

# 다중 홉 원격검침망에서의 최소 트래픽 보장을 위한 데이터 수집기법에 관한 연구

중신회원 황 광 일\*

## Data Aggregation Method Guaranteeing Minimum Traffic in Multi-hop Automatic Meter Reading Networks

Kwang-il Hwang\* *Lifelong Member*

요 약

무선통신 기반의 원격검침 시스템은 설치의 용이함, 설비공사 및 유지보수 비용절감, 다양한 검침시스템으로의 적용의 유연성, 그리고 네트워크 확장성의 용이함 등의 장점으로 인해 최근 다양한 원격검침분야에서 활발히 활용되고 있다. 하지만, 이같은 다수의 장점에도 불구하고, 멀티 홉 기반의 원격검침망에서는 매 검침데이터 획득시마다 과도한 양의 트래픽을 발생시킴으로써, 데이터 충돌과 간섭의 확률을 증대시키고, 불필요한 전송으로 인한 에너지 낭비와 함께 특정 노드들의 에너지만 급격하게 소모되는 에너지 불균형 현상을 야기하고 있다. 그리하여 본 논문에서는 멀티홉 기반의 무선 원격검침망에서 발생하는 트래픽의 양을 최소로 줄임으로써 검침망의 각 노드들의 에너지 보존은 물론 다양한 문제점들을 해결할 수 있는 효율적인 검침데이터 수집기법을 제안하고, 성능평가를 통해 제안하는 기법에 대한 성능의 우수성을 입증한다.

**Key Words** : AMR, Data Aggregation, Tree, Energy-efficient routing, Minimum traffic

### ABSTRACT

Due to the advantages of a convenient, inexpensive installation, flexibility, and scalability, Wireless AMR systems are recently preferred over wired AMR systems. However, a multi-hop supported AMR network, which generally covers large areas, may create energy wastage problem, energy unbalance, and high interference hazard due to a large amount of concurrent-intensive metering data in the network. Therefore in this paper we propose a novel data gathering method which can solve abovementioned problems as well as conserve energy, by reducing the traffic in the network. In addition, the experimental results demonstrate that the proposed scheme shows superior performance to the conventional data transmission method.

### I. 서 론

원거리에 있는 사업자가 각 가정에 설치된 각종 계량기(전기, 가스, 수도, 열등)의 검침정보를 원격으로 수집하는 것을 가능하게 하는 원격검침(AMR: Automatic Meter Reading) 기술은 다양한 통신 기술의 발달과

함께 계속해서 진화해오고 있다. 이러한 원격검침 시스템을 위한 통신 기술은 크게 유선기반의 원격검침과 무선기반의 원격검침으로 나뉘어진다.

먼저, 유선기술로는 전화선을 이용한 기술<sup>5,14)</sup>과 전력선통신<sup>8,9,11)</sup>을 이용한 기술등이 대표적이다. 무선 원격기술로는 CDMA 망<sup>6,12)</sup>을 이용한 기술과 무선랜

※ 이 논문은 인천대학교 2010년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 인천대학교 임베디드시스템공학과 임베디드네트워크시스템구조연구실 (hkwangil@incheon.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-04-196, 접수일자 : 2011년 4월 25일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 30일

[6,10] 그리고 최근에는 지그비<sup>[3,4]</sup>를 이용하는 저전력 무선 통신 기반의 원격검침시스템이 개발되었다. 또한, 유무선<sup>[11]</sup>을 조합한 혼합형 통신방식을 사용한 원격검침시스템도 소개되었다. 원격검침은 일종의 센서 네트워크와 유사한 데이터 전송 모델을 가지기 때문에 센서네트워크와 연동되는 원격검침<sup>[7,16]</sup> 시스템도 제안되었다.

전력선 통신기반의 원격검침은 통신을 위한 추가적인 선로 및 인프라를 필요하지 않는 장점 때문에 원격검침분야에서 그동안 가장 효율적인 원격검침통신 기술로 사용되어 왔다. 그러나, 최근에 다양한 계량기로의 원격검침 기술이 도입되면서, 전력선 통신의 한계가 드러나기 시작했다. 특히, 가스나 수도 검침환경에서 전력선의 연결은 감전이나 스파크 발생의 위험의 소지가 있어 오히려 그 사용이 제한되고 있다.

최근에는 무선기술의 급속한 발전과 무선 통신기기들의 가격의 하락으로 인하여 다양한 계량시스템으로의 무선 원격검침이 점차 보급되고 있다. 무선원격검침시스템의 장점은 다음과 같다.

- 설치의 용이함
- 설비공사 및 유지보수 비용의 대폭 절감
- 다양한 검침시스템으로의 적용에 대한 유연성
- 네트워크의 확장성의 용이함.

또한, 소출력 무선 통신의 다중 홉 통신을 이용하여, ad hoc 네트워크로 구성된 네트워크의 규모를 확장할 수 있는 장점 때문에 지그비 기반의 원격검침 시스템은 무선 원격검침 인프라(AMI: Automated Meter Infrastructure)로서의 입지를 점차 확장해 나가고 있다.

하지만, 이러한 장점과 더불어 다중 홉 기반의 무선 기반의 원격검침 시스템에서는 네트워크의 크기가 확장됨에 따라 점차적으로 해당 네트워크에서 발생하는 트래픽의 양이 급격하게 증가되는 현상을 보인다. 이러한 트래픽의 증가는 데이터 충돌과 간섭의 확률을 증대시키고, 불필요한 전송으로 인한 에너지 낭비와 함께 특정 노드들의 에너지만 급격하게 소모되는 에너지 불균형 현상을 야기하고 있다.

그러하여 본 논문에서는 무선 원격검침망에서 발생하는 트래픽의 양을 최소로 줄임으로써 검침망의 각 노드들의 에너지 보존은 물론 다양한 문제점들을 해결할 수 있는 효율적인 검침데이터 수집기법을 제안하고, 성능평가를 통해 기존의 기법과의 비교분석을 수행하여 제안하는 기법의 성능의 우수성을 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 다음 장에서는 기존의 원격검침망의 트래픽을 분석한다. 이를 통해 발생할 수 있는 다양한 문제점들을 요약하고, 새로운 검침 데이터 획득기법의 설계 고려사항을 제시한다. 3장에서는 최소 트래픽 보장을 위한 새로운 검침 데이터 수집기법을 제안한다. 제안하는 기법은 먼저 이상적인 수집기법인 평면적기법에 대해 소개하고, 이에 대한 단점을 보완한 보다 실질적인 모델인 계층적 데이터수집기법을 제안한다. 4장에서는 기존의 데이터 획득기법과 제안한 기법에 대한 다양한 관점에서의 실험 결과를 분석한다.

## II. 기존 원격검침망의 트래픽 분석

원격검침 시스템 또는 센서네트워크와 같은 소출력 무선 시스템의 경우, 개별 단말기에서 프로세싱 하는데 필요한 에너지보다 송/수신하는데 요구되는 전류(에너지)의 소모가 더 크다. 이미 [17]에서는 한번 전송하는데 걸리는 에너지 소모량은 프로세서가 3,000 명령어를 실행시키는 에너지 소모량과 같다는 것을 입증했다. 즉, 이러한 무선 기기로 이루어진 검침 네트워크에서는 무엇보다 불필요한 통신의 횟수를 줄이는 것이 중요하다.

일반적으로 원격검침망은 각 수용가들간에 논리적으로 연결된 망을 통하여 RF/CDMA 중계기를 통해 사업자 서버로 데이터를 전달한다. 이러한 다수의 수용가들로 구성된 망은 별도의 라우터전용 디바이스 또는 라우팅 기능이 가능한 수용가 수집기들을 통해 다중 홉 경로를 거쳐 결국 서버로 데이터를 전달하게 된다. 특히, 각 수용가들이 구성하는 다중 홉 기반의 검침망은 망구성이 간단하고 라우팅 부하가 적은 트리 토폴로지가 일반화되어 있다. 그리하여, 각 수용가들의 검침기들은 이미 예약된 시간에 (주로 하루 네 번) 모두 깨어나서 전송을 수행하고, 다시 수면상태로 돌아감으로써 에너지 소모 최소화 전략을 쓰고 있다.

그러나, 이러한 트리 기반의 검침 데이터 전송은 트리를 통해 검침 데이터를 전송함에 있어, 각 경로에 있는 라우터 또는 수집기에서 자신의 검침 데이터가 아님에도 불구하고 다른 검침 데이터를 자신의 RF를 사용하여 다음 라우터로 전달해야 하는 상황이 발생한다. 이런 상황은 트리안에서 자식이 많을수록 자신이 전달해야 할 데이터의 수는 늘어나게 된다. 즉, 라우터 또는 라우팅 기능을 가진 수집기의 경우 자신의 데이터를 전달하는데 소모되는 에너지 보다 다른 데이터들을 전달하는 데 더 많은 에너지를 소모하는 것

을 나타낸다.

기존 원격검침망의 트래픽 양을 분석하기 위해 먼저 임의의 n-진 트리를 고려하자. 트리를 구성하는 각 노드는 최외각 노드(자식을 가지지 않는 노드)를 제외하고 모두 n개의 균일한 자식을 가지고 있고, 트리의 depth는 N이라고 할 때 각 노드가 자신의 데이터(패킷)을 한 개씩 트리를 통해 집중기로 전송한다면 그때 전체 트리에 발생하는 패킷의 수 (Y) 는 다음과 같다.

$$Y_{Non\ aggregation} = \sum_{k=0}^{N-1} \left( \sum_{i=1}^{N-k} n^i \right) n^k \quad (1)$$

이것은 각 노드가 자신의 데이터를 한 번 보낼지라도 임의의 노드 k는 자신의 1차 자식들의 데이터 n개를 또한 자신의 부모에게 n번 전송해야하며, 그 1차 자식들의 하위 데이터 또한 모두 노드 k를 통해 전송해야 함을 나타낸다. 예를 들어, 자식을 2개씩 갖는 트리에서 루트를 제외한 노드의 수가 모두 14개 일때 이 트리를 통해 전송되는 총 트래픽의 양은 34개가 된다. 특히, 트리의 depth가 커짐에 따라 트래픽의 양은 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

이러한 트래픽의 증가는 단순한 에너지 소모 뿐만 아니라 다음과 같은 다양한 부가적인 문제점을 야기시킬 수 있다.

- 데이터 충돌(Collision) 확률의 증대

비록 각 노드들이 트리를 통해 논리적으로 연결되어 있다 하더라도 실제로 물리적으로는 인접지역에 다수의 노드들이 함께 존재한다. 따라서, 트리 위의 다양한 경로를 통해 다수의 데이터들이 인접지역에서 같은 시간대에 발생할 수 있으며 이로 인해 데이터 충돌의 가능성이 증가 되고, CSMA등의 충돌 회피 알고리즘을 사용할 경우에도 그에 따른 지연과 해당 패킷의 재전송 가능성을 피할 수 없다.

- 넓은 지역에 걸친 간섭(Interference) 의 증대

각 데이터들이 한번 발생할 때마다 해당 데이터가 트리를 통해서 집중기까지 모두 전송되어야 함으로 데이터가 유효한 시간동안에는 트리가 걸쳐있는 거의 전 지역에 걸쳐 트래픽이 발생하게 된다. 만약, 같은 주파수 대역에서 다른 시스템들과 함께 공존하고 있다면, 검침 데이터들이 전송되는 시간에 상당히 넓은 범위에 걸쳐 다른 시스템들이 간섭을 방해받게 될 것이며, 반대로 다른 시스템들에 의해서 검침 데이터 전송이 영향을 받기 쉽다.

- 불필요한 전송에 소모되는 에너지의 낭비

앞서 언급한 바와 같이 구성이 간단한 검침시스템의 경우 프로세싱에 의한 에너지 소모량보다 통신을 수행함에 따른 에너지 소모량이 크다. 실제로 자신의 데이터 전송을 제외한 다른 검침데이터들의 전달은 자신의 직접적인 데이터가 아님에도 불구하고, 자신의 에너지를 소모하여 전달하여야 한다. 따라서 위와 같이 노드가 집중기에 가까울수록 자식 노드를 많이 가지게 되고, 이럴수록 자신의 데이터 전송 대비 다른 데이터 전송에 대한 에너지 소모가 증가하게 된다.

- 노드간 에너지 불균형

트리 구조는 라우팅 오버헤드를 줄여 이미 구성된 경로를 통해 데이터 전달할 수 있는 장점이 있는 반면, 트래픽이 증가할수록 집중기(트리의 root 노드)에 가까운 노드일수록 더욱 많은 데이터 전송을 수행해야 한다. 즉, 시간이 경과함에 따라 트래픽이 집중되는 집중기 근처의 노드들은 에너지 소모가 다른 노드에 비해 급격히 증가된다. 그로 인해 다른 노드에 비해 수명이 더욱 단축될 수 있다. 이럴 경우 다른 노드들은 충분한 에너지가 있음에도 불구하고 집중기 근처의 노드들이 fail이 됨에 따라 트리 내의 경로가 두절되어 나머지 모든 노드들도 데이터 전달이 불가능해지는 상황이 발생한다. 이러한 에너지 불균형의 문제는 특히, 검침네트워크와 같이 지속적인 유지보수가 가능하지 않은 한 번 설치 후에 수년 이상을 같은 배터리로 유지해야 하는 응용에서 더욱 큰 문제를 만들게 된다.

위에서 살펴본 바와 같이 기존 검침망에서의 발생하는 트래픽의 증가는 검침망 전반적으로 상당한 문제를 야기할 수 있음을 볼 수 있다. 따라서, 원격검침의 수요가 점점 증가되고 스마트미터의 활용이 증가되는 현 시점에서 보다 검침망의 트래픽을 보다 최소화 할 수 있는 새로운 검침망의 개발이 필요하다.

올적인 원격검침망을 위해서는 다음과 같은 사항들을 고려해서 설계되어야 할 것이다.

- 간섭이나 충돌의 확률을 최소화 할수 있어야한다.
- 에너지 소모를 최소화 할수 있어야 한다.
- 노드간 에너지 균형이 최대한 이루어져야 한다.

이러한 요구사항을 종합하면 새로운 원격검침망에서는 각 노드의 포워딩 횟수를 최소화 시킬 수 있는 즉, 전체 네트워크의 트래픽을 최소화 할수 있는 새로운 기법이 필요하다는 것을 말한다.

### III. 최소 트래픽 보장을 위한 검침 데이터 획득 기법

#### 3.1 시스템 모델

그림 1은 기본적인 원격검침망의 구조를 보인다. 그림에서 보는바와 같이 각 수용가의 각종 검침기는 수집기를 통해서 다시 집중기를 거쳐 역세스망까지 연결이되고 인터넷 또는 CDMA망을 통해 최종적으로 AMR센터 서버로 전송된다. 수집기는 각 가정을 대표하는 디바이스로서 각종 검침량을 일시저장하고 라우팅 기능을 포함하고 있어 라우터와 함께 집중기까지의 멀티 홉 통신을 수행한다. 이러한 원격검침망 모델에서 우리는 특히, 수집기들로 구성된 NAN (Neighbor Area Network)에서의 효율적인 데이터 획득방법을 제안한다.

또한, 본 검침 데이터 획득 기법에서는 다음과 같은 기본적인 사항을 가정한다.

- 모든 노드는 동기가 맞추어 있다. 즉, 이미 약속된 시간에 모두 깨어나고, 다시 수면상태로 돌아 갈수 있다.
- 각 검침데이터를 저장하는 데이터 사이즈는 동일하다. 각 수용가에서 발생하는 검침데이터의 값은 모두 다를지라도 검침데이터의 최대 크기는 일정하다. 일반적으로 각 검침데이터는 최대 4바이트, 일반적으로로는 2바이트로 가능하다.

이미 앞서 언급한 바와 같이 트리구조를 통한 일반

적인 검침 데이터 획득기법은 다양한 문제점을 야기시킨다. 그리하여, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 물리적 데이터 수집 기법을 제안한다. 제안하는 데이터 수집기법은 기본적으로 센서네트워크에서의 In-network 프로세싱을 통한 data gathering 기법<sup>[7]</sup>으로부터 영감을 받았다.

센서 네트워크와 검침 네트워크는 그 전송 패턴이 일대다 또는 다대일 통신을 수행하고, 결국 모든 센싱 데이터 또는 검침데이터가 싱크노드와 집중기로 향한다는 점에서 유사하다. 제안하는 데이터 수집기법과 센서네트워크에서의 data gathering 기법은 모두 네트워크에서 발생하는 트래픽의 수를 줄일 수 있다는 공통점이 있으나 다음과 같은 차이점을 가진다. 센서네트워크에서는 in-network 프로세싱에 기반한 각 노드들간의 semantic 데이터 수집을 통해 트래픽을 줄인다. 예를 들면, 화재를 감지하는 센서가 해당지역의 화재를 감지할 경우 인근 지역에 있는 다수의 노드들이 함께 화재를 감지하고, 화재가 발생했다는 이벤트를 전송할 경우에 그 지역의 유사 이벤트들을 한곳에서 수집하여 최종적으로 싱크노드로는 한 패킷만 전송시킴으로써 트래픽의 양을 감소시킬수 있다. 하지만, 검침망에서는 이처럼 협력적인 이벤트 대응이 가능하지가 않다. 왜냐하면 검침망에서의 각 검침기는 각각의 데이터들이 모두 독립적으로 서버로 도달하여야 하기 때문에 네트워크 안에서 어떤 프로세싱에 의한 처리가 불가능하다. 그리하여, 제안하는 데이터 수집기법은 센서네트워크에서의 semantic 수집기법과 달리하여 물리적으로 패킷에 포함시키는 물리적 수집기법을 사용한다.

#### 3.2 평면적 데이터 수집기법

먼저 우리는 직관적으로 접근할 수 있는 평면적 데이터 수집기법을 제안한다. 제안하는 데이터 수집기법은 기본적으로 초기 트리구성 단계, 토폴로지 인식단계, 그리고 검침데이터 전송의 세 단계로 구성된다.

그림 2에서 보는 바와 같이 제안하는 수집기법에서는 기본적으로 트리기반의 데이터 수집을 사용한다. 이것은 기존의 검침망의 구조를 최대한 활용하면서도 그 안에서 최소의 트래픽을 발생시키기 위함이다. 그림 2 에서 보는 바와 같이 초기에 flooding을 통해서 집중기로부터 각 노드들로 Construct\_tree 메시지가 전파된다. Construct\_tree 메시지를 받은 노드는 자신에게 같은 메시지를 보낸 노드 중에 최소의 depth이면서 RSS(Received Signal Strength) 값이 가장 좋은 노드를 선택하여 자신의 부모노드로 삼는다. 그런 후

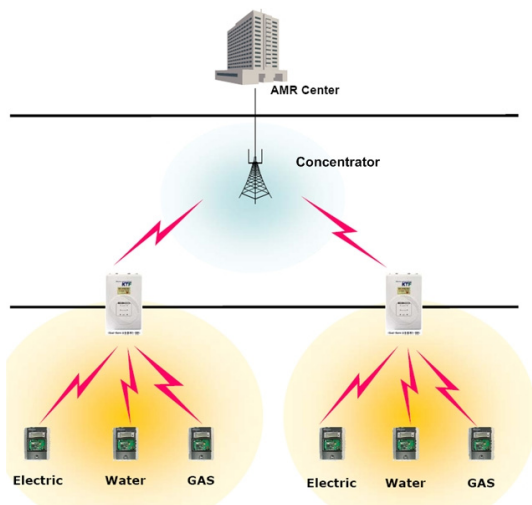


그림 1. 원격검침망 구조

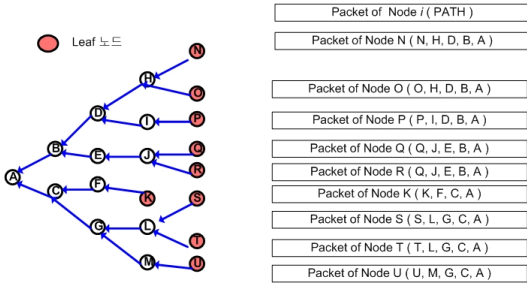


그림 2. 트리 구성과 토폴로지 인식

에 다시 인접 노드들로 Construct\_tree 메시지를 브로드캐스트 한다. 이렇게 함으로써 결과적으로 그림 2와 같이 reverse path가 설정되고 결국 집중기로 모든 경로가 향하는 트리 구성이 완료되게 된다.

트리 구성이 완료되면, 데이터 수집을 위한 사전 작업인 토폴로지 인식단계로 들어간다. 토폴로지 인식단계라 함은 각 부모노드들이 현재 자신의 자식 노드들의 연결 상태를 확인하고 그 연결 내용을 저장하기 위함이다. 이를 통해서 결국 집중기에서 전체 네트워크의 모든 연결상태 (트리의 구조)를 확인할 수 있다. 먼저, 트리 구성과정이 끝나면, 트리의 각 leaf 노드는 자신의 부모를 통해 Topology\_report 메시지를 내보낸다. 여기서 트리의 각 leaf 노드가 이 과정을 시작하는 이유는 실제로 중간과정에 있는 노드들(자식을 가지고 있는 노드)은 이 트리 구성과정이 언제 끝나는 지를 알 수 없기 때문이다. 단, 자신이 보낸 Construct\_tree 메시지에 대한 어떤 forwarding도 이루어지 않음이 확인 되면 그 노드는 leaf노드가 되고 더 이상 자신을 통해서 Construct\_tree 메시지는 전파되지 않음을 알 수 있다. Topology\_report 메시지의 형식은 간단하다. 단지, num filed, id array filed로 구성된다. 먼저, leaf 노드는 패킷의 payload에 자신의 id를 넣고 num 필드를 1로 하여 자신의 부모에게 해당 패킷을 전송한다. 각 경로에 있는 노드들(부모)은 Topology\_report 패킷을 받게되면 해당 payload에서 num 필드를 확인하고, num값을 1 증가시킨 후 해당 위치에 자신의 id를 포함시키고, 이 또한 자신의 부모에게 forwarding한다. 이러한 경로 위에 있는 노드들의 id를 전송하는 방식은 DSR<sup>[18]</sup>에서와 유사하다. 그림 3에서 보는 바와 같이 집중기 A에서는 자신의 트리에 있는 각 leaf 노드들이 전송한 Topology\_report 패킷을 받게 되고, 이 패킷을 parsing함으로써 전체 토폴로지를 인식할 수 있게 된다. 뿐만 아니라, 그 과정에서 각 부모는 다양한 경로로 자신에게 도달하는 패킷을 통해 자신을 중심으로 자신의 모든 하위 노드들의 토폴로지를 인식 할

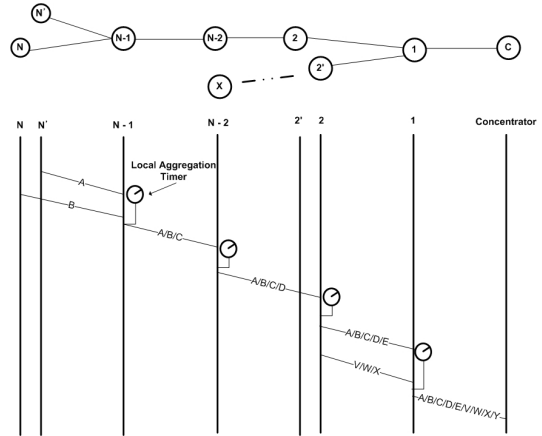


그림 3. 검침데이터 수집과정

수 있게 된다.

각 부모 노드 및 집중기에서의 토폴로지 인식 단계가 완료되면 각 부모노드에서는 하위의 노드들의 연결 상태 및 자신의 바로 아래 자식노드들의 수와 id를 알수 있다. 일반적으로 검침데이터는 이미 약속된 정해진 시간에 정기적으로 모든 노드들이 깨어나 집중기로의 전송을 수행한다. 제안하는 데이터 획득 기법은 이러한 전송 모델에서 이미 토폴로지 인식과정에서 획득한 자식노드들의 연결상태 정보를 바탕으로 각 노드에서 불필요한 forwarding을 없애고, 최상의 경우에 한 경로상의 각 노드들의 단 한번씩의 전송만으로 전체 네트워크내의 모든 데이터 수집이 가능하도록 한다. 검침 데이터 전송과정에 대한 이해를 돕기 위해 그림을 통해 설명하도록 한다. 그림 3는 제안하는 검침 데이터 수집과정의 예를 보인다. 그림과 같은 트리에서 검침데이터 전송의 시작은 Topology\_report에서와 같이 leaf 노드에서 시작한다. 이미 모든 노드가 동기화 되어 있어 약속된 시간에 모두 깨어나 있다. 깨어남과 동시에 각 부모 노드는 지역수집타이머 (Local Aggregation Timer)를 동작시킨다. 이 타이머는 급변 수집 기간 동안에 자신의 자식들의 전송에러를 처리하기 위해서 사용되며, 또한 자식 노드들로부터 검침데이터를 수집하는 시간을 제한하기 위해서이다. 만약, 부모 노드가 이번 검침수집에서 자식으로 부터 검침데이터를 받지 못할 경우 무한정 기다릴 수 있기 때문이다. 다양한 이유 (예러상황)에 의해 노드는 검침데이터 전송을 실패 할 수 있다. 예제에서의 leaf 노드인 N과 N'은 자신의 부모를 향해 자신의 검침데이터 A와 B를 각각 전송한다. 타이머가 타임아웃 되기 전에 나머지 모든 자식들로부터 검침데이터

를 받게 되면, 해당 부모 노드는 자식들로 부터의 검침데이터를 바탕으로 자신을 기준으로 한 새로운 패킷을 생성하고, 그 패킷에 자식들로부터 받은 검침데이터들에 자신의 값도 함께 더하고 해당 패킷을 다시 자신의 부모 노드로 전송한다. 그림에서 보는것과 같이 노드 N-1의 패킷에는 (A/B/C)가 포함된다. 만약, 타이머가 타임아웃 될때까지 아직 도착하지 않은 자식 노드의 패킷이 있다면 해당 자리에 NULL로 표시하여 에러를 알리고, 에러치리는 후후 서버를 통해 집중기에 의해 unicast로 재수집 된다. 이러한 물리적 수집을 통한 전송은 결국 트리의 부모들을 통해 집중기까지 도착하게 된다. 그리하여 결국 집중기에서는 전체 트리의 급번 검침값들에 정보를 모두 알게될 수 있으며, 이 과정에서 (최상의 경우)각 노드는 단 한번씩만 트래픽을 발생시키게 된다. 즉, N의 depth를 가지는 임의의 n진 트리에 대한 제안하는 수집기법의 총 트래픽의 수는 다음과 같다.

$$Y_{aggregation} = \sum_{k=1}^{N-1} n^k + 1 \quad (2)$$

여기서 n은 각 노드의 자식의 수이며 (n진트리를 고려), N은 트리의 depth를 가리킨다.

위 식(2)에서 알수 있듯이 제안하는 수집기법을 통해서 기존의 O(n2) 인 트래픽의 양은 O(n)으로 수집이 가능해 짐을 볼 수 있다.

### 3.3 계층적 데이터 수집기법

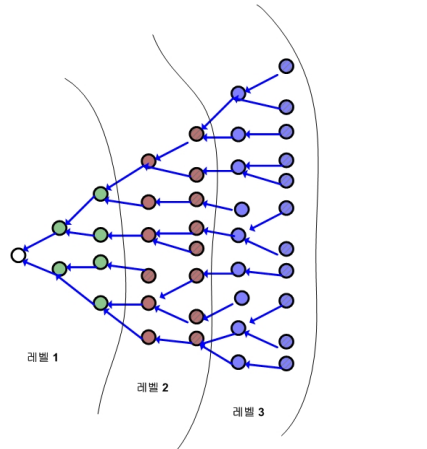
앞서 제안한 검침 데이터 수집기법은 트래픽의 측면에서 상당한 장점을 가져온다. 하지만, 이미 언급한 바와 같이 최상의 경우에 효율이 증가된다. 즉, 모든 경로의 검침데이터가 한 패킷안에 포함될 수 있는 경우 모든 자식노드들의 검침데이터는 결국 한 개의 payload에 합체되어 집중기에서 수집된다. 하지만 만약, 임의의 한 노드에서 수집중인 데이터의 payload가 꽉 찼다면, 나머지 부모 노드들의 검침데이터는 이 수집과정에 동참하지 못하고 일반 데이터 전송기법을 통해 개별적으로 전송해야 한다. 무엇보다 네트워크 크기와 데이터 사이즈에 따라 성능이 크게 좌우된다. 따라서, 본 장에서는 이러한 평면적 검침 데이터 획득 기법의 한계를 보완하기 위한 보다 향상된 계층적 데이터 수집 기법을 소개한다. 기본적인 트리 구성 과정은 같다. 하지만, 토폴로지 인식과정에서 다음과 같은 과정이 추가된다. leaf 노드로부터 시작된 Topology\_report를 통해 각 부모는 다음을 조사한다.

if( (자식의 수 + 1) x 데이터사이즈 >= 최대 payload 사이즈 )

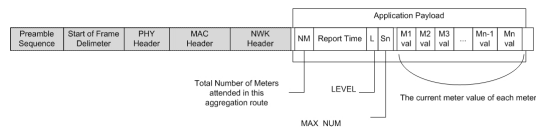
만약 이 결과가 참이면 ( 본 노드부터 이후 부모들은 더 이상 검침수집과정에 참여하지 못함을 의미), Toplogy\_report 패킷의 level을 1만큼 증가시키고, 자신을 시작으로 새로운 Topology\_report 패킷을 만들어 자신의 부모로 전송한다.

만약 트리의 가장 가장자리부터 시작하여 수집을 시작하고, payload 가 가득차 있으면 그 패킷은 bypass 시키되, 자신을 기준으로 다시 검침데이터 수집과정을 시작하여, 최종적으로 그림 4 (a)에서와 같이 수집 지역별로 레벨이 나뉘어지는 계층적 검침데이터 수집이 가능하게 한다. 여기서의 각 레벨은 검침데이터 수집 기법이 적용되는 그룹을 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 예를들어 payload에 최대 3개의 노드의 검침 데이터만 수집이 가능하다고 할 때, 가장 중단으로부터의 검침 수집은 레벨 3에 있는 노드들만이 가능하다. 그리하여, 이렇게 레벨 3에서 수집된 데이터들은 나머지 트리 경로를 통해서 그대로 forwarding된다. 하지만, 나머지 수집에 참여하지 못한 노드들은 그림에서 보는바와 같이 추가적인 레벨 2, 레벨 1으로 나뉘어져 각 레벨에서 새로운 검침 수집과정이 이루어지게 된다. 그림 4 (b)는 이러한 계층적 검침 데이터 수집과정에서의 패킷 포맷을 보인다.



(a) 계층적데이터 수집 기법



(b) 계층적데이터 수집 패킷 포맷

그림 4. 계층적 데이터 수집기법

#### IV. 성능평가

##### 4.1 실험환경

기존의 트리기반의 검침데이터 전송과 제안하는 두 종류의 검침데이터 수집 방법 (평면적/계층적)의 성능을 평가하기 위해, 우리는 C언어와 C++를 사용한 이벤트 기반의 자체 시뮬레이터를 개발했다.

그림 5는 개발된 시뮬레이터의 내부 구조도를 보인다. 시뮬레이터는 크게 입력부, 시뮬레이션부, 출력부로 나뉘어지며, 입력부에서는 콘솔 입력으로 tree에 관한 정보 (depth, 자식수)와 기본적인 파라미터 정보 (Payload size, LAT timeout, current consumption, voltage, Transmission Time 등)를 입력받고, 시뮬레이터 부에서는 입력받은 트리정보로부터 토폴로지를 발생시키며, 노드들은 링크드 리스트로 연결되며 각 리스트는 노드 엔티티 내부에 세 가지 알고리즘 (NA: No Aggregation, PA: Plane Aggregation, HA: Hierarchical Aggregation)을 구현하였으며, 매 데이터 전송은 이벤트에 관리되고, 이벤트는 스케줄러를 통해 다음 이벤트를 호출한다. 해당 이벤트에 의한 시뮬레이션 과정 및 결과는 result.dat 파일에 저장되고 이를 통해 알고리즘 별 트래픽의 양과 모든 노드의 데이터를 수집하는 데 소요되는 총 데이터 수집시간 및 각 노드의 소모된 에너지를 분석했다.

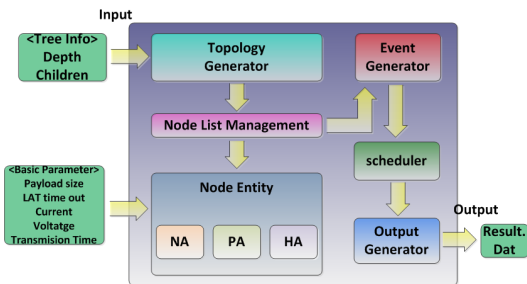


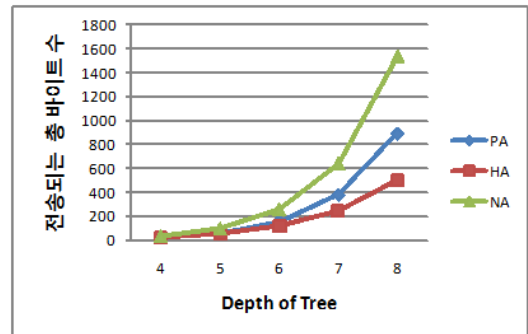
그림 5. 시뮬레이터 구조

##### 4.2 트래픽분석

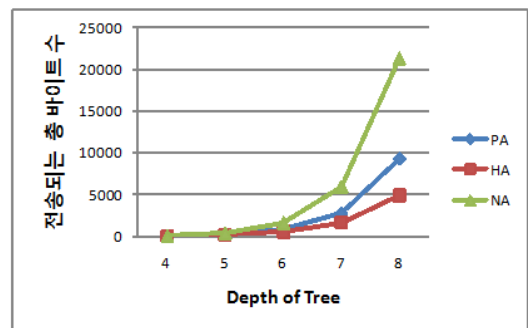
먼저, 우리는 트리의 크기 변화에 따른 전체 데이터 수집 동안 발생하는 네트워크의 총 트래픽 양을 관찰했다. 실험에서 우리는 같은 수의 자식을 갖는 트리의 depth를 증가시키면서, 트리의 크기를 변화시켰으며 각 depth의 경우에 전체 네트워크에서 발생하는 총 바이트 수를 비교했다. 사용된 트리는 3진 트리 (트리의 모든 가지의 수가 세 개)와 4진 트리 (트리의 각 가지의 수가 네 개)인 균일한 자식의 수를 가지는 트리를

사용했다. 이러한 트리 구조에서 Depth 크기의 변화는 트리 전체의 노드의 수 (네트워크 사이즈)의 변화를 가져온다.

위와 같이 동일한 조건에서 기존의 데이터 수집기법 (NA: No aggregation)과 평면적 데이터수집기법 (PA: Plane Aggregation), 그리고 계층적수집기법 (HA: Hierarcical Aggregation)을 각각 실험하고 그 결과는 그림 8과 같다. 그림 6(a)는 트리의 자식의 수가 3일 경우이며, (b)는 자식의 수가 4인 경우 각각에 대한 결과를 보인다. 결과에서 보는 바와 같이 데이터 수집기법을 적용하지 않은 경우(NA) 네트워크 사이즈가 커짐에 따라 트래픽의 양이 급격하게 증가되는 것을 볼 수 있다. 하지만, 제안하는 수집기법을 적용한 경우 트래픽 양의 상당한 감소를 볼 수 있다. 특히, 네트워크의 사이즈가 증가함에 따라 수집되는 검침데이터의 사이즈가 payload 사이즈를 초과하여 PA는 depth 6이상에서 급격한 트래픽 증가를 보임이 주목된다. 하지만, 계층적 수집기법(HA)의 경우 네트워크의 사이즈가 급격하게 증가되어도 NA에 비해 약 1/4 만큼 적은 트래픽을 유지함을 볼 수 있다.



(a) 자식 수가 3인 트리



(b) 자식수가 4인 경우

그림 6. 트래픽 분석 결과

### 4.3 데이터 수집시간 분석

그림 7은 네트워크 사이즈의 증가에 모든 노드의 데이터 수집을 위해 소요되는 총 데이터 수집시간의 변화를 보인다. 그림에서 보는 바와 같이 네트워크의 사이즈가 작을 경우에는 데이터 수집기능이 없는 (NA) 일반 전송기법에서의 수집시간이 최소화 되지만, 네트워크 사이즈가 증가됨에 따라 트래픽이 급격히 증가되고, 트래픽의 증가에 의해 총 소요시간이 크게 증가됨을 볼 수 있다. 하지만, 제안된 의 경우 네트워크 사이즈의 급격한 증가에도 불구하고 수집시간이 크게 증대되지 않음을 볼 수 있다. 이것은 제안된 방식의 경우 각 노드에서 자식들의 데이터 수집후 aggregation되어진 단일 데이터를 자신의 부모로 보냄으로써 총 수집시간의 단축을 가져다 준다. 그림에서 보는 바와 같이 depth가 6이상이부터 PA의 경우는 다소 증가됨을 볼 수 있는데, 이는 트리의 크기가 증가됨에 따라 aggregation된 데이터 사이즈가 payload 사이즈를 초과하여 그 이후 모든 트리의 구성원들은 단일 패킷으로 보냄으로 인해 총 수집시간 증가되게 된다. 그림에도 불구하고, PA를 사용할 경우에도 NA에 비해 약 32% 정도 수집시간을 단축시킬 수 있으며, HA 사용시에는 네트워크 사이즈가 증가할수록 약 60% 정도 수집시간을 단축시킬 수 있다.

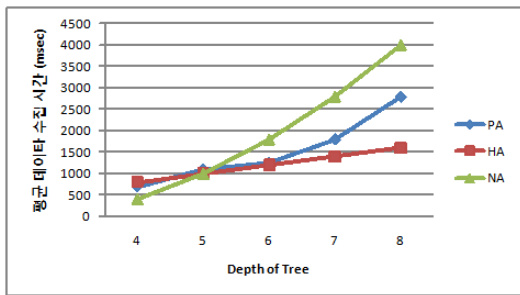


그림 7. 데이터 수집시간 분석

### 4.4 소모된 에너지

네트워크 전반에 걸친 트래픽의 감소는 결과적으로 에너지 소모를 감소시키는 결과를 가져온다. 그림 8은 위 실험에서의 depth의 크기는 5인 경우 각 노드에서 소모된 에너지의 평균값을 나타낸다. 에너지의 평균값은 각 노드에서 소모된 전류 x 전송 및 수신시간 x 공급전압에 의해 계산되었으며 전체 노드의 평균을 통해 전체 네트워크의 에너지 소모량을 관찰했다. 그림에서 보는 바와 같이 제안된 PA와 HA는 기존의 일반 검침데이터 전송기법에 비해 상당한 에너지 절감 효과를

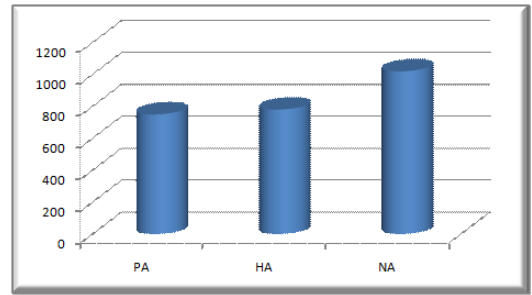


그림 8. 소모된 에너지

과를 볼 수 있다. 실험에서 우리는 TX 및 RX시 소모 전류는 35mA, 전압 3.3V, 전송시간 16mSec의 파라미터 값을 고려했다. 이 결과 제안하는 방식인 PA와 HA 모두 NA 방식에 비해 약 36%의 에너지 절감 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

## V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서 우리는 다중 홉 기반의 원격검침망에서의 트래픽 양을 분석하고 이로 인해 야기될 수 있는 다양한 문제점들을 지적했다. 본 논문에서 제기한 문제점들은 저자의 기관과 원격검침 업체와의 공동연구를 통해 개발된 지그비 기반의 원격검침 시스템에서 실제로 발생된 문제를 근거로 진술하였으며, 이를 해결하기 위해 특히 네트워크 내에서 발생하는 트래픽의 양을 줄이기 위해 본 논문에서는 물리적 검침데이터 수집기법을 제안했다. 또한 이상적인 평면적 수집기법의 한계를 계층적 수집기법을 통해 극복했으며 성능평가를 통해 제안하는 방식의 우수성을 입증했다. 비록 제안한 수집기법이 센서네트워크에서의 data gathering 으로부터 motivation 되었을지라도 센서네트워크의 협력적인 in network 프로세싱이 불가능한 검침망에 적합한 데이터 수집기법을 제안함으로써 현재 대다수 ZigBee 기반의 개별 데이터 수집에 의존하는 대다수 원격검침 시스템 분야에 큰 공헌을 할 수 있을 것으로 사료된다. 이와 더불어, 2011년 2월에 draft로 제정된 IEEE802.15.4g SUN(Smart Utility Network) PHY<sup>[19]</sup>에서 기존 15.4 PHY의 128 바이트 payload 사이즈를 2047 바이트까지 확장시킴으로, 제안하는 기법은 한층 현실적인 대안으로 활용될 것으로 기대되는 바이다.

현재 제안한 기법은 이론적인 검증을 마친 단계이나, 본 연구를 기반으로 제안 방식을 적용한 대규모 원격검침망 구축을 위해 원격검침 전문 업체와의 추



가적인 공동연구개발을 추진 중이며, 1차 테스트 베드 이어서 시범 서비스 사업으로 확장함으로써 본 연구의 타당성은 물론 실제 구현에서 필요한 추가적인 연구 (무선환경 에러로부터의 회복기법 및 자가 구성 등)가 가능해질 것으로 기대되어 진다.

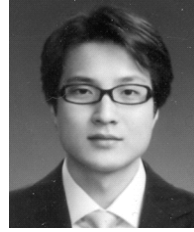
### 참 고 문 헌

- [1] Bhaskar Krishnamachari, Deborah Estrin, and Stephen Wicker, "Impact of data aggregation in wireless sensor networks," In the proceedings of International Workshop on Distributed Event-Based Systems, July 2002, Vienna, Austria.
- [2] K.W. Fan, S. Liu, and P. Sinha, "On the potential of Structure-free Data Aggregation in Sensor Networks," in the Proceedings of INFOCOM2006, April 2006, Barcelona, Catalunya, Spain.
- [3] DiGi international, AMR/AMI Infrastructure white paper, www.digi.com
- [4] John Buffington, "Advanced Metering Infrastructure Market Requirements Document," ZigBee Alliance, 2007.
- [5] Brothman, A., Reiser, R., Kahn, N., Rittenhouse, F., and Wells, R., "IEEE Transactions on communications, Vol 13, Issue 2, June 1965, pp.219-232.
- [6] Stephenson, M.I.C. Stephenson, P.M. Scutariu, M., "Exploiting emerging tools in short range wireless technologies," in the proceedings of 4th International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, 2003, London, UK.
- [7] Francisco Javier Molina, Julio Barbancho, and Joaquin Luque, "Automated Meter Reading and SCADA Application for Wireless Sensor Network," ADHOC-NOW 2003, LNCS 2865, Springer, 2003. Montreal, Canada, pp.223-234.
- [8] B. S. Park, D. H. Hyun, and S. K. Cho, "Communication," IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Oct. 2002, Yokohama, Japan.
- [9] Chan Tat-Wai, and Lim Tian-Yew, "Application of A-Band LV power line standards for remote metering at populous residential buildings," IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Oct. 2002, Yokohama, Japan.
- [10] Tahboub, R., and Lazarescu, V., "Information Technology and New Generations (ITNG 2006), April 2006, Las Vegas, Nevada, USA.
- [11] Oksa, P., Soini, M., Sydanheimo, L., and Kivikoski, M., "Considerations of Using Power Line Communication in the AMR System," In the proceedings of IEEE International Symposium on, Orlando, FL, USA, pp. 208-211.
- [12] Tony Richards and Phil Crewe, "The development of a remote wireless meter reading system," IEE Seminar on Telemetry & Telematics 2005, 11 April 2005, London, UK.
- [13] IEEE standard for automatic meter reading via telephone-network telemetry interface unit, IEEE Standards Coordinating Committee 31 on Automatic Meter Reading and Energy Management, 1999.
- [14] Brasek, C., "Urban utilities warm up to the idea of wireless automatic meter reading," Computing & Control Engineering Journal, Vol. 15, Issue 6, Jan. 2005, pp.10-14.
- [15] Chih-Hung Wu, Shun-Chien Chang, and Yu-Wei Huang, "Design of a wireless ARM-based automatic meter reading and control system," IEEE Power Engineering Society General Meeting 2004, June 2004, Denver, USA.
- [16] Selga, J.M., Zaballos, A., Corral, G., and Vives, J., "Lessons Learned from Wireless Sensor Networks with Application to AMR and PLC," In the proceedings of IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC '07), 26-28 March 2007, Pisa, Italy, pp. 98-103.
- [17] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," in Communications of the ACM, Vol.43, May 2000, pp.51-58.
- [18] D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz; "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4"; IETF RFC 4728, Feb. 2007.

- [19] IEEE P802.15.4g Draft, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 4," IEEE Standard for Information Technology, 2011.

**황 광 일 (Kwang-il Hwang)**

중신회원



2002년 홍익대학교 전자전기공학부 학사

2004년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사

2007년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사

2007~2010 시립인천전문대학 컴퓨터제어과 조교수

2010년~현재 인천대학교 임베디드시스템공학과 조교수

2006년~2009년 (주)케이원 정보통신 기술고문

2007년~현재 (주) 레오테크 기술자문이사

<관심분야> Embedded Networks, The Internet of Things, Smart Grid Networks