

Survey on Network Protocols for Energy Network Infrastructure based on Smart Utility Networks

Kwang-il Hwang[†]

ABSTRACT

As an energy network infrastructure, which is capable of integrating energy related services such as AMR/AMI, Smart Grid, and Smart Water Grid, the Smart Utility Network (SUN) enables a paradigm shift from user-oriented networks to device-oriented networks. The SUN has some similarities to sensor networks in application and network requirements. Therefore it is required to investigate and analyze thoroughly existing related work in advance to design new network protocols for SUN. In this paper we analyze service requirements and design considerations for SUN and then present a design guideline of new network protocols for SUN by investigating existing low power protocols, data aggregation methods, and in-network storages.

Keywords : AMR, AMI, Energy Network, Smart Grid, Smart Utility Networks

스마트 유틸리티 네트워크 기반의 에너지 망 인프라 구축을 위한 네트워크 프로토콜에 관한 연구

황 광 일[†]

요 약

스마트 유틸리티 네트워크는 기존의 AMR, 스마트 그리드, 스마트 워터 그리드 등의 다양한 에너지 관련 서비스를 통합할 수 있는 에너지 망 인프라로서 기존 사용자 중심의 통신망으로부터 기기 중심의 통신망으로의 새로운 패러다임 전환을 가능케 하고 있다. 이러한 스마트 유틸리티 네트워크는 관련 응용분야의 제약 조건과 요구사항에 있어 센서 네트워크와 많은 유사성을 가진다. 그리하여, 스마트 유틸리티 네트워크를 위한 새로운 네트워크 프로토콜을 개발하기 위해서는 기존의 관련 연구에 대한 철저한 분석이 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 스마트 유틸리티 네트워크의 서비스 요구사항과 설계 고려사항을 분석하고 기존의 저 전력 프로토콜과 데이터 수집기법 그리고 In-network 저장기법에 대한 분석을 통해 스마트 유틸리티 네트워크를 위한 새로운 네트워크 프로토콜의 설계 가이드라인을 제시한다.

키워드 : AMR, AMI, 에너지망, 스마트 그리드, Smart Utility Networks

1. 서 론

전기, 수도, 가스 등의 유틸리티 사용량을 원격으로 검침하고 관리하는 원격 검침 시스템은 PLC와 ZigBee 기술을 기반으로 활발한 연구가 진행되어 미국, 유럽 등지에서 대규모 사업화가 이루어지고 있다. 그러나 ZigBee 무선기술은 열악한 유틸리티 네트워크 통신 환경에서 높은 링크 마진 특성을 얻기가 어렵고, 특히 원거리 실외 환경에서 라우팅

기술과 연계하는데 한계를 가지고 있어 미국의 유틸리티 서비스 업체 중심으로 스마트 그리드와 연계한 새로운 국제 표준의 무선 전송기술 개발의 필요성이 제기 되었다.

IEEE802.15 WPAN 표준그룹에서는 Fig. 1과 같이 스마트 그리드와 연계된 NAN(Neighbor Area Network)으로 표준을 시작하였으나, HAN(Home Area Network)과의 경계가 모호하여 NAN과 HAN이 통합된 스마트 유틸리티 네트워크 (Smart Utility Networks : SUN, 이후 SUN으로 통일)로 TG4g를 결성하여 IEEE802.15.4 물리계층을 대체할 수 있는 새로운 근거리 무선 전송기술에 대한 표준화를 추진하고 있다.

2008년 12월 스마트 유틸리티 네트워크 구축에 필요한 새로운 무선 전송기술 표준을 추진할 TG4g를 IEEE802 NesCom에서 승인했으며, 수차례의 개정을 거쳐 2011년 P802.15.4G/Draft6 [1]이 발표되었다. 현재 Draft는 3종류의

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2012R1A1A2041271).

† 정 회 원 : 인천대학교 임베디드시스템공학과 조교수
논문접수 : 2012년 11월 1일

수 정 일 : 1차 2012년 11월 14일

심사완료 : 2012년 11월 14일

* Corresponding Author : Kwang-il Hwang(hkwangil@incheon.ac.kr)

Alternative PHY (MR-FSK, MR-O-QPSK, MR-OFDM)을 수용하고 있으며, Multi-PHY 관리 기술을 포함하고 있으며 주요 특징은 다음과 같다.

- SUN 무선 전송기술은 IEEE 802.15.4 Alternate PHY-Layer로 정의(수정된 IEEE802.15.4 MAC_Layer 사용)
- 700MHz ~ 1GHz 대역에서 지역적으로 사용할 수 있는 비 면허 주파수 이용
- 40Kbps ~ 1,000Kbps 전송 속도
- 우선적으로 실외통신으로 고려
- 최소 1,500Octets 이상의 물리계층 프레임 사이즈 사용

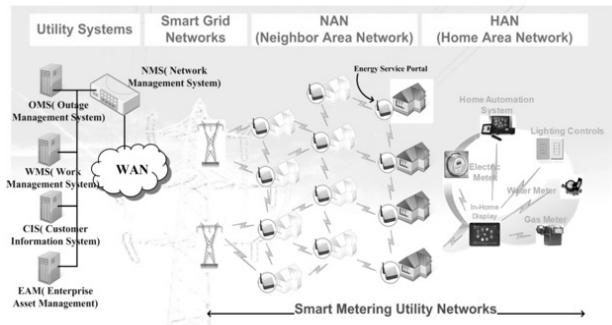


Fig. 1. Overall Architecture of Smart Utility Networks

2. 스마트 유틸리티 네트워크 관련 연구동향 및 특징

최근 스마트그리드의 중요성과 더불어 스마트 유틸리티 네트워크 관련 표준에 대한 국내외적 관심이 상당히 높아지고 있다. 그러나 현재 SUN 표준은 900MHz 대역 기반의 PHY 계층의 다양한 Modulation Scheme을 기반으로 하는 표준에 집중되고 있으며, 스마트그리드 및 Smart Energy 표준은 주로 유틸리티와 수용가간의 서비스 및 어플리케이션에 집중되기 때문에 새롭게 정의되는 SUN PHY를 기반으로 위로부터의 스마트 그리드 표준 어플리케이션 서비스를 보다 효율적으로 제공할 수 있는 SUN 고유의 새로운 네트워크 프로토콜과 관련 알고리즘에 대한 집중 연구가 필요하다.

국외에서는 Silver Spring Networks, Landis & Gyr, Elster, Itron 등의 유틸리티 서비스 사업자 중심으로 스마트 그리드와 연계하여 전기 수도 가스등과 같은 유틸리티를 효율적으로 네트워크 관리하고자 IEEE802.15.4g에서 SUN 무선 전송 기술에 대한 표준화를 추진하고 있다. 또한, TI, Analog Device, MAXIM 등의 칩 개발 전문 업체에서는 SUN 표준화에 따라 우선적으로 Metering 서비스를 위한 저 전력, 저가격 Chipset 개발을 서두르고 있으며 유틸리티 사업자들은 미국의 스마트그리드 표준에 SUN 기술을 포함 시키려고 노력하고 있다.

국내에서는 TTA PG 304에서 내부적으로 그린 WPAN 실무 반을 구성하여 IEEE802.15.4g SUN 표준추진과 병행하여 스마트 유틸리티 네트워크 무선전송기술에 대한 규격연구 및 산업체기술 및 시장동향을 분석하고 있으며 스마트

유틸리티 네트워크에 대한 국내표준을 추진하고 있다. 또한 한국전자통신연구원에서는 IEEE802.15 TG4g 스마트 유틸리티 네트워크 PHY-Layer 표준화에 참여하여 국제표준제정을 선도하고 있으며, 2010년부터 SUN 무선 전송시스템 및 응용개발 사업을 통해 Dual PHY 타입의 SUN 모뎀을 개발하고 있다.

기존 데이터 통신망(IP망과 Cellular망)은 사용자의 데이터 또는 다양한 멀티미디어 데이터 전송을 위해 네트워크 속도와 QoS(Quality of Service)의 향상을 주된 목표로 하는 반면, 스마트 유틸리티 네트워크는 데이터 지연에는 다소 둔감(Tolerant)하지만 높은 데이터 정확성을 요구한다. 또한, PC, 스마트 디바이스 등 사용자가 직접 다루거나, 사용자에게 의해 동작되는 고성능의 시스템과 달리 스마트 유틸리티 네트워크는 사람이 직접 관여하지 않고, 디바이스들 간 자율적인 정보교환을 위한 망 구성이 필요하며, 배터리 전원을 기반으로 저 전력, 저가격의 소형 임베디드 시스템으로 구성되는 스마트 유틸리티 디바이스들은 훨씬 더 제한적인 자원 (전력, 메모리, 프로세싱) 하에서 더 강한(Robust) 시스템 구성 및 안정적인 네트워크 성능을 요구한다.

이러한 스마트 유틸리티 네트워크의 제약 조건과 요구사항은 센서 네트워크와 많은 유사성을 가진다. 특히, 센서 네트워크와 스마트 유틸리티 네트워크는 수백, 수천 개 이상의 노드들이 한 네트워크를 구성한다는 점 외에, 일대다 또는 다대일 통신 패턴을 기반으로 하며, 모든 센싱 데이터 또는 검침 데이터가 싱크노드와 집중기로 향한다는 점에서 또한 유사하다. 그리하여, 효율적인 스마트 유틸리티 네트워크는 센서 네트워크의 특수 응용 분야로써 고려될 수 있다.

3. 저 전력 MAC 프로토콜 분석

저 전력 프로토콜에 관한 연구는 센서 네트워크의 필수 설계 고려사항으로써 그동안 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히, 저 전력 MAC 프로토콜에 관한 연구는 IEEE802.15.4를 기반으로 하는 표준기반과 센서 네트워크를 기반으로 하는 비표준 기반으로 나뉜다.

3.1 표준기반의 저 전력 MAC 프로토콜에 관한 연구

IEEE802.15.4[2]의 PHY와 MAC을 기반으로 하는 ZigBee[3]은 ZigBee Alliance를 중심으로 저 전력, 저속의 소출력 무선 통신 기술 시장을 빠른 속도로 점유해 왔으며, ZigBee 기술의 사용한 많은 응용분야를 창출해 나가고 있다. 그러나 ZigBee 기반의 상용화 센서 네트워크는 각 사이트와 응용분야의 특수성에 따라 센서 네트워크 특유의 자율(Autonomous)적인 무선 네트워크를 형성하지 못하고, 많은 부분을 수동 세팅에 의존하여 설치의 번거로움을 내포하고 있다. 또한, 상용화 된 대다수 ZigBee 모뎀의 사용 주파수대역은 Unlicensed ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 밴드를 사용함에 있어 같은 주파수 대역에 존재하는 다양한 다른 무선기술 (WiFi, Bluetooth, 전자레인지 등) 및 다른

목적(용도)의 ZigBee 네트워크와의 공존으로 인한 데이터 충돌 및 예측 불가능한 다양하고 복잡한 여러환경에 대한 대처가 불가능한 것이 현실이다. 그리하여, 이미 설치되어 운용되고 있는 다수의 ZigBee 기반의 센서 네트워크는 802.15.4 PHY와 MAC에서 지원하는 저 전력 기술의 한계에 의해 센서 노드의 수명이 기대만큼 보장받지 못하고 있다. 이러한, 문제를 극복하기 위해 TG4e[4]에서는 기존 15.4 MAC을 보다 향상시켜 Fig. 2와 같이 주기적으로 채널을 샘플링하고 있는 수신측으로 송신측에서 데이터 발생 시 주기보다 긴 시간동안 지속적으로 Wakeup Sequence를 보냄으로써 수신측을 깨우고 난후 통신을 수행하는 Coordinated Sampled Listening 방식과, Fig. 3에서 보는 바와 같이 수신측에서 주기적으로 송신측에 데이터가 준비되었는지를 확인하는 Receiver Initiated Transmission 기법 등 전력소모를 보다 줄일 수 있는 다양한 기법을 표준안에 추가적으로 제안하고 있다.

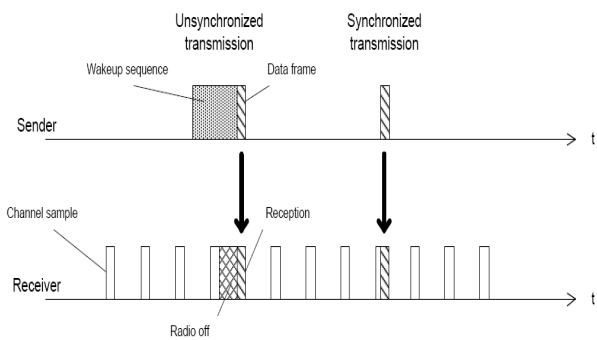


Fig. 2. Coordinated Sampled Listening

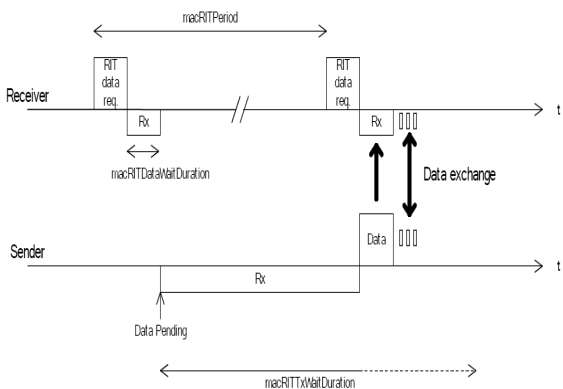


Fig. 3. Receiver Initiated Transmission

3.2 비표준기반(센서네트워크)의 저 전력 MAC 프로토콜에 관한 연구

비표준 기반의 저 전력 MAC 프로토콜에 대한 연구는 센서 네트워크의 저 전력 프로토콜에 관한 연구[5]를 중심으로 활발히 수행되었다. 그동안 연구된 저 전력 MAC 프로토콜은 크게 Random 기반, Slot기반, TDMA기반, Random/

TDMA 하이브리드형, 그리고 LPL(Low Power Listening) 기반으로 나뉘며, 각 프로토콜에 관한 연구 내용은 Table 1에 정리되어 있다.

Random 기반의 프로토콜은 대다수 IEEE802.15.4의 MAC과 같이 CSMA기반의 랜덤 경쟁 기반으로 설계되어 있고, Slot 기반의 프로토콜에서는 Listening을 수행하기 위한 전용 슬롯을 스케줄 하는 다양한 방법들을 제안하고 있다. TDMA 기반의 프로토콜은 글로벌 동기기를 기반으로 로컬 또는 두 홉까지의 노드들 간에 반복적인 프레임 구조를 사용하며, 하이브리드 방식의 MAC 프로토콜은 Random기반과 TDMA기반의 MAC의 특징을 활용하고 있다. 특히, 수신단에서의 Idle Listening을 최소화하기 위한 Preamble Sensing 방식의 LPL 기법은 다른 기법들에 비해 더욱 높은 에너지 효율성을 나타내며, 알고리즘의 복잡도 또는 글로벌 동기기를 맞춰야 하는 오버헤드를 줄이는 등 많은 장점을 나타내고 있다. 하지만 비록 LPL 기반의 프로토콜들이 SUN을 위한 저 전력 MAC 프로토콜 개발에 중요한 가이드라인을 제시할 수 있을지라도, SUN의 고유한 서비스 및 어플리케이션 요구사항 및 동작 환경은 일반 센서 네트워크 보다 더욱 세부적이고, 제한적이기 때문에 현재까지 센서 네트워크 기반으로 연구된 저 전력 프로토콜을 SUN에 직접 적용하기에는 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다. 따라서 지금까지의 연구들을 바탕으로 MAC과 라우팅 간 Cross Layer 최적화 설계를 통해 저 전력 데이터 수집 기법의 개발이 필요하다.

4. 라우팅 및 데이터 수집 프로토콜 분석

각 수용가의 에너지 사용량에 대한 데이터 수집은 SUN의 가장 기본적인 기능 중 한 가지이다. 특히 효율적인 데이터 수집에 관한 연구[6]는 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜 분야에서 그동안 많은 연구가 진행되어왔다. 센서 라우팅은 크게 평면 (Flat) 라우팅, 계층(Hierarchical) 라우팅, 위치(Location)기반 라우팅으로 분류될 수 있으며, Table 2에서는 각 센서 라우팅 알고리즘의 에너지 효율성, 데이터 수집기능, 확장성, 양방향성 지원 등과 같은 SUN의 요구사항에 대한 결과를 요약했다.

위의 결과는 SUN의 각 요구사항에 모두 부합하는 라우팅(데이터 수집) 기법은 존재하지 않는다는 것을 보인다. 평면 라우팅은 효율적인 데이터 수집 기능과 양방향 통신을 지원하지만, 네트워크 확장성이 제한되고 에너지 효율성이 낮은 반면 계층적 라우팅은 높은 확장성과 에너지 효율성을 보장하지만 양방향 통신에 제약이 따르는 것을 보인다. 이러한 결과는 SUN을 위한 효율적인 데이터 수집 모델을 개발하는데 있어 중요한 단서를 제공하고 있다. 따라서 SUN 데이터 수집 모델은 기본적으로 계층적 모델을 적용하여 에너지 효율성과 확장성을 높이고, 여기에 양방향 통신을 지원할 수 있는 추가적인 저 전력 네트워크 프로토콜의 개발이 병행되어야 할 것이다.

Table 1. Summary of Low Power MAC Procotols

카테고리	연구명	특징
Random 기반	STEM	- Wake up Plane과 Data Plane을 위한 별도의 RF를 사용 - Wake up Plane은 데이터 발생 시 수신노드를 깨우기 위해 사용됨.
	RI-MAC	- 송신측에서 시작하는 다른 알고리즘과 달리 수신측에서 통신을 시작함. - 수신측은 주기적으로 비컨을 전송하고, 전송할 데이터가 있는 노드는 비컨을 듣자마자 수신측으로 데이터를 전송함.
	RATE-EST	- STEM과 마찬가지로 수신 노드를 깨우기 위해 추가적인 RF를 사용함. - 불필요한 1 홉 이웃을 모두 깨우는 것을 피하기 위해서 Wake-up 스케줄을 사용함.
	SMAC	- 전통적인 CSMA 스타일 프로토콜 - Virtual Cluster안에서 노드들은 스케줄 되고, 에너지소모를 줄이기 위해 고정된 듀티사이클을 사용.
Slot 기반 (Scheduled)	SMAC/AL	- SMAC에 Adaptive Listening을 포함한 업그레이드 버전 - 기존의 고정된 듀티 사이클 사용에서 T-MAC에서와 같이 적응형 듀티 사이클을 사용하여 Active 구간을 확장함.
	DMAC	- Data Gathering MAC 프로토콜 - Convergecast 통신 패턴을 S-MAC에 적용하여 지연 오버헤드를 해소함. - 메시지가 받아질 때마다 자식 노드들 사이에 슬롯을 스케줄함.
	SCP-MAC	- Scheduled Channel Polling MAC - SMAC/AL에 효율적인 채널 Polling 기법을 적용 - 모든 노드는 common slot에서 동기화되고, 송신 단에서는 busy tone을 전송하여 경쟁하고, 슬롯의 시작에서 수신 단을 깨워 전송함. - 모든 노드가 깨어날 필요가 없다는 것이 장점임
TDMA 기반	LMAC	- LightWeight MAC - self-organizing TDMA - 모든 노드는 고정된 길이의 프레임 안에 자신의 슬롯을 소유함. - 한 노드가 점유하고 있는 슬롯에서 브로드캐스트 하고, 새로운 노드가 유일한 두 홉 슬롯을 선택하게 하여 그 슬롯으로 충돌 없이 전송
	AI-MAC	- Adaptive Information-centric and Lightweight MAC - LMAC의 향상된 버전 - 각 노드가 한 개 이상의 슬롯 제어가 가능
	TRAMA	- Traffic Adaptive Medium Access - distribute한 slot selection알고리즘을 사용하는 TDMA 기반의 MAC - 멀티 홉 통신 지원을 위해 두 홉 이웃 간 정보를 주고받음.
	CoRe-MAC	- Cooperative Relaying MAC - 채널 예약을 위해 RTS/CTS를 사용하고, 이를 통해 RELAY selection과정을 수행
Random/ TDMA Hybrid	ZMAC	- Zebra-MAC - CSMA로 시작하지만, 통신부하가 증가되면 TDMA로 변경 - 노드들은 distributed slot selection 알고리즘을 수행
	PMAC	- Pattern MAC - distributed하고 adaptive한 TDMA 알고리즘 - 어떤 슬롯에서 통신할 노드들을 깨워할지에 대해서 트래픽 패턴을 주고받은 후, 해당 슬롯 안에서는 CSMA/CA방식으로 통신 수행
LPL(Low Power Listening)/ Preamble Sensing 기반	BMAC	- Berkeley MAC - check time, back-off window size, power down policy에 대해 어플리케이션 레벨에서 Low Power Listening을 수행 - Random Noise를 다루기 위해 Advanced CCA(Clear Channel Assessment)를 수행
	XMAC	- B-MAC의 향상된 버전 - 긴 Preamble을 두 구간으로 분할 (micro preamble과 수신자 address영역으로), 이를 통해 Preamble로 인해 불필요하게 모든 노드들이 깨어나는 단점을 해소
	WiseMAC	- 이웃노드들의 Polling 스케줄을 기억함으로써 LPL을 향상시킴 - 정확한 시간에 Short Preamble을 보냄
	CL-MAC	- Cooperative Low Power MAC - Proactive방식과 Reactive 방식을 제안 - 다수 노드가 동시에 전송하는 Preamble의 충돌을 회피하기 위해 inter-preamble과 random Backoff를 이용

Table 2. Summary of Low Power Routing and Data Aggregation Protocols

분류	연구명	에너지 효율성	Data Aggregation	확장성 (Scalability)	양방향성 (Bi-directional)
Flat (평면라우팅)	SPIN	보통	가능	제한됨	가능
	Directed Diffusion	보통	가능	제한됨	가능
	Rumor Routing	낮음	가능	높음	가능
	GBR	낮음	가능	제한됨	가능
	MCFA	낮음	불가능	높음	불가능
	CADR	보통	가능	제한됨	불가능
	COUGAR	보통	가능	제한됨	가능
	ACQUIRE	낮음	가능	제한됨	가능
Hierarchical (계층라우팅)	EAR	낮음	불가능	제한됨	가능
	LEACH	높음	가능	높음	불가능
	TEEN[32] & APTEEN	높음	가능	높음	불가능
	PEGASIS	높음	불가능	높음	불가능
	MECN & SMECN	높음	불가능	낮음	불가능
	SOP	낮음	불가능	낮음	불가능
	HPAR	낮음	불가능	높음	불가능
	VGA	낮음	가능	높음	불가능
Location (위치기반)	Sensor aggregate	낮음	가능	높음	가능
	TTDD	보통	불가능	낮음	가능
	GAF	보통	불가능	높음	불가능
	GEAR	보통	불가능	제한됨	불가능
	SPAN	낮음	불가능	제한됨	불가능
	MFR, GEDIR	낮음	불가능	제한됨	불가능
GOAFR	낮음	불가능	높음	불가능	

5. 저 전력 환경 모니터링에 관한 연구

다양한 센서 네트워크의 데이터 수집 기법 중 특히 주기적 환경 모니터링 (PEM: Periodic Environmental Monitoring) 응용을 위한 프로토콜은 주기적으로 각 가정의 검침기 값을 수집해야 하는 원격검침(AMR)과 유사한 데이터 수집 패턴을 갖는다.

PEM 어플리케이션에서의 저 전력 데이터 수집 기법에 대해 연구된 Koala [7]는 싱크 노드에 의해 데이터 다운로드가 요청될 때마다 무선으로 경로를 계산하고, 비동기 Wake up 기법을 구현한다. 특히 에너지 효율성을 보장하기 위해 wake up을 시작하기 전에 많은 양의 데이터를 저장하고, 필요시에만 싱크에서 받아들이는 방식을 사용한다.

Doser [8]은 트리기반의 데이터 수집을 수행하고, 데이터 교환은 TDMA를 통해 이루어진다. 특히 전역동기(Global Synchronization)을 피하기 위해 각 노드는 두 개의 독립적인 TDMA 스케줄을 가진다. 하나는 부모와의 통신을 위한 것이고, 나머지는 자신의 자식과의 통신을 위한 TDMA 스케줄이다. 비록 본 기법이 현존하는 저 전력 데이터 수집 기법 중 가장 효율적인 것으로 여겨지지만, 본 기법은 단지 아이디어 레벨에서 구현이 되어 있기 때문에 실제 구현상에는 추가적인 어려움이 따를 것으로 예상된다.

가장 최근의 연구결과는 Dissense [9]이다. 본 기법은 특히 오랜 기간 동작해야 하는 PEM 응용을 위해 고안되었으며, 자동으로 active 구간을 adaptive하게 조절함으로써 매우 낮은 듀티 사이클과 데이터 신뢰성을 보장한다. 하지만, 본 연구 또한 TinyOS 기반의 TOSSIM시뮬레이터 환경에서 구

현 및 테스트 되어 실제 노드 상에서 구현하기에는 다양한 추가적인 문제점을 야기할 수 있다.

6. In-network storage에 관한 연구

네트워크의 크기가 증가됨에 따라, 중앙 집중적인 저장 방식은 중앙의 한 노드(sink 노드 또는 서버로 연결된 코디네이터등)와 그 주위 노드들로의 병목현상을 유발한다. 특히, 동시에 같은 시간대의 에너지 정보를 수집해야 하는 스마트 유틸리티 네트워크의 경우에 이러한 현상은 트래픽을 증가시키고, 간섭 및 충돌 발생 확률로 인해 데이터의 에러가 증가되며, 이로 인해 각 노드들(특히 중앙노드 주위의)의 에너지 소모의 증가를 이끌 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이미 센서 네트워크에서는 in-network storage에 관한 연구를 통해 이러한 병목현상에 의한 다양한 문제를 해결해 나가고 있다.

GHT (Geographical Hash Table) [10]에서는 분산형 in-network storage를 위해 데이터는 저장과 처리가 가능한 랑데부(Rendezvous) 센서 노드로 매핑된다. 데이터 키(keys)는 센서 필드 내의 random한 지역적 위치로 해쉬(hash)되고, 해쉬된 지역에 가장 가까이에 있는 노드가 홈 노드로서 지명되며 데이터들을 저장하게 된다.

DIM (Data in Multidimensional) attribute space [11]에서는 Quad-Tree를 사용하여 다차원의 속성 공간(multi-dimensional attribute space)의 데이터를 센서 필드로 매핑한다.

이러한 in-network storage는 각 노드의 Flash 메모리나 FRAM등의 비휘발성 메모리를 활용함으로써 에너지 효율과 데이터 신뢰성을 높일 수 있다. [12]. PRESTO [13] 는 각 센서 노드에서 주기적 환경 정보나 Query등에 대한 히스토리를 저장하기 위한 Predictive Storage 메커니즘에 대한 연구를 수행했다. 또한, MicroHash [14]는 RAM에 저장하기 너무 큰 데이터들을 Flash 메모리에 저장하기 위한 Flash기반의 hash table 관리 기법에 대한 연구이다.

7. 결 론

스마트 유틸리티 네트워크의 제약 조건 및 요구사항은 센서 네트워크와 많은 부분에 있어 유사성을 가진다. 특히, 센서 네트워크 기반의 저 전력 프로토콜, 데이터 수집기법, 그리고 저장기법에 관한 다양한 연구결과는 SUN을 위한 저 전력 MAC 프로토콜 개발에 중요한 가이드라인을 제시하고 있다. 하지만, SUN의 고유한 서비스 및 어플리케이션 요구사항 및 동작 환경은 일반 센서 네트워크 보다 더욱 세부적이고, 제한적이기 때문에 현재까지 센서 네트워크 기반으로 연구된 저 전력 프로토콜을 SUN에 직접 적용하기에는 많은 어려움이 따를 것으로 예상된다.. 따라서 지금까지의 연구들을 바탕으로 MAC과 라우팅 간 Cross Layer 최적화 설계를 통해 스마트 유틸리티를 위한 새로운 저 전력 데이터 수집 기법의 개발이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] IEEE P802.15.4g Draft, "Amendment 4: Physical Layer Specifications for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks," IEEE Standard for Information Technology, 2011

[2] IEEE Std 802.15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," IEEE Standard for Information Technology, 2006.

[3] ZigBee Alliance, "ZigBee Specification v1.0," 2006. 12.

[4] IEEE P802.15.4e Draft, "Amendment 5: Amendment to the MAC Sub-layer for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 5," IEEE Standard for Information Technology, 2011.

[5] M. Riduan Ahmad, Eryk Dutkiewicz and Xiaojing Huang, "A Survey of Low Duty Cycle MAC Protocols in Wireless Sensor Networks," Emerging Communications for Wireless Sensor Networks", InTech, 2011

[6] Rajagopalan, R.,Varshney, P.K., "Data-aggregation techniques in sensor networks: a survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2006.

[7] Musaloiu-E., R., Liang, C. M., and Terzis A. "Koala: Ultra-Low Power Data Retrieval in Wireless Sensor Networks," In: 7th international Conference on information Processing in Sensor Networks, IEEE Computer Society, Washington, DC, pp.421-432, 2008.

[8] Burri, N., Von Rickenbach P., Wattenhofer R., "Dozer: ultra-low power data gathering in sensor networks," In: 6th international Conference on information Processing in Sensor Networks, pp.450-459. 2007.

[9] Ugo Maria Colesanti, Silvia Santiniy and Andrea Vitaletti, "DISSense: An adaptive ultralow-power communication protocol for wireless sensor networks," International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 2011.

[10] S. Ratnasamy, B. Karp, L. Yin, F. Yu, D. Estrin, R. Govindan, and S. Shenker., "GHT: A geographic hash table for data-centric storage in sensornets," In Proc. 1st ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, pp.78-87, 2002.

[11] X. Li, Y. J. Kim, R. Govindan, and W. Hong, "Multi-dimensional range queries in sensor networks," In Proceedings of the first international conference on Embedded networked sensor systems, pp.63-75, 2003.

[12] G. Mathur, P. Desnoyers, D. Ganesan and P. Shenoy, "Ultra-low Power Data Storage for Sensor Networks," In Proc. IEEE/ACM Information Processing in Sensor Networks (IPSN), 2006.

[13] P. Desnoyers, D. Ganesan, H. Li, and P. Shenoy, "PRESTO: A predictive storage architecture for sensor networks," In Tenth Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS X), Jun., 2005.

[14] D. Zeinalipour-Yazti, S. Lin, V. Kalogeraki, D. Gunopulos, and W. Najjar, "MicroHash: An efficient index structure for flash-based sensor devices," In 4th USENIX Conf. on Files and Storage Technologies (FAST 2005), San Francisco, CA, Dec., 2005.



항 광 일

e-mail : hkwangil@incheon.ac.kr
 2002년 홍익대학교 전기전자공학부(학사)
 2004년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (MS. 석사)
 2007년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (Ph.D. 박사)

2007년~2010년 시립인천대학 컴퓨터제어과 전임강사, 조교수
 2010년~현 재 인천대학교 임베디드시스템공학과 조교수
 관심분야: Embedded Networks, Sensor Networks, Smartgrid Networks