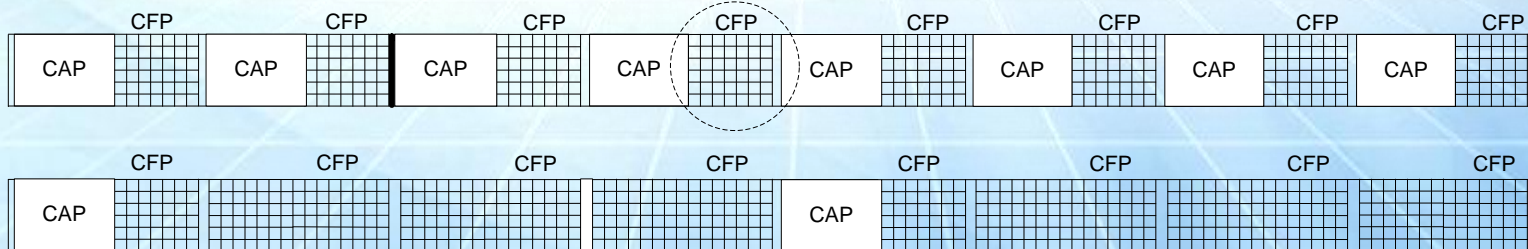
기술개념

기술 구성도



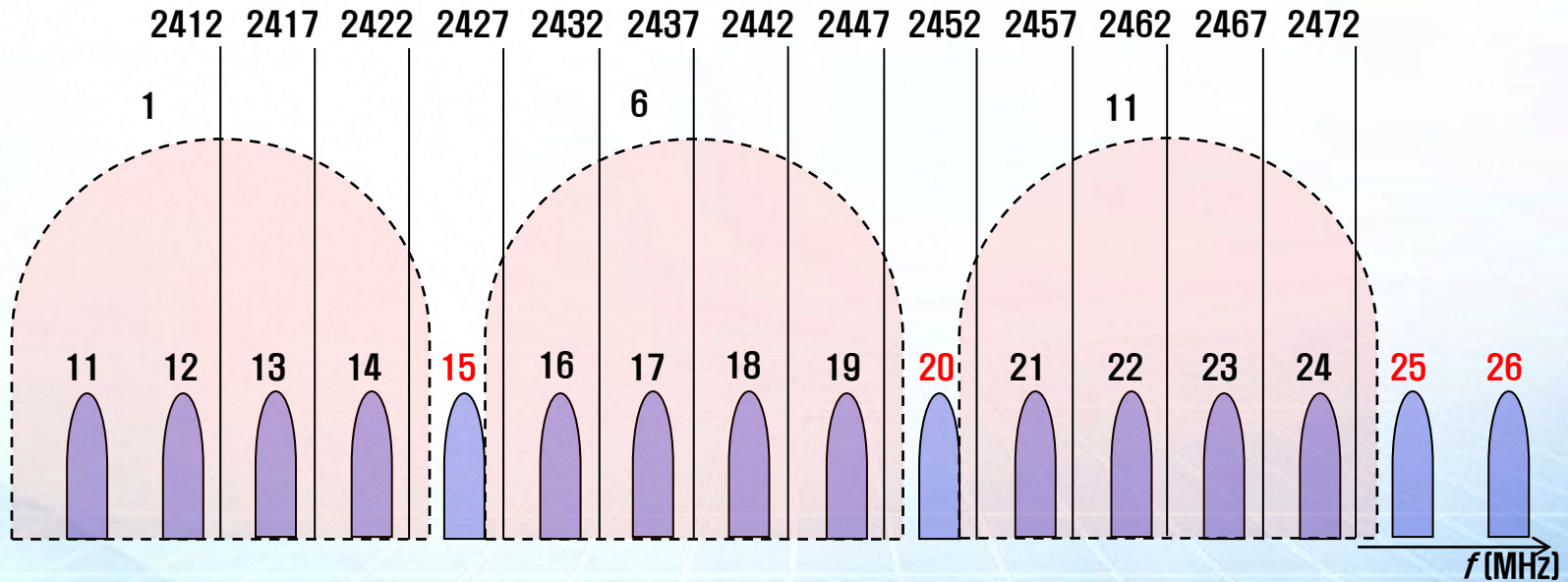
Mesh topology support
Multi-hop time synchronization
Configurable superframe structure

High Reliability
Low latency
Low power consumption



기술 이슈 (1)

■ **Poor RF link survivability** against other collocated RF devices:



2.4 GHz ISM Band Channel Occupations: 15.4 vs WLAN (Ch. 1,6,11)

● 기술 이슈 (2)

- Limited Network topology
- Time synchronization for multi-hop environments in beacon enabled PAN mode.
- Poor power consumption performance in non-beacon enabled PAN mode.
- Most of all, no provision for supporting large number of applications with **timeliness (low latency)** requirements.

● 기술의 특징

▶ 기술 특징

- [IEEE P802.15.4e 국제표준 기술](#)
- 국제표준 핵심 IPR 확보로 관련 기술 선도
- 신뢰성 있는 검증된 핵심기술 보유로 조기 상용화 가능
- 순수한 국내 개발 국제표준기술로 기술 이전을 통한 관련 시장 선점, 수출 산업화 및 국내 산업 보호

▶ 기술 상세 사양

- 채널 다중화 기술 (채널호핑/채널적응)
- 타 무선기술과의 Coexistence
- 멀티홉 TDMA/시각동기 기술
- 가변적인 Superframe 구조
- Duty-cycling 기술 (Active time-slot 사용 최소화로 저전력 지원)
- Smart Grid (IEEE P802.15.4g) PHY 지원

● 기술의 완성도

➔ 기술개발 완료시기

- 연구 시제품 제작 완료 시기 : 2011년 9월
- 실용 시제품 제작 완료 시기 : 2012년 2월
- 기술이전 가능 시기 : 2012년 9월

➔ 기술이전 범위 (Type A)

▪ 소스 코드

• S/W

- IEEE P802.15.4e DSME MAC Source Code
- IEEE P802.15.4e DSME MAC Test Source Code

• 문서

- IEEE P802.15.4e DSME MAC 설계서
- IEEE P802.15.4e DSME MAC 시험절차서-시험결과서
- IEEE P802.15.4e DSME MAC 사용자 설명서

• 특허

- 비컨 기반 WPAN에서 채널 자원 관리 방법 (출원완료, 미국/한국)
- 비컨 기반 WPAN에서의 타임슬롯 관리 방법 (출원완료, 미국/한국)
- 무선 멀티홉 환경에서 비컨 기반 채널호핑 MAC 시스템 (출원완료, PCT)

● 기술의 완성도

➔ 기술이전 범위 (Type B) (*주)

■ 실행 파일

- S/W
 - IEEE P802.15.4e DSME MAC Object Code
 - IEEE P802.15.4e DSME MAC Test Source Code
- 문서
 - IEEE P802.15.4e DSME MAC 시험절차서-시험결과서
 - IEEE P802.15.4e DSME MAC S/W 사용자 설명서
- H/W
 - MSP430F5xxx Series MCU 기반 센서노드 보드
 - MSP430F5xxx Series MCU 기반 센서노드 응용 회로도
- 특허
 - 비컨 기반 WPAN에서 채널 자원 관리 방법 (출원완료, 미국/한국)
 - 비컨 기반 WPAN에서의 타임슬롯 관리 방법 (출원완료, 미국/한국)
 - 무선 멀티홉 환경에서 비컨 기반 채널호핑 MAC 시스템 (출원완료, PCT)

※ 주) Type B 방식의 기술이전은 ETRI 기술개발 부서와 사전 협의가 필요함.

3. 개발기술의 주요내용(4)

● 기술 개발 현황

➔ 기술성숙도(TRL : Technology Readiness Level) 단계 : (6)단계

구 분	단계	정 의	세 부 설 명
기초 연구 단계	1	기초 이론/실험	기초이론 정립 단계
	2	실용 목적의 아이디어 특허 등 개념정립	기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
실험 단계	3	실험실 규모의 기본성능 검증	실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본성능이 검증될 수 있는 단계 개발하려는 부품/시스템의 기본 설계도면을 확보하는 단계
	4	실험실 규모의 소재/부품/시스템 핵심성능 평가	시험생품을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하려는 단계 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계
시작품 단계	5	확정된 소재/부품/ 시스템 시작품 제작 및 성능 평가	확정된 소재/부품/시스템의 실험실 시작품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계 개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시작품 샘플은 1~수개 미만인 단계 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
	6	파일럿 규모 시작품 제작 및 성능 평가	파일럿 규모(복수 개~양산규모의 1/10정도)의 시작품 제작 및 평가가 완료된 단계 파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량 불량을 등 제시 파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장테스트를 실시하여 목표 성능을 만족시킨 단계 성능 평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보
실용화 단계	7	신뢰성평가 및 수요기업 평가	실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 부품 및 소재개발의 경우 수요업체에서 직접 파일럿 시작품을 현장 평가(성능 및 신뢰성 평가) 가능하면 인증기관의 신뢰성 평가 결과 제출
	8	시제품 인증 및 표준화	표준화 및 인허가 취득 단계
사업화	9	사업화	본격적인 양산 및 사업화 단계 6-시그마 등 품질관리가 중요한 단계

3. 개발기술의 주요내용(5)

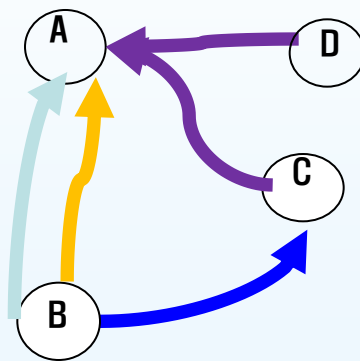
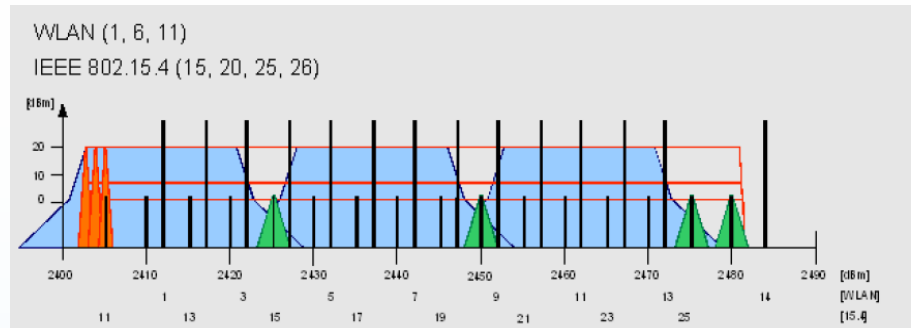
DSME MAC 기술 개요

기술 개요

- ◆ Time slot 과 RF 채널 할당에 의한 센서노드 링크 구성과 액세스 제어 기술
- ◆ 네트워크 동기화 기반 분산 자원 할당 기술과 네트워크 구성 기술
- ◆ IEEE 802.15.4e 국제표준화

기술의 필요성

- ◆ WSN 노드는 간섭신호에 매우 취약
 - 동일 RF 사용의 타 무선 기기
 - 동일 WSN내의 타 노드에 의한 간섭
- ◆ 간섭 신호에 의한 SNR 저하는 빈번한 데이터 전송의 재시도에 의한 저전력 기능의 심각한 성능 저하를 초래
- ◆ 기존 CSAM/CA에 의한 채널 접근은 상이한 요구사항을 갖는 데이터 전달 성능 미흡
- ◆ Deterministic 채널 접근 (TDMA) 필요
- ◆ TDMA/채널호핑 기술은 채널 호핑을 위한 프로시저 정의, 자원 할당 알고리즘, TDM을 위한 네트워크의 시각동기 기술 필요
- ◆ 저전력 및 low complexity

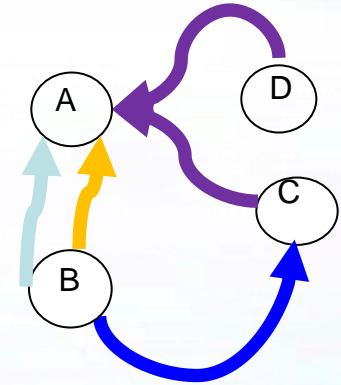


Channel	Time →				
	B→A				
	B→A				
	C→A D→A				
				B→C	

DSME MAC 기술 개요

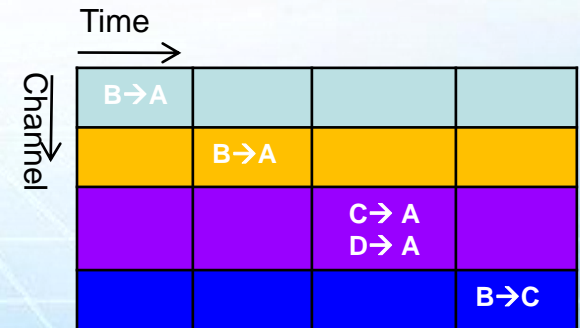
저전력 및 신뢰성

- ◆ 채널 호핑을 통한 간섭 신호 회피 기술 → 무선 링크 신뢰성 제공
- ◆ 채널 다이버시티 이득으로 수신 성공률 향상
- ◆ 분산형 메쉬 토폴로지를 구성 → 센싱 정보 전달의 신뢰성을 향상
- ◆ 시분할 방식으로 저전력 기능 향상



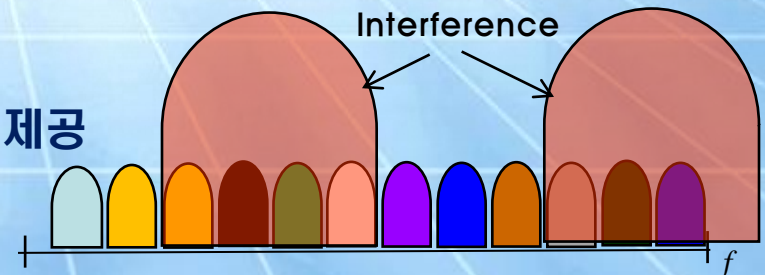
확정 중계 지연 시간 보장

- ◆ 비컨 기반 시분할 MAC → 확정적 전달 지연 시간 제공



신축적 네트워크 관리

- ◆ 분산/집중 방식의 토폴로지 구성
- ◆ 스타-메쉬형태를 이용한 네트워크의 확장성 제공



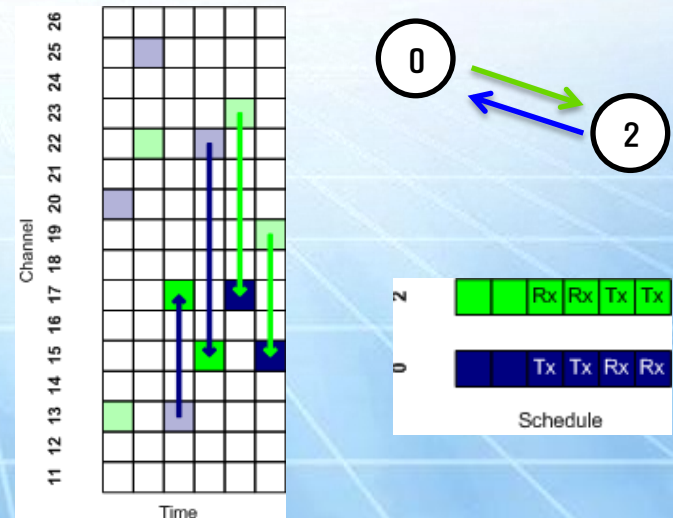
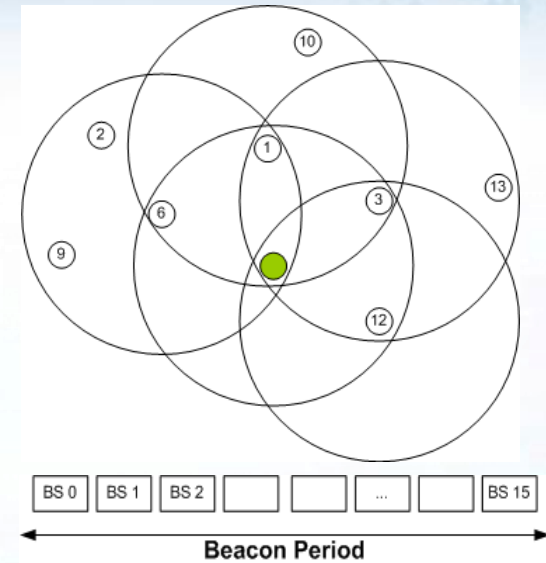
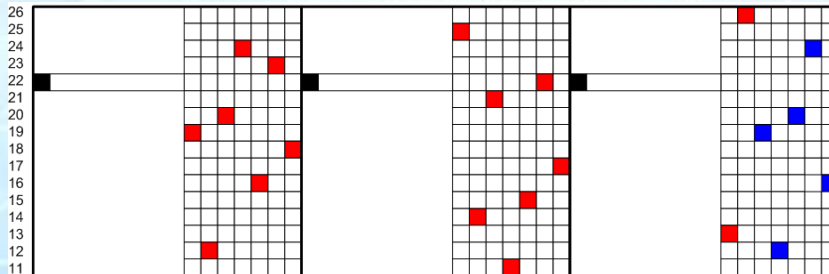
DSME MAC 기능

Simple beacon scheduling

- Three-way handshaking을 사용하여 히든 노드 문제 해결
- 2-hop 이웃 노드 정보를 이용하여 무선 간섭 최소화
- 채널 오프셋값을 이용한 간단한 비컨 스케줄링

Frame Exchange via Channel Hopping

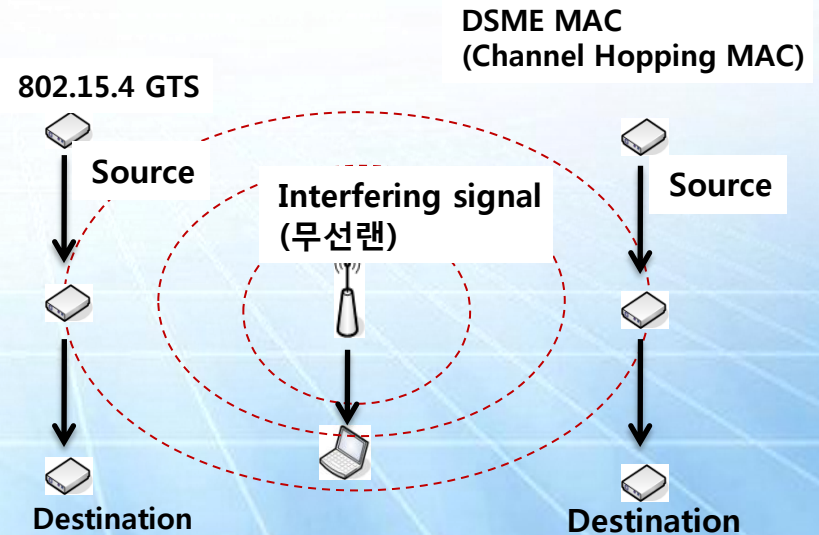
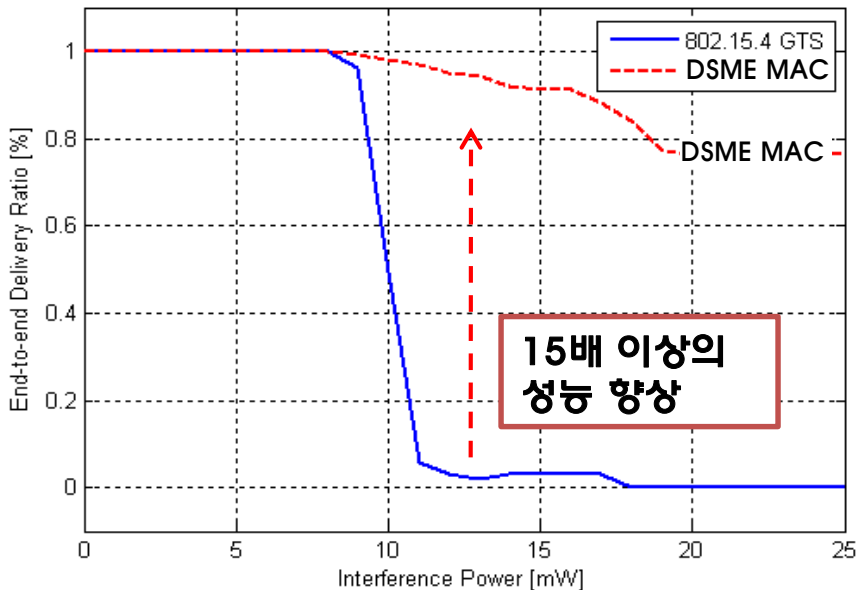
- 데이터 프레임은 시분할 방식으로 교환
- 채널 호핑 시퀀스를 이용하여 타임슬롯 단위 채널 변경
- 송신 노드는 수신 노드의 채널로 변경하여 지정된 타임슬롯에 데이터 프레임 전송



DSME MAC 성능

RF 간섭에 대한 성능 비교

- ◆ IEEE802.15.4 GTS 와 S-MoRe 비교
- ◆ 외부 간섭원으로 802.11b WLAN 사용
- ◆ 2 hop chain 토폴로지에서 패킷 전송 성공률로 성능 비교



3. 개발기술의 주요내용(9)

● 경쟁기술대비 우수성

	IEEE802.15.4e DSME MAC	IEEE802.15.4-2006	ISA100.11a
대상 서비스	산업 (공장) 자동화 서비스, 스마트 미터링, 스마트 빌딩, 체감형 인터랙티브 엔터테인먼트	저가 가전 제품 제어 (예: 리모콘), 스마트 미터링, 제한적 비 실시간 모니터링 서비스	산업 (공장) 자동화 서비스, 프로세스 모니터링 서비스, 스마트 미터링
토폴로지	Tree/Star/Star-Mesh/Full Mesh	Tree/Star	Tree/Star/Star-Mesh/Full Mesh
가능 채널 수	16채널 (2.4GHz ISM 대역), PHY에 따라 가변적으로 설정 가능	1개 채널	16채널 (2.4GHz ISM 대역으로 고정)
자원 관리 방식	분산형 (Ad-hoc) 집중형 (PAN Coordinator 제어)	Coordinator 제어 방식에 의한 집중형	집중형 (Master Node 제어)
간섭 신호 제어	동기형 채널 다이버시티 (채널 호핑 혹은 채널 적응 방식 중 택일)	-	동기형 TDMA 기반의 채널 호핑
멀티홉 시각 동기	비컨 기반 시각 동기 방식	비컨 기반 싱글홉 동기 지원 (비컨 동작 모드)	ACK 기반 시각 동기 방식
데이터 프레임 전송 방식	TDMA와 CSMA-CA (긴급 메시지용) 혼합 방식	CSMA-CA 와 GTS (일부) 혼합 방식	TDMA 방식

표준화 및 특허

관련 기술의 표준화 동향

- IEEE802.15 TG4e 표준화가 완료되어 2012년 3월에 최종 승인되었음
- IEEE P802.15.4e 표준기술 중 DSME 동작 모드에 대한 핵심특허 다수 보유
- WPAN관련 표준기구(ZigBee, IETF)에서 IEEE P802.15.4e 표준규격을 기반으로 하는 표준규격의 개선 작업이 진행 될 것으로 예상됨

보유 특허

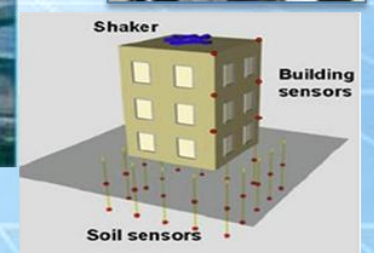
출원/ 등록 구분	특허명	출원 국 (등록)	출원(등록)번호	출원(등록) 년도
출원	비컨 기반 WPAN에서 채널 자원 관리 방법 (Channel Resource Management for Beacon-enabled WPAN)	미국 한국	61/363858 2011- 0056912	2010.07.13 2011.06.13
출원	센서네트워크 Multi-hop 통신을 위한 MAC 시스템 (Sensor network MAC system for multihop communication)	미국 한국	12/501024 2009- 0062563	2009.07.10 2009.07.09

4. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(1)

● 기술이 적용되는 제품 및 서비스

➔ 기술이 적용되는 제품/서비스

- ➔ 플랜트 안전관리 서비스
 - 플랜트 제어 및 모니터링
- ➔ USN기반 스마트 빌딩관리 서비스
 - 빌딩 내 에너지 및 보안 관리
- ➔ 스마트 그리드(전력 IT) 서비스
 - AMR / AMI
- ➔ 공장/공정 자동화 & 모니터링 서비스
 - 공정/유틸리티 설비 제어 및 모니터링
 - 수도/가스 모니터링
- ➔ USN기반 구조물 및 교통 관리 서비스
 - 균열, 진동 모니터링
 - 지능형 도로 관리
- ➔ USN기반 복합 환경 모니터링 서비스
 - 토양 오염, 기후 및 생태변화 모니터링
 - 수질오염 및 상수관리 모니터링
- ➔ 체감형 게임 및 모션캡처 서비스
 - 모션인식 무선 컨트롤러
- ➔ 국방 분야 감시정찰/경계 서비스



4. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(2)

● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

➔ 해당 제품/서비스 시장 규모

- ➔ USN 세계시장 규모는 2011년 약 135억 달러에서 2014년에는 366억 달러가 될 것으로 전망
- ➔ USN 국내시장 규모는 2011년 약 14,740억원에서 2014년에는 6.2조원이 될 것으로 전망

〈세계 USN 분야별 시장규모〉

[단위 : 억달러]

구분	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년
센서노드	22.4	36.0	50.4	84.8	90.9	103.5
네트워크	5.6	9.0	12.6	21.2	22.7	25.9
서비스(S/W포함)	34.7	51.5	72.0	130.1	174.6	236.9
합 계	62.7	96.5	135	236.1	288.2	366.3

〈국내 USN 분야별 시장규모〉

[단위 : 억원]

구분	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년
센서노드	2,342	4,345	6,952	12,396	13,648	15,818
네트워크	300	572	947	1,754	2,107	2,547
서비스(S/W포함)	1,350	3,515	6,841	17,158	27,314	43,887
합계	3,993	8,432	14,740	31,308	43,069	62,252

➔ 해당 제품/서비스 시장 국내외 동향

- ➔ 국내외 플랜트 및 공장자동화 서비스에 대한 **고신뢰, 저지연, 저전력 MAC** 기술에 대한 수요가 커지고 있으며, 관련 시장의 규모도 큰 폭으로 증가되고 있음
- ➔ 미국 Dust Network 사에서 ISA100.11a 표준기반 MAC 기술을 개발하여 플랜트관리 및 공장자동화 서비스 등에 적용되고 있음
- ➔ IEEE P802.15.4e MAC 기술이 국내 공장/산업자동화 관련 분야에 적용 기대됨

● 기술도입효과

▶ 기술/시장 경쟁력 확보

- IEEE P802.15.4e 국제표준기술에 대한 ETRI 의 핵심IPR 을 기반으로 기술 선점 및 조기 상용화 적용으로 시장 경쟁력 강화
 - 데이터 전송 신뢰성을 향상시킬 수 있는 멀티채널 관리 기술(채널호핑, 채널적응) 확보
 - 데이터 전송 시의성을 만족할 수 있는 멀티홉 TDMA 기술 확보
 - 전력 소모를 최소화 할 수 있는 저전력 기술 확보
- 시장 규모
 - 2014년 센서노드 국내 시장 규모 : 1조6천억원 예상
 - 2014년 센서노드 국외 시장 규모 : 96억불 예상
- USN 센서노드 시스템 및 부품 관련 산업의 내수 창출, 수출 촉진

▶ 다양한 무선센서네트워크 서비스 창출 촉진

- 고신뢰, 저지연, 저전력 특성을 요구하는 다양한 서비스에 적용 가능
 - 플랜트 및 공장 자동화 관리 및 제어 서비스
 - 환경 감시, 기상, 생태계, 재해예측 및 방재, 가정/사무자동화, 의료 서비스
 - 시설제어, 교통정보 및 제어, 방범/보안, 구조물 진단, 빌딩 관리 서비스
 - 체감형 게임 서비스 및 모션캡처 서비스