

논문 2012-49TC-7-8

스마트 그리드를 위한 확장 홈 네트워크 기반의 AMI 시스템 설계

(A Design of an AMI System Based on an Extended Home Network
for the Smart Grid)

황 유 진*, 이 광 휘**

(Yu-Jin Hwang and Kwang-Hui Lee)

요 약

스마트 그리드란 기존의 전력망에 정보기술을 융합하여 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망을 구성하는 기술의 하나이다. 본 논문에서는 스마트그리드를 효과적으로 구축하기 위하여 기존 홈 네트워크와 연동되고 효율적인 관리 기능을 제공하는 AMI 시스템을 제안 한다. 확장된 홈 네트워크 기반의 AMI 시스템은 스마트미터, 통신 모듈, 홈 게이트웨이, 보안 모듈, 미터 데이터 관리 시스템, 전력 응용 모듈 등으로 구성된다. 제안하는 홈 네트워크는 전력소모를 줄이고 효율적인 데이터 전송이 가능할 수 있도록 IEEE 802.15.4를 기반으로 설계하였다. 제안 홈 게이트웨이는 웹 서비스를 통해 외부 관리 시스템과 에너지 소비 정보 등을 실시간으로 교환할 수 있고, AMI 시스템은 인터넷을 통하여 홈 게이트웨이와 미터 데이터 관리 시스템 간의 양방향 통신이 가능하도록 설계되었다. 정보 전달의 안전성을 얻기 위하여 보안 알고리즘을 적용 하였으며 보안 알고리즘은 대칭적 블록 암호화 방식인 AES 알고리즘을 사용하였다. 제안 시스템을 사용하는 경우 본 연구에 제한적이기는 하지만 제어를 하지 않을 경우보다 전력 소비가 평균적으로 4~42%정도 줄어드는 것을 실험 결과에서 확인할 수 있었다.

Abstract

A smart grid is the next generation power grid which combines the existing power grid with information technology, so an energy efficient power grid can be provided. In this paper, in order to build an efficient smart grid an AMI system, which gears with the existing home network and provides a user friendly management function, is proposed. The proposed AMI system, which is based on an extended home network, consists of various functional units: smart meters, communication modules, home gateway, security modules, meter data management modules (MDMM), electric power application modules and so on. The proposed home network system, which can reduce electric power consumption and transmit data more effectively, is designed by using IEEE 802.15.4. The extended home gateway can exchange energy consumption information with the outside management system via web services. The proposed AMI system is designed to enable two-way communication between the home gateway and MDMM via the Internet. The AES(Advanced Encryption Standard) algorithm, which is a symmetric block cipher algorithm, is used to ensure secure information exchange. Even though the results in this study could be limited to our experimental environment, the result of the simulation test shows that the proposed system reduces electric power consumption by 4~42% on average compared to the case of using no control.

Keywords: Smart Grid, AMI(Advanced Metering Infrastructure), Home Gateway, Security, Home Network

* 정회원, ** 정회원, 창원대학교 컴퓨터공학과

(Department of Computer Engineering, Changwon National University)

접수일자: 2012년4월25일, 수정완료일: 2012년7월16일

I. 서 론

스마트그리드(smart grid)는 센서, 통신, 전력 공급 시스템의 전반적인 기능을 향상하기 위하여 기존의 전력 시스템에 IT기술을 합쳐서 에너지 효율을 최적화한 차세대 전력망이다.^[1~2] 스마트그리드는 분산 자원 및 소비자의 신뢰성을 보장하고 에너지 사용을 최적화하며 환경에 미치는 영향과 비용을 줄이기 위한 여러 가지 기능을 가진다. 이러한 스마트그리드와 관련하여 에너지 소비를 감소시키는 연구의 필요성이 증가하고 있다. 스마트그리드 기반의 전력망은 다양한 생산자의 전력 생산 시스템과 다양한 소비자의 시스템을 통합하고 실시간으로 변화에 대응하는 방향으로 발전하고 있다. 스마트그리드를 구현하기 위해서는 소비 전력량을 효과적으로 모니터링 할 수 있어야 한다. 이를 위한 대표적인 기능으로는 AMR (automatic meter reading) 또는 AMI (advanced metering infrastructure)가 있다. AMR은 전력 사용량을 자동으로 검침 및 관리 할 수 있는 시스템이다.^[2] AMI는 스마트미터를 기반으로 전력 소비자와 생산자간에 양방향 정보 교환을 가능하게 하는 시스템을 말한다.^[3] 따라서 스마트그리드를 구현하는 핵심 요소는 AMR의 단순한 원격 검침 기능 뿐 아니라 AMI와 같은 구조를 가져야 한다.

AMR은 인프라를 지원하기 위해 여러 기술 들을 활용한다. 초기 AMR은 검침의 정확성을 향상시키고 비용을 절감하기 위해 도입되었다. 그리고 AMR은 스마트카드를 이용한 방식, 전용 통신망을 이용하여 검침 서버로 데이터를 원격 전송하는 방식으로 발전하였다.^[2] 스마트카드 기반 AMR은 기존 AMR의 고비용, 인증 등을 개선하기 위해 사용되었다. 이 시스템은 비교적 저가로 원격 검침 시스템을 구현 할 수 있다. 그러나 이 시스템은 스마트카드를 지원하는 원격 검침 단말이 수용가 마다 개별적으로 설치되어야 한다. 그리고 스마트카드 기반 AMR은 실시간으로 소비자와 공급자의 연동이 어려운 문제점이 있다.

스마트미터 기반 AMI는 기존의 AMR과 달리 양방향 통신 인프라를 위해서 미터링과 통신 등의 보안기술이 필요하다.^[4~9] 이 시스템은 스마트미터를 중심으로 중계기, 집중기로 구성된 통신 인프라를 통해 전력량 정보가 전력 관리 시스템에 원격으로 전송된다.^[3] 스마트미터 기반 AMI에서의 스마트미터는 양방향 정보 제

공 기능, 홈 네트워크 연동 기능, 전력 제어 기능 등을 제공하여 전력 공급과 수요를 최적화 할 수 있는 기반을 제공한다. 그러나 스마트미터 기반 AMI는 인프라가 홈 네트워크와 유사하여 중복 투자의 낭비를 초래한다. 또한 통신비가 증가하는 단점이 있다. 스마트미터 기반 AMI는 홈 네트워크 간의 연동을 위해 새로운 장비 또는 인터페이스가 필요한 문제점이 있다. 그리고 스마트그리드를 위한 홈 네트워크에서의 AMI는 전력망에서부터 스마트그리드 기기들 간에 정보들을 교환해야 한다. AMI는 홈 네트워크를 구성하는 장치 간의 인터페이스에 전송되는 정보는 암호화 되어야 한다. 전송되는 정보가 노출되면, 개인 정보 도용 및 사용 요금 조작 등 전력망과 인터넷망에 심각한 보안 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 이를 방지하기 위해서는 스마트그리드 상에서 적용 가능한 저전력 암호 및 인증기술이 필요하다.^[4~9]

본 논문에서는 기존 연구의 문제점을 개선하기 위하여 스마트그리드를 위한 확장 홈 네트워크 기반의 AMI 시스템을 제안하였다. 제안된 AMI 시스템의 전체 구조는 스마트미터, 통신 모듈, 홈 게이트웨이, 보안 모듈, 미터 데이터 관리 시스템, 전력 응용 모듈로 구성된다. 본 연구의 특징은 스마트그리드를 위한 기존 홈 네트워크를 확장한 AMI 시스템이라는 것과 안전한 정보 저장을 위하여 보안 알고리즘을 추가한 것이다.

제안 무선 통신 모듈은 전력 소모를 줄이고 효율적인 데이터 전송을 위하여 Zigbee로 알려진 IEEE 802. 15. 4 MAC(Medium Access Control)으로 설계하였다.^[10] 확장된 홈 게이트웨이에서 제공하는 기능은 기존 홈 게이트웨이에 전력 관리 및 보안 서비스 모듈을 추가하여 홈 게이트웨이의 서비스 모듈과 연동한다. 또한 보안 알고리즘은 대칭적 블록 암호화 방식인 AES 알고리즘을 사용하여 안정성과 신뢰성을 유지하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장은 제안하고 있는 확장 홈 네트워크 기반의 AMI 시스템 설계, III장은 제안 시스템 구현 및 결과, IV장은 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 논의한다.

II. 제안된 확장 홈 네트워크 기반의 AMI 시스템 설계

스마트그리드 구현을 위한 AMI는 다양한 전력 생산

자 시스템과 소비자 시스템을 유기적으로 연결하기 위한 필수적인 요소 기술이다. AMI는 실시간 모니터링, 전력 부하 제어, 에너지 소비 통계 분석, 가격 정보 수신, 시스템 통합 인터페이스 등을 위한 기능을 가지고 있어야 한다. 기존 시스템의 단점을 개선하여 스마트그리드에서 요구하는 기능을 효과적으로 구축하기 위하여 1절에서는 홈 네트워크와 연동하며 효율적인 관리 기능을 제공하는 시스템의 특징을 먼저 설명하고 제안 시스템의 전체적인 구조에 대하여 설명한다.

1. 제안 AMI 시스템의 특징

본 논문에서 제안 AMI 시스템은 그림 1에서처럼 다수의 가전기기가 송신하는 에너지 소비 정보를 실시간으로 홈 네트워크에 전달하여 수용가가 전력 부하를 실시간으로 제어 하도록 한다. 그리고 스마트그리드 통합 센터는 수용가와 계약에 의해 제공하는 서비스 레벨을 설정 할 수 있다. 또한 서비스 레벨의 기능을 제공함으로써 에너지 관리를 보다 빠른 시간 내 수행 할 수 있는 환경을 제공한다. 제안하는 AMI 시스템의 주요한 특징은 다음과 같으며 본 논문에서 제안하는 시스템의 설계 목표이기도 하다.

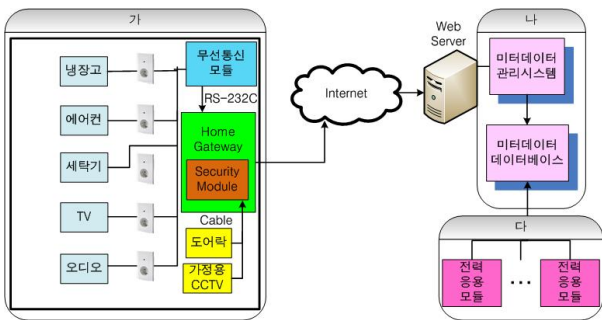


그림 1. AMI 시스템의 구조
Fig. 1. The architecture of AMI system.

- 에너지 소비의 실시간 모니터링이 가능하다.
- 에너지 부하를 효율적으로 제어 할 수 있다.
- 에너지 소비의 통계, 분석이 가능하다.
- 통신 비용을 절감한다.
- 에너지 품질에 대한 모니터링이 가능하다.
- 다양한 에너지 정보를 통합 관리 할 수 있다.
- 다양한 관리 플랫폼과 연동되는 인터페이스를 제공한다.

위에서 언급한 기능들을 가지도록 본 연구에서는 시스템을 설계, 구현 하였으며 이에 대하여 구체적으로 다음 절에서 설명한다.

그림 1에서 스마트미터, 통신 모듈, 홈 게이트웨이, 보안 모듈, 미터 데이터 관리 시스템, 전력 응용 모듈로 구성되는 홈 게이트웨이 중심의 AMI 시스템의 전체 구조를 보여주고 있다. 미터 데이터는 보안 알고리즘을 적용한 홈 게이트웨이에서 통합되고 인터넷 기반으로 암호화되어 미터 데이터 관리 시스템으로 전송된다. 전송된 미터 데이터는 데이터 관리 시스템에 의해 분석되어 데이터베이스에 저장된다. 전력 응용 모듈은 데이터베이스에 저장된 데이터를 기반으로 다양한 형태의 보고서 및 기타 응용 프로그램을 작성할 수 있는 기능을 제공한다.

2. 시스템 기능 및 동작

AMI 시스템의 전체 구조는 그림 1과 같이 ‘가’, ‘나’, ‘다’로 이루어져 있다. 홈 게이트웨이 기반 AMI 기능 모듈은 ‘가’로 구성되고, 미터 데이터 관리 시스템은 ‘나’로 구성되며 전력 응용 모듈은 ‘다’로 구성하였다. 본 절에서는 그림 1의 각 구성 요소들에 대하여 구체적인 기능 및 동작에 대하여 설명한다.

가. 홈 게이트웨이 기반 AMI 기능 모듈

일반적인 홈 게이트웨이는 가정 내에 스마트가전을 관리하기 위한 통신 인프라로서 각 가전을 통합 관리하

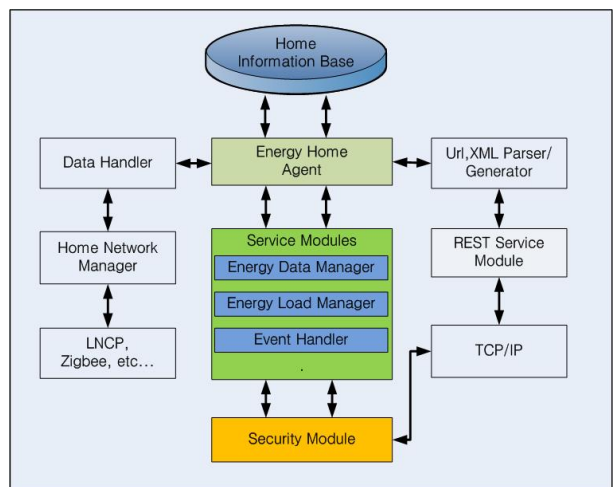


그림 2. 홈 게이트웨이 동작 흐름 및 구성
Fig. 2. The internal configuration of the extended home gateway.

는 기능을 제공한다. AMI 기능이 동작하기 위한 홈 게이트웨이는 기존 홈 게이트웨이에 전력관리를 위한 보안 서비스 모듈 등을 추가하여 기존 서비스 모듈과 연동한다. 이러한 접근 방법은 앞에서 언급한 것과 같이 AMI를 위한 독립적인 모듈을 필요로 하지 않으므로 최소의 변환을 통하여 원하는 목적을 이룰 수 있었다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 홈 게이트웨이에 AMI 기능을 추가, 확장한 시스템의 구조를 나타내며 그 중 AMI를 위해 추가되는 모듈은 크게 다음과 같으며 이들의 기능에 대하여 설명한다.

(1) 에너지 홈 대리자(Energy Home Agent)

에너지 홈 대리자(EHA)는 기존 홈 네트워크 대리자의 가전 정보에 에너지 정보를 추가하고 관리한다. 기존 홈 네트워크는 각 가전의 동작 및 특성만을 저장하고 관리하였으나 제안 시스템은 기존 정보에 가전의 에너지 분류 정보, 에너지 가격 정보, 에너지 제어 정보를 추가하여 관리한다.

(2) 에너지 데이터 관리자(Energy Data Manager)

에너지 데이터 관리자(EDM)는 데이터 핸들러로부터 수신되는 데이터에 시간정보를 추가하여 홈 데이터베이스에 저장하고 동시에 미터 데이터 관리 시스템에 송신한다. 그리고 저장된 정보들은 홈 게이트웨이 내부의 다른 서비스 모듈들에게 제공 하거나 외부 인터페이스를 통해 외부 관리 시스템에 제공된다.

(3) 에너지 부하 관리자(Energy Load Manager)

에너지 부하 관리자(ELM)는 에너지 소비 제어 기능

을 담당하는 서비스 모듈로서 서비스 레벨에 따라 가전을 분류하고 관리한다. ELM은 에너지 부하 제어 정보를 기반으로 정해진 레벨에 따라 미리 지정된 스마트 가전을 제어한다. 본 시스템의 ELM는 표 1을 기준으로 홈 게이트웨이에 등록된 가전의 목록과 명령어 목록을 검색하여 제어 테이블을 생성 관리한다.

(4) 이벤트 처리자(Event Handler)

이벤트 처리자(EH)는 홈 네트워크의 상태를 감시하고 장애 발생하는 경우 이벤트를 처리하거나 각 모듈로부터 등록된 이벤트를 감시한다. EH는 각 이벤트 발생에 따라 에너지 부하 관리자, 에너지 데이터 관리자, 에너지 홈 대리자를 호출한다.

(5) Url, XML 파서 및 생성기

이 모듈은 에너지 정보 교환을 위한 Url과 XML 데이터를 생성하고 분석한다. 본 논문에서 제안한 시스템은 REST의 Url을 이용하여 데이터를 호출하고 삽입하며 데이터의 형태는 XML 메시지 형식으로 데이터를 교환한다. 그리고 데이터 구조는 홈 게이트웨이와 미터 데이터 관리 시스템간의 전력량 정보 교환을 위해 IEC 61970에 근거하여 XML로 구성한다.

(6) REST 서비스 모듈

REST 서비스 모듈은 HTTP의 GET, PUT, PUSH, DELETE 명령어를 이용하여 XML 형식으로 데이터를 미터 데이터 관리 시스템에 전송한다. 또한 데이터 관리 시스템으로부터는 XML형태로 에너지 가격 정보 및 제어 정보를 수신 받는다. 제안 시스템에서는 데이터의 요청 및 전송을 위해서는 C#의 HttpRequest 클래스를 사용하고 REST 서비스의 제공은 .NET Framework의 WCF를 사용하였다. WCF를 사용한 웹 서비스는 호스팅에 웹 서버가 필요 없는 이점이 있다. 하나의 예로서 다음 명령은 홈 게이트웨이에서 미터 데이터 관리 시스템에 전력 데이터를 전송하기 위한 PUT 명령이다.

http://localhost:8080/Service/put?user={USER}&pass={PASS}

미터 데이터 관리 시스템은 인증되지 않은 홈 게이트웨이의 침입을 방지하기 위해 위와 같이 USER ID와 PASS를 비교, 검사한다.

표 1. 에너지 부하 제어 서비스 그룹
Table 1. Energy control service groups.

서비스 그룹	서비스 그룹 내용	제어 가전 목록	비 고
Level 0	제어 불가/불허	네트워크 장비, 전화 등	
Level 1	경고 후 제어 가능 장비	TV, 컴퓨터,다리미, 세탁기 등	경고 후 전원 차단
Level 2	자동 제어 장비	냉장고, 에어컨 등	전원소비를 조절할수 있는 장비
Level 3	자동 전원 차단	현관 등, 스프링쿨러 등	

(7) 암호 모듈

보안 모듈은 기존 홈 게이트웨이에 전력관리 및 보안 서비스 모듈을 추가하여 기존 홈 네트워크 서비스 모듈과 연동한다. 이는 지능형 전력망에 저장된 에너지 사용 정보에 대하여 사이버 공격으로부터 위협 가능성을 줄이기 위한 것이다. 본 시스템에서 사용 하는 보안 알고리즘은 대칭적 블록 암호화 방식인 AES 알고리즘을 사용하여 보안 오버헤드가 있기는 하지만 안정성과 신뢰성을 유지하였다. 보안 알고리즘의 데이터 블록은 128비트이고, 암호 키는 128, 192 혹은 256비트 중에서 선택할 수 있도록 하였다.

나. 미터 데이터 관리 시스템

미터 데이터 관리 시스템(MDMM)은 홈 게이트웨이가 송신하는 REST의 요청 정보로부터 미터 데이터를 해석하고 시간, 가격 정보, 부가 제어 신호를 XML 형식으로 작성하여 응답한다. 수신된 정보는 미리 정의된 형식으로 일반화되어 데이터관리 모듈에 전달된다. MDMM은 미터 데이터를 기반으로 이전에 저장된 데이터와 비교하여 데이터를 체계적으로 저장하고 미터 상태 정보를 기반으로 미터기 장애 이벤트를 생성한다. 또한 MDMM은 가격 정보를 변경하기 위한 인터페이스와 수용가의 부하 제어 신호를 생성하기 위한 인터페이스를 제공한다. MDMM은 홈 게이트웨이와 같이 REST 서비스 모듈, URL, XML 파서/생성기, 데이터베이스 연결 관리 모듈, 미터 데이터 처리 모듈 등으로 구성된다.

(1) 데이터베이스 연결 관리 모듈

데이터베이스 연결 관리 모듈은 빈번한 데이터를 신속하게 데이터베이스에 저장하기 위해서 연결 관리 객체를 미리 일정한 수만큼 생성 한 후 재사용하는 커넥션 풀을 사용한다. 커넥션 풀은 다른 데이터베이스를 지원하기 위해서는 AbstractDatabase를 상속받아 구현하면 상위 클래스 수정 없이 쉽게 구현 할 수 있다.

(2) 미터 데이터 처리 모듈

미터 데이터 처리 모듈은 수신된 미터 데이터를 데이터베이스에 저장한다. MDMM은 데이터의 확인과 보정을 위해 특정 홈 게이트웨이로부터 일정 시간 동안 누적된 미터 데이터를 가져와 갱신하는 기능을 제공한다.

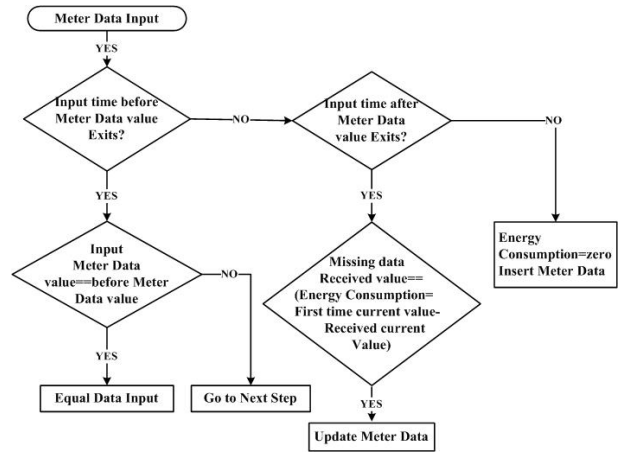


그림 3. 미터 데이터 처리 API 호출 순서도
Fig. 3. Flow chart of meter data processing.

표 2. 미터 데이터 처리 파라미터
Table 2. Meter data processing parameters.

Parameter	설 명
Mp_i	측정된 누적 전력량
Mt_i	i번째 전력값이 기록 될 때의 시간
MD_i	(Mp_i, Mt_i) : Meter data의 전력값
Cph	$\sum_{i=1}^6 (MD_i - MD_{i-1} - 1)$
Cpd	$\sum_{d=1}^{n=24} \sum_{i=1}^6 (Mp_i - Mp_{i-1} - 1)$
Cpm	$\sum_{k=1}^{m=30} \sum_{j=1}^{n=24} \sum_{i=1}^6 (Mp_i - Mp_{i-1} - 1)$

그리고 MDMM은 측정된 변동에 따라 데이터를 각각 다른 방법으로 갱신해야 하며 처리를 위하여 호출되는 API의 동작을 간략히 그림 3과 같이 표현할 수 있다.

또한 미터 데이터의 처리 과정에서 중요한 파라미터를 표 2와 같이 표현 할 수 있다. 미터 데이터의 전력값은 측정된 누적 전력값과 전력값이 기록될 때의 시간을 조합으로 나타내었다. 미터 데이터 처리 모듈은 미터 데이터의 전력값을 받아서 데이터베이스에 저장하여 구간별로 소비 전력을 계산할 수 있다. Cph는 10 분을 주기 시간별 소비 전력이고, Cpd는 일별 소비 전력, Cpm은 월별 소비 전력을 나타낸다.

다. 전력 응용 모듈

전력 응용 모듈은 전력 공급자에게 수용가의 에너지 소비 추이 정보를 제공하는 모듈이다. 또한 이 모듈은 본 논문에서 제안한 시스템의 공급자 측면에서의 효율

성을 증명하기 위한 모듈이다. 공급자는 정산과 운영의 두 가지 측면에서 스마트그리드를 필요로 한다. 구현 시스템은 미터 데이터 관리시스템에 의하여 구성된 데이터베이스를 기반으로 수용가의 에너지 소비 데이터를 효과적으로 제공한다. 또한 실시간 에너지 사용 감시, 에너지 소비 분석, 장애 이벤트 감시 기능 등을 제공한다. 이러한 모듈은 새로운 서비스가 필요한 경우 모듈 별로 추가할 수 있도록 구성하였다.

III. 제안 시스템 구현 및 결과

본 장에서는 II장에서 설계한 무선 통신 모듈, 확장 홈 게이트웨이, 미터 데이터 관리 시스템 기반의 시뮬레이터 프로그램과 전력 응용 모듈을 구현하고 그 실용성을 보였다. 구현 시스템은 수용가 측면에서 필요한 실시간 전력 소비 정보 제공 기능, 부하 제어 기능 및 공급자에게 필요한 운영 기능에 대한 실험의 결과도 보여주고 있다.

1. 시스템 구현 환경

시스템 구현 환경은 무선 통신 모듈은 전력소모를 줄이고 효율적인 데이터 전송을 위하여 IEEE 802.15.4로 설계하였고, 홈 네트워크 시뮬레이터, 확장 홈 게이트웨이, 미터 데이터 관리 시스템은 Visual Studio 2008을 이용하여 C#으로 구현하였다. 전력 응용 모듈은 C++로 구현하였으며 위치기반 서비스를 제공하기 위해 Google MAP API와 아파치 웹 서버를 이용하였다. 또한, 데이터베이스는 공통으로 Mysql을 사용하였다.

2. 무선 통신 모듈

무선 통신 프로토콜은 전력 소모를 줄이기 위하여

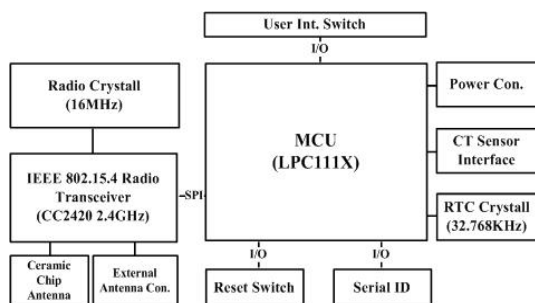


그림 4. 무선 통신 모듈 블록도
Fig. 4. Block diagram of the radio frequency module.

표 3. Main Processor & Radio Transceiver의 규격
Table 3. The Specifications of main processor and RF.

구분	Main Processor	Radio Transceiver
규격	- 32bit Cortex M0(12MHz) - 16KB Flash - 4KB RAM	- IEEE 802.15.4 - 2.4GHz - 250 kbps Data rate - Lowcurrent Consumption (RX,TX 20mA 이하)
기능	-센싱된 소비전력은 ADC를 통하여 디지털화=>신뢰성 보장 -데이터 송수신을 위해 CC2420을 SPI Interface를 통해 제어 -저전력을 위해 CC2420의 전원을 제어	-데이터의 전송을 위한 데이터 변복조

IEEE 802.15.4를 사용하였고, 메인 프로세서는 LPC111X를 사용하였다. 메인 프로세서와 무선 트랜시버 모듈의 자세한 규격은 표 3과 같다.

3. 홈 네트워크 시뮬레이터 및 확장 홈 게이트웨이

홈 네트워크 시뮬레이터는 가상의 가전기기 정보를 가지는 시뮬레이터이다. 또한 홈 네트워크 시뮬레이터는 정해진 주기로 가상 가전의 현재 에너지 소비 정보를 확장 홈 게이트웨이에 송신한다. 또한 확장 홈 게이트웨이에서 송신된 가전 제어 명령을 실행하여 가상 가전의 현재 에너지 소비 정보를 수정한다. 확장 홈 게이트웨이는 홈 네트워크 시뮬레이터에서 송신되는 에너지 소비 정보를 홈 게이트웨이의 데이터베이스에 저장함과 동시에 미터 데이터 관리 시스템의 REST를 사용하여 전송한다. 그리고 홈 네트워크 시뮬레이터는 가전에 대한 정보와 에너지 소비 프로파일을 저장하고 있으며 설정된 서비스레벨에 따라 홈 네트워크 시뮬레이터에 가전 제어 명령을 내린다. 홈 네트워크 시뮬레이터와 확장 홈 게이트웨이는 실제 스마트홈이 Zigbee, PLC (power line carrier)등을 탑재한 가전으로 구성되는 홈 네트워크와 명령을 수행하는 홈 게이트웨이로 구성되는 것을 참조하였다. 또한 홈 네트워크의 싱크 노드가 RS-232C로 홈 게이트웨이와 통신 하므로 서로 RS-232C를 사용하여 통신하도록 구현하였다. 그림 5는 구현한 홈 네트워크 시뮬레이터의 화면이며 그림 6은 홈 게이트웨이가 가장 최근의 에너지 소비량과 매 시간 에너지 소비량을 그래프로 출력하는 화면이다.



그림 5. 홈 네트워크 시뮬레이터

Fig. 5. An snapshot of the home network simulator.

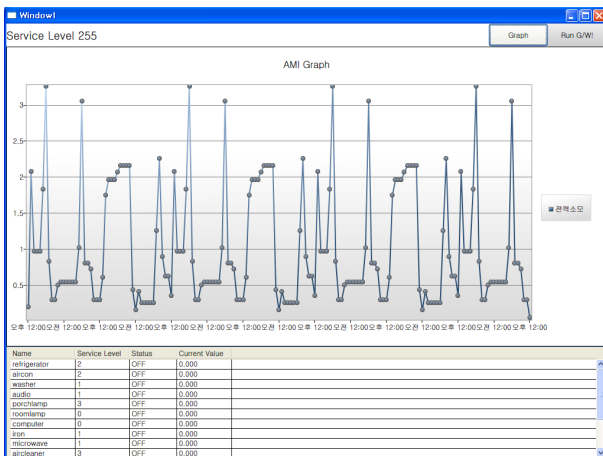


그림 6. 확장 홈게이트웨이의 소모전력 디스플레이 예

Fig. 6. A snapshot of extended home gateway simulation.

4. 미터 데이터 관리 시스템

미터 데이터 관리 시스템은 확장 홈 게이트웨이가 송신한 에너지 소비 정보를 H에서 설계한 알고리즘에 따라 저장한다. 이 시스템은 홈 게이트웨이의 데이터를 수신하기 위해 REST(representational state transfer) 웹서비스를 제공하며 다수의 홈 게이트웨이를 지원하기 위한 멀티 스레드 구조로 설계 구현 하였다. 또한 이 시스템은 전력 응용 모듈에서 확장 홈 게이트웨이의 설정 값 등을 제어하기 위해 Command 테이블을 주기적으로 감시하는 백그라운드 스레드를 가지고 있다. Command 테이블에 추가된 명령은 미터 데이터 관리 시스템에 의

해 XML(Extensible Markup Language)형식의 데이터로 변환 되어 해당 홈 게이트웨이가 데이터 송신시 응답 형식으로 송신된다. 제안된 시스템은 이 일련의 동작을 통해 공급자에게 수용가 전력 소비 부하 제어 기능을 제공한다.

5. 전력 응용 모듈

전력 응용 모듈은 확장 홈네트워크 기반의 AMI 시스템으로 실시간 에너지 소비 정보와 통계 그리고 경고 이벤트 감시 기능을 제공한다.

실시간 에너지 소비 정보는 수용가들의 실시간 에너지 전력 소비 정보를 제공하기 위해서 최근 수신된 데이터 검색 기능과 미터별 최근 데이터 검색 기능, 미터 데이터 검색 기능 등을 제공한다. 이 모듈은 등록된 모든 미터의 가장 최근 Current Value, Previous Value, 데이터 소비량, 수신 시간 등을 확인 할 수 있다.

에너지 소비 통계 기능은 특정 미터의 월별, 일별 전력 소비량을 표와 그래프로 표시한다. 이 모듈은 특정 날짜 또는 특정 월의 전력 소비량을 확인함으로써 수용가의 년/월간 전력 소비 추이를 추적 할 수 있는 기반을 제공한다. 또한 이 모듈은 장애 모니터링 기능, 최근 장애 검색 기능, 수용가 별 장애 검색 기능을 제공한다. 따라서 이 모듈은 최근 발생한 수용가의 장애를 확인할 수 있으며 장애 이력 테이블을 제공하여 장애 별로 처리 이력을 관리 할 수 있는 기능을 제공한다.

6. 구현 시스템 결과 분석

본 논문에서 설계한 시스템을 실험하기 위한 시스템의 동작 흐름의 설명은 다음과 같다. 확장 홈 네트워크 시뮬레이터는 저장된 프로파일에 따라 정의된 가전 기기의 동작을 제어하고 일정 주기 (본 실험에서는 10분)로 그 전력 소비량을 전송한다.

홈 게이트웨이는 수신된 전력 소비량을 부하기준과 비교하여 기준 이상의 부하발생시 가전 기기 동작 제어 명령을 확장 홈 네트워크 시뮬레이터에 전송하며 REST웹 서비스를 사용하여 미터 데이터 관리 시스템에 전송한다. 미터 데이터 관리 시스템은 홈 게이트웨이로부터 수신된 전력 소비량 데이터를 체계적으로 데이터베이스에 저장한다.

표 4는 실험을 통한 가전 종류별 전력 소비량 통계 측정치이다. 홈 네트워크에 의해 제어되는 가전기기는

표 4. 서비스 그룹 별 전력 소비량 예
Table 4. An example of power consumption.

SERVICE 그룹	전력 소비 합계	시간별 최대 전력소비	일별 최대 전력 소비
Not Define	183.82	3.25	28
그룹 3	167.31	3.12	27
그룹 2	163.42	3.02	26
그룹 1	112.52	1.89	18

세척기, 오디오, 현관등, 실내등, 컴퓨터, 에어컨, 전자레인지, TV, 공기정화기, 가습기, 냉장고이며 그 동작은 동작 프로파일을 기반으로 그룹별로 동일하게 동작한다. 전력 사용 형태에 따라 가전기기들은 3개의 그룹으로 분류하여 관리 하도록 하였다. 이는 사용 형태가 다른 것에 따라서 제어하는 방법 등이 달라질 수 있기 때문이다. 그리고 이러한 방법이 전체를 효과적으로 관리할 수 있을 것이다. Not Define은 스마트 그리드를 위한 네트워크 장비로 전원이 꺼져서는 안 된다. 그룹 1은 그룹 2, 3을 포함하며 사용자가 제어가 가능한 장치로서 제어에 필요한 필수 장치를 제외한 모든 장치이다. 그리고 그룹 2는 그룹 3을 포함하며 사용자가 전원 소비가 조정이 가능한 확인 요청을 설정한 장치이다. 그룹 3은 자동으로 꺼져도 사용자가 불편함이 없는 장치로서 사용자의 확인이 필요하지 않은 장치들로 구성된다.

홈 게이트웨이는 전력소비가 홈 게이트웨이에 설정된 시간별 최대 전력 소비의 임계치에 도달하면 설정된 서비스 그룹을 기준으로 해당 그룹의 가전 기기를 제어 하도록 하였다. 따라서 시간별 최대 전력 소비가 자동

감소된다. 제안된 시스템은 표 4에서 보면 그룹 3의 시간 별 전력소비량과 그룹 1의 일별 전력 소비량 합들의 결과를 비교 했다. 그림 7은 전력 모니터링 모듈에서 제공하는 그룹3과 그룹1의 일별 전력 소비량의 합을 나타내는 그래프이다.

그 결과 제안된 시스템은 제어를 하지 않았을 경우보다 전력소비가 시간당 4~42%정도 줄어들었다. 따라서 제안된 시스템이 에너지 서비스 그룹을 기반으로 에너지를 보다 효율적으로 관리함을 알 수 있다. 또한 시간 별 최대 전력 소비를 줄이는 것을 알 수 있었으며 서비스 그룹에 따라서 다르게 나타나는 것도 볼 수 있었다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

전통적인 원격 검침 시스템인 AMR은 스마트미터 중심의 AMI시스템으로 발전되어야 한다. 그러나 기존 AMI 연구들은 인터페이스 통합이 어려운 문제를 가지고 있었다. 기존 방법들의 단점을 개선하여 확장 홈 네트워크 기반의 AMI 시스템을 설계, 프로토타입을 구현하였다. 제안된 AMI 시스템의 장점은 가정 내에서 실시간으로 에너지 사용현황과 비용을 확인 할 수 있으므로 에너지 소비를 보다 효율적으로 조정 할 수 있다. 그리고 에너지 생산과 소비의 최적화를 목적으로 하는 스마트그리드에 에너지 정보 교환을 위한 기반 데이터 인프라를 제공한다.

본 논문에서는 확장 홈 게이트웨이, 미터 데이터 관리 시스템 기반의 시뮬레이터 프로그램과 전력 응용 모듈을 구현하고 그 실용성을 확인하였다. 실험 결과 일별 전력 소비량은 본 실험 환경에 제한적이기는 하지만 제어 하지 않을 때 보다 전력소비가 시간당 4~42%정도 향상되었다. 즉, 제안된 시스템은 에너지 서비스 그룹을 기반으로 에너지를 보다 효율적으로 관리한다.

향후에는 제안된 시스템을 기반으로 전력뿐만 아니라 가스, 수도 등 다양한 자원을 관리할 수 있는 기능과 스마트그리드의 고객정보시스템, 정전관리시스템, 작업 관리시스템등과 통합하기 위한 연구가 필요할 것이다. 또한 전력시스템 특성을 반영한 정보 보안 정책 및 서비스 제공 방안에 대한 아키텍처가 요구된다. 그리고 스마트 그리드 서비스를 위한 스마트 기기들에 대한 인증 및 암호화 연구가 더 필요하다.

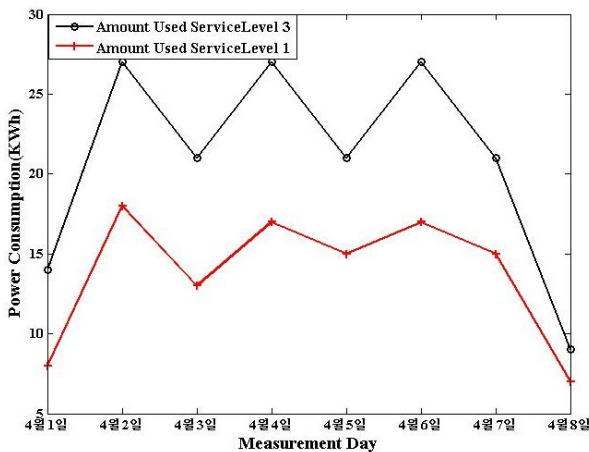


그림 7. 일별 전력 소비량 합 그래프

Fig. 7. Daily total power consumption graph.

참 고 문 헌

- [1] Clark W, Gellings, The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response, Fairmont Press, 2009.
- [2] H. Farhangi, "The path of the smart grid," IEEE Power & Energy Mag., Issue 1, pp. 18-28, Feb. 2010.
- [3] M. Arian, V. Soleimani, B. Abasgholi, H. Modaghegh, and N. S. Gilani, "Advanced Metering Infrastructure System Architecture", Proc. of APPEEC2011, pp1-6, 2011.
- [4] Tony Flick, Securing the Smart Grid: Next generation power grid security, Elsevier, 2011
- [5] Heo Joon, et. al, "A Security Mechanism for Automation Control in PLC-based Networks", ISPLC'07, pp466-470, 2007.
- [6] S. Clements and H. Kirkham, "Cyber-security considerations for the smart grid", IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp1-5, 2010.
- [7] F. M. Cleveland, "Cyber Security Issues for Advanced Metering Infrastructure (AMI)", IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp1-5, 2008.
- [8] 황유진, 고영탁, 이광휘 "스마트그리드를 위한 보안 기능을 가진 홈네트워크 기반의 AMI 시스템에 관한 연구", 대한전자공학회, 추계학술대회논문집, 299-300쪽, 2010년11월
- [9] 황유진, 이광휘 "보안 기능을 가진 지능형 홈네트워크 기반의 AMI 시스템 설계 및 구현", 대한전자공학회, 하계학술대회논문집, 123-124쪽, 2011년6월
- [10] 이상학, 조위덕, 송병철, 강정훈, 김대환, 정태충 "IEEE 802.15.4: Sensor Network 기술", 정보과학회지, 제21권, 제8호, pp.93-102, 2003년8월

— 저 자 소 개 —



황 유 진(정회원)

2000년 동의대학교 전산통계학과
학사 졸업.

2004년 동의대학교 전산통계학과
전산학 이학석사 졸업.

2010년~현재 창원대학교 컴퓨터
공학과 박사 과정 수료.

2005년~2010년 동의대학교 컴퓨터공학과
겸임교수

<주관심분야 : 스마트그리드, 스마트그리드 보안,
무선 센서 네트워크>



이 광 휘(정회원)

1983년 2월 고려대학교
전자공학과 (공학사)

1985년 2월 고려대학교
전자공학과 (공학석사)

1989년 2월 고려대학교
전자공학과 (공학박사)

1991년~1992년 영국 Wales 대학(Swansea) 및
Newbridge Networks 연구원

1992년~1993년 영국 Reading 대학 연구원

1997년~1998년 영국 Reading 대학 연구원

2001년~2002년 영국 UCL 방문연구원

2007년~2008년 영국 Reading 대학 방문연구원

1988년~현재 창원대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심분야: 무선 센서 네트워크, QoS/네트워크
관리, 멀티캐스팅, 모바일 컴퓨팅>