

무선 센서 네트워크를 위한 신뢰성 있는 데이터 병합 프로토콜

정회원 신상렬*, 이종일*, 백장운*, 종신회원 서대화*

Reliable Data Aggregation Protocol for Wireless Sensor Networks

Sang ryul Shin*, Jong il Lee*, Jang woon Baek* *Regular Members,*
Dae wha Seo* *Lifelong Member*

요 약

센서 네트워크 환경에서 각 센서 노드는 크기의 제약으로 인해 적은 파워를 장비할 수밖에 없다 그리고 센서 노드들이 컴퓨팅 능력까지 지니게 됨으로써 제한된 파워를 효율적으로 소비 하는 것이 중요하다. 센서 노드의 파워 소모는 데이터 연산에 비해 데이터 전송에 더 큰 영향을 받으므로 데이터 전송량을 최소화할 필요가 있다. 그리고 센서 네트워크는 근본적으로 높은 전송 에러율과 센서의 이동으로 인한 문제를 가진다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크에서 신뢰성이 높고 데이터 전송량을 줄이기 위한 신뢰성 있는 데이터 병합 기법(RDAP)을 제안한다. RDAP는 라우팅 과정과 데이터 병합 쿼리 삽입 과정을 동시에 수행함으로써 각 라우팅 구간 사이의 네트워크 변화에 따른 비신뢰성을 보완하고, 데이터 병합 쿼리의 삽입 과정이 없음에도 주기적인 라우팅 과정을 수행함으로써 발생하는 불필요한 파워 소모를 줄인다. 또한, 본 논문에서는 센서 네트워크에서의 잦은 에러에 대한 대응 알고리즘을 제시한다.

Key Words : Sensor Network, Data Aggregation, Ad-hoc Networks, Power Consumption, Reliability

ABSTRACT

In sensor network environments, a sensor node has a limited power because of their resource constraints. Therefore it is important to efficiently use its power in sensor networks. Power consumption of sensor node is closely related to its amount of transmission data. So, we need to reduce the transmission data in order to minimize the power consumption. And sensor networks are inherently unreliable because radio transmission can fail, node can move, and so on. In this paper, we propose the reliable data aggregation protocol in order to these problems. This protocol performs the routing and the query inserting process at the same time to minimize the packet loss caused by network changes. And, this protocol removes the unnecessary routing caused by the periodic routing without query. Additionally, we suggest the countermeasure algorithm against the frequent errors in sensor networks.

I. 서 론

무선통신 및 전자공학의 발전으로 소형의 단거리

통신이 가능한 저비용, 저전력, 다기능 센서 노드가 널리 개발되고 있다³⁾. 센서 노드는 주변 환경을 감시하고 데이터를 수집하는 용도로 사용될 수 있다.

* 경북대학교 전자공학과 모바일컴퓨팅 & 임베디드시스템 연구실({ssrkss, sysnet, kutc, dwseo}@ee.knu.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-10-427, 접수일자 : 2005년 10월 21일, 최종논문접수일자 : 2006년 4월 5일

여러 센서 노드로 구성되는 센서 네트워크는 스마트 홈이나 사무자동화, 공장자동화, 유비쿼터스 컴퓨팅에서 인간과 환경의 상호작용을 가능하게 하는 핵심 기술로 인식되고 있다⁴⁾.

센서 네트워크 환경에서는 각 센서 노드가 가진 파워를 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 센서의 파워 소모를 최소화하기 위한 기존 연구에는 최적 라우팅 경로 설정이나 모드 변경을 통해 파워 소모를 줄이는 기법과 전송되는 메시지의 수를 감소시켜 파워 소모를 줄이는 기법 등이 있다⁵⁻⁹⁾. 최적 라우팅 경로 설정이나 모드 변경을 통해 파워 소모를 줄이는 기법은 센서 네트워크 내의 특정한 센서 노드로부터 루트 노드까지 데이터를 전송할 때의 파워 소모를 줄이기 위한 방법이다. 센서 네트워크 내의 모든 노드의 센싱한 정보를 수집하는 환경에서는 전송되는 데이터 전송량을 감소시켜 파워 소모를 줄이는 기법이 적용될 수 있다.

센서 네트워크 환경에서 데이터 병합 기법은 센서 노드간의 데이터 전송량을 줄임으로써 파워 소모를 최소화할 수 있다¹⁾. 일반적으로 데이터 병합 기법은 라우팅 과정과 데이터 병합 쿼리 삽입 과정이 분리되어 수행된다. 즉, 센서 네트워크는 주기적인 라우팅 과정을 통하여 센서 노드의 이동에 따른 경로를 재설정하고, 각 라우팅 사이에 필요한 쿼리가 있을 때 쿼리를 삽입하는 요구 기반의 작업을 수행한다. 이 경우, 각 센서 노드는 필요한 쿼리가 없어도 주기적으로 라우팅에 필요한 메시지를 전송함으로써 불필요한 파워를 소모하게 되고, 쿼리가 비주기적으로 랜덤하게 발생하므로 매 주기마다 라우팅을 하는 것은 요구 기반의 작업에는 부적합하다. 그리고 주기적으로 수행되는 라우팅 과정 사이에 네트워크 변화가 일어났을 경우, 데이터의 손실이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 신뢰성이 높고 데이터 전송량을 줄이기 위한 RDAP(Reliable Data Aggregation Protocol)를 제안한다. RDAP는 라우팅 과정과 데이터 병합 쿼리 삽입 과정을 동시에 수행함으로써 각 라우팅 구간 사이의 네트워크 변화에 따른 비신뢰성을 보완하고, 데이터 병합 쿼리의 삽입 과정이 없음에도 주기적인 라우팅 과정을 수행함으로써 발생하는 불필요한 파워 소모를 줄인다. 또한, 본 논문에서는 센서 네트워크에서의 잦은 에러에 대한 대응 방법을 제시하고 NS-2를 이용한 시뮬레이션을 통해 RDAP의 파워 소모의 효율성을 보여준다. 본 논문의 2장에서는 이 논문의 배경이

되는 애드 혹 센서 네트워크와 데이터 병합 기법을 설명한다. 그리고 3장에서는 제안하는 데이터 병합 기법을 자세히 기술하고, 4장에서는 시뮬레이션 결과물을 보여주고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 배경

센서 네트워크 환경에서 파워 소모를 줄이기 위해서는 각 센서 노드의 데이터 전송량을 줄이고 손실을 최소화해야한다. 센서 노드의 파워 소모는 데이터 처리보다 데이터 전송에 훨씬 큰 영향을 받는다. 그리고 손실은 데이터 재전송을 야기하므로 이를 최소화할 필요가 있다.

본 장에서는 애드 혹 센서 네트워크 환경에서 데이터 전송을 위한 라우팅 과정과 각 노드에서 데이터 전송량을 줄이기 위한 병합 기법에 대하여 살펴보고 기존 연구의 문제점을 분석한다.

2.1 애드 혹 센서 네트워크

센서 네트워크는 센싱 기능과 정보 처리능력, 통신 능력을 가진 다수의 센서 노드들로 구성되며, 서비스 영역에 배치된 후 자동적으로 애드 혹 네트워크를 형성하고 필요한 정보의 수집 및 처리를 통하여 응용 서비스를 제공해준다.

본 논문에서의 애드 혹 센서 네트워크는 일반적인 센서 네트워크에서와 같이 센서 노드들이 밀집된 형태의 네트워크 상태가 아니라 보통 소규모 네트워크 구성에 사용되는 애드 혹의 특징을 지니는 네트워크를 의미한다. 따라서 센서 노드의 수가 많지 않으며 그로인해 데이터 전송의 신뢰도 역시 파워 소모와 함께 고려해야 할 사항이 된다.

센서 네트워크에서는 각 노드간의 데이터 통신을 위해서 라우팅 트리를 형성한다¹⁾. 루트 노드는 라우팅 트리의 시작점으로써 병합된 최종 데이터가 놓여질 센서이다. 일반적으로 루트 노드는 유저가 쿼리를 하위 네트워크 센서들에게 보내는 인터페이스 역할을 수행한다. 루트 노드는 라우팅 트리를 구성하는 센서 노드들에게 자신의 ID와 레벨이 포함된 메시지를 브로드캐스팅한다. 이 메시지를 수신한 센서 노드는 메시지의 레벨을 확인하고 자신이 가지고 있는 레벨보다 작은 값일 경우 자신의 레벨을 수정한다. 각각의 센서들은 자신의 ID와 레벨을 삽입하여 메시지를 재브로드캐스팅한다. 이러한 방법으로 모든 센서 노드가 레벨과 부모 노드를 가질 때까지 메시지를 트리 하위로 반복적으로 브로드캐

스팅하여 라우팅을 수행한다. 이 라우팅 메시지는 주기적으로 루트 노드로부터 브로드캐스팅된다.

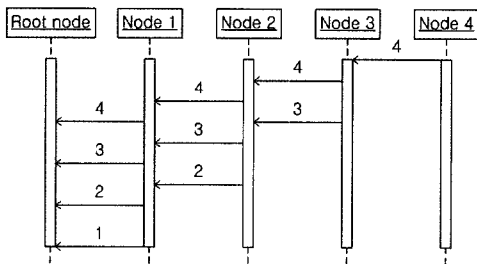
2.2 데이터 병합 기법

일반적인 데이터 병합 기법으로 센서 네트워크의 데이터 병합을 중앙 집중적인 전담 호스트 PC를 두어 데이터 병합을 수행하는 서버 기반의 데이터 병합 기법을 사용해왔다. 그러나 모든 센서 스스로가 라우팅된 하위 센서 노드들의 데이터를 병합하는 방법인 인-네트워크 데이터 병합 기법이 서버 기반의 데이터 병합 기법보다 더 효율적이다^[2].

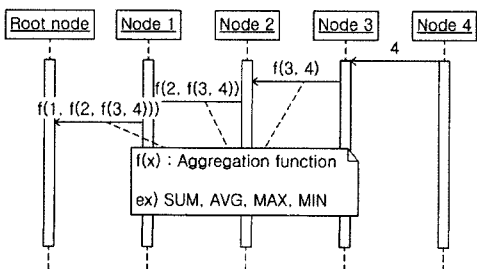
그림 1은 서버 기반 데이터 병합 기법과 인-네트워크 데이터 병합 기법을 비교한 것이다.

그림 1의 (a)에서 각 메시지는 전송 노드의 센서 ID로 되어 있다. 예를 들어 'Node 4'의 값이 루트 노드까지 전송이 되기 위해서는 4개의 메시지가 필요하게 된다. 결국 (a)의 경우 모든 센싱된 값이 전송이 되기 위해서는 총 10개의 메시지가 필요하게 된다.

그림 1의 (b)에서 $f(x)$ 는 병합 함수를 나타낸다. 자식 노드로부터 받은 값과 자신이 센싱한 값을 병합 함수 $f(x)$ 를 이용하여 하나의 메시지로 만든 다음 전송을 하게 된다. 이렇게 되면 각 센서 노드가 전송을 해야 하는 메시지는 항상 1개로 일정하게 된다. 결국 (b)의 경우 모든 센싱된 값이 전송이 되기 위해서는 4개의 메시지만이 필요하게 된다.



(a) 서버 기반의 데이터 병합



(b) 인-네트워크 데이터 병합

그림 1. 데이터 병합 기법

인-네트워크 데이터 병합 기법은 서버 기반의 데이터 병합 기법에 비해 각 노드의 전송 메시지 수를 줄임으로써 파워 소모의 효율을 높일 수 있다. 본 논문에서 애드 혹 센서 네트워크는 인-네트워크 데이터 병합 기법을 이용한다.

2.3 기존 데이터병합의 문제점

데이터 병합 기법을 이용하는 센서 네트워크에서는 네트워크 내의 임의의 노드에서 이벤트가 발생하면 이벤트에 대한 정보와 이벤트의 발생을 루트 노드로 전송한다. 루트 노드는 이벤트 발생 가 전송되었거나 필요한 네트워크 정보가 있을 경우 쿼리를 네트워크로 전파하는 쿼리 삽입을 수행한다. 고정된 라우팅 경로로 쿼리를 전송하면 센서 노드들이 이동성을 가지므로 쿼리를 전송받지 못하는 노드가 발생할 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 주기적인 라우팅을 통해 데이터 전송 경로를 재설정함으로써 센서 노드의 이동성을 보장한다.

하지만, 이 경우에 두 가지 문제가 발생하게 된다. 첫째, 이벤트가 발생하지 않거나 필요한 쿼리가 없어도 주기적으로 라우팅에 필요한 메시지를 전송하므로 불필요한 파워 소모를 한다. 이벤트가 랜덤하게 발생하므로 매 주기마다 라우팅을 수행하는 것은 효율적이지 않다. 둘째, 라우팅 과정과 쿼리 삽입 과정 사이의 시간차가 클수록 센서 노드가 이동했을 확률이 높아지므로 데이터 전송 에러가 발생할 확률이 높다.

III. RDAP

본 장에서는 애드혹 센서 네트워크 환경에서 각 센서의 데이터 전송량을 줄임으로써 파워 효율을 높이고 무선망의 잦은 전송 에러에 대한 신뢰성을 보장하기 위한 RDAP(Reliable Data Aggregation Protocol)을 제안한다. 먼저 RDAP를 적용할 센서 네트워크 환경에 대해 기술하고, RDAP 프로토콜과 데이터 전송에러에 대한 대응 알고리즘에 대하여 자세히 기술한다.

3.1 RDAP 센서 네트워크 환경

애드 혹 센서 네트워크 환경에서 신뢰성 있고 효율적인 데이터 전송을 제공하기 위해서 RDAP를 적용할 센서 네트워크 환경은 그림 2와 같다.

RDAP 센서 네트워크 환경에서 사용자는 호스트 PC를 이용하여 병합 구역(Aggregation Zone)에 있는 센서 노드들로부터 원하는 데이터를 얻기 위한

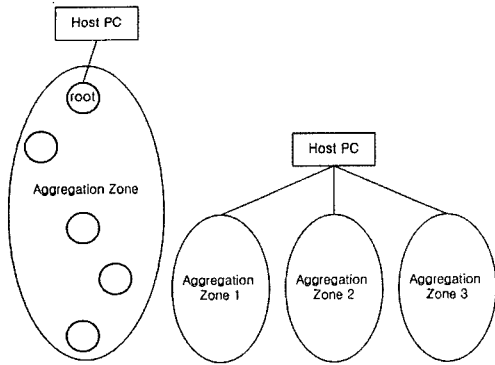


그림 2. RDAP 센서 네트워크 환경

쿼리를 보낸다. 병합 구역이란 이벤트가 발생했을 때 쿼리가 전송되어 병합이 이루어져야 하는 구역이다. 다른 병합 구역의 센서 노드로는 쿼리가 전송되지 않으며 병합에도 참여하지 않는다. 병합 쿼리는 호스트 PC와 병합 구역간의 인터페이스 역할을 하는 루트 노드(Root Node)를 통해서 병합 구역 내의 센서 노드들에게 전달된다. 병합 구역 내의 모든 센서는 루트 노드를 중심으로 생성된 라우팅 트리를 통해서 가상적으로 연결된다. 쿼리를 받은 센서 노드들은 해당 데이터를 수집하고 쿼리의 종류에 따라 가공하여 루트 노드로 전송한다. 마지막으로, 사용자는 호스트 PC를 통해 전송된 데이터를 확인한다.

RDAP 센서 네트워크 환경에서는 인-네트워크 병합을 적용한다²⁾. 따라서 병합구역 내의 각 센서 노드는 라우팅 트리의 하위 노드로부터 받은 값과 자신이 센싱한 값을 병합하여 상위 노드로 전송한다.

병합 구역은 필요에 따라 여러 개가 될 수도 있으며, 각 병합 구역에는 하나의 루트 노드가 존재한다. 병합 구역에서 호스트 PC로 전달해야 할 이벤트가 발생하거나 사용자가 원하는 쿼리를 병합 구역 내로 전송하고자할 경우 루트 노드를 통해야 한다. 그리고 각 병합 구역의 이벤트에 대한 쿼리 전송 및 병합은 병합 구역별로 독립적으로 수행된다.

RDAP 센서 네트워크 환경은 지진예측 같은 환경에 적용될 수 있다. 여러 지역에 분포되어 있는 센서 노드들은 진동 한계치 이상의 수치를 감지하면 이벤트 발생을 보고하고, 그에따른 병합 지시를 받게 된다. 예를들어, 병합 쿼리는 'COUNT'로 지정하여 수치를 초과한 지점의 수를 측정할 수 있게 된다. 삼림 시스템에 적용될 경우 온도를 측정하면서 산불 감시를 하고 지질을 측정해 평균을 내어 병합 전송을 하는 등 여러 분야에 적용될 수 있다.

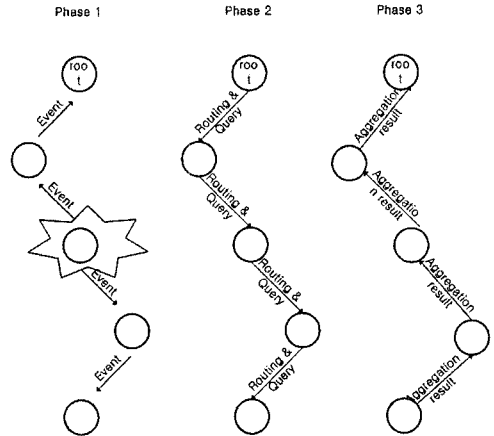


그림 3. RDAP 적용 예

이때, 병합 구역을 나눔으로써 이벤트와 상관없이 있는 노드들이 쿼리를 전송받고, 병합을 수행함으로써 생기는 불필요한 파워 소모를 줄일수 있다.

3.2 RDAP 프로토콜

기존의 데이터 병합 기법에서 이벤트가 발생하지 않음에도 수행되는 불필요한 라우팅을 없애고, 이벤트 발생 시점과 라우팅 시점의 시간차로 인한 데이터 손실을 예방하기 위하여 RDAP를 이용한다. RDAP 프로토콜은 불필요한 라우팅으로 인한 파워 소모를 줄이고, 센서 노드의 이동으로 인한 데이터 손실을 줄이기 위해 라우팅 과정과 병합 쿼리 삽입 과정을 동시에 수행한다.

RDAP 프로토콜을 적용한 센서 네트워크의 병합 구역에서 이벤트가 발생하였을 때 이벤트 전송(Phase 1), 라우팅 및 쿼리 전송(Phase 2), 병합이 수행되는 과정(Phase 3)은 그림 3과 같다.

- Phase 1: 병합 구역 내의 한 노드에서 이벤트가 발생할 경우, 해당 노드는 주변의 노드들에게 이벤트의 발생과 이벤트의 종류를 플루딩 방식으로 전송한다.
- Phase 2: 이벤트에 대한 가 루트 노드까지 전달되면 루트 노드는 호스트 PC로 전달하고, 사용자는 호스트 PC를 통해 원하는 쿼리를 루트 노드에 전달하고 쿼리를 받은 루트 노드는 라우팅 및 쿼리 전송을 수행한다
- Phase 3: 라우팅 및 쿼리 전송이 가지 노드까지 완료되면 병합 과정이 시작된다. 각 노드는 자식 노드에서 전송된 값과 자신이 센싱한 값을 병합 쿼리에 맞게 병합한 후 부모 노드로 전송한다.

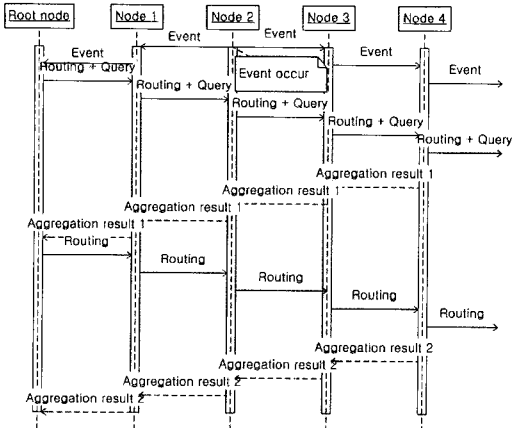


그림 4. RDAP의 라우팅 및 쿼리 메시지 전송 과정

모든 노드의 병합 값이 루트 노드로 전해지면 루트 노드는 호스트 PC로 정보를 전달하고 한 이벤트에 대한 일련의 과정이 완료된다. 이벤트의 종류에 따라 라우팅 및 쿼리 삽입과 병합 과정이 여러 번 수행될 수도 있다.

그림 4는 RDAP을 적용한 센서 네트워크에서 한 병합 구역 내에서 이벤트가 발생한 후부터 병합이 완료되기까지의 쿼리 및 데이터 전송과정을 UML 시퀀스 다이어그램으로 나타낸 것이다. 라우팅 및 쿼리 전송과 병합 과정은 연속해서 두 번 일어날 경우를 나타내고 있다.

‘Node 2’에서 이벤트가 발생하였을 경우 ‘Node 2’는 주변의 센서 노드로 이벤트의 발생 사실과 이벤트의 종류를 브로드캐스팅하게 된다. 주변의 센서 노드는 이벤트 메시지를 재브로드캐스팅하게 된다. ‘Root node’가 이 메시지를 수신하게 되면 ‘Routing + Query’ 메시지를 브로드캐스팅하게 된다.

‘Routing’에는 센서 노드의 ID와 레벨이 포함되고 ‘Query’에는 SUM, AVG, MAX, MIN 등의 병합 함수가 포함된다. ‘Root node’가 ‘Routing’에 ID는 0을 레벨을 0을 포함하여 전송을 하면 이 메시지를 수신하는 센서 노드는 자신의 레벨을 1로 설정하고 부모 노드를 0으로 설정한다. 그런 후에 ‘Routing’에 ID는 1, 레벨을 1을 포함하여 재브로드캐스팅하게 된다. 물론 이 메시지를 ‘Root node’도 수신할 수 있지만 ‘Routing’에 포함된 레벨이 자신의 레벨보다 높기 때문에 메시지를 무시하게 된다. 이 과정은 가지 노드까지 계속 되어 라우팅 및 쿼리 전송이 완료되게 된다.

메시지를 재브로드캐스팅하는 각 센서 노드들은 브로드캐스팅한 후 일정시간 t 만큼 대기 하면서 자

식 노드가 재브로드캐스팅하는 메시지를 스누핑하게 된다. 스누핑한 메시지를 확인함으로써 자신의 지식 노드의 유무를 알 수 있게 된다. 이때 시간 t 는 재브로드캐스팅 가 전달되어올 수 있는 충분한 시간이라고 가정한다. 지식 노드가 존재하지 않을 경우에는 바로 병합할 데이터를 부모 노드로 전송하게 되지만 지식 노드가 존재하는 노드의 경우 지식 노드로부터 병합할 데이터가 전송될 때까지 대기하게 되며 병합할 데이터가 전송이 되면 그 값과 자신이 센싱한 값을 병합하여 부모 노드로 전송을 하게 된다.

이와 같이 RDAP에서 라우팅 과정은 주기적으로 수행되는 것이 아니라 데이터 병합 쿼리 삽입이 필요할 때마다 수행된다. 따라서 RDAP는 라우팅과 병합 쿼리 삽입 과정 사이의 시간을 없앴으로써 네트워크 변동시에 발생하는 손실을 줄이고, 데이터 병합 쿼리의 삽입 과정이 없음에도 주기적인 라우팅 과정을 수행함으로써 생기는 불필요한 파워 소모 줄일 수 있다.

3.3 센서 네트워크의 신뢰성 보장 알고리즘

센서 네트워크는 데이터 전송에 있어서 근본적으로 신뢰성을 보장할 수 없다. 각 노드의 무선 전송 에러가 발생하기 쉽고 노드 이동성으로 인한 데이터 손실이 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 데이터 전송 에러에 대한 대응이 필요하다.

전송 에러로 인한 데이터 손실을 막기 위해 동일 데이터를 반복적으로 재전송하는 것은 많은 파워를 소모하게 되므로 배터리에 제한이 있는 센서 노드에 부적합하다.

본 논문에서는 센서의 파워 소모를 최대한 줄이고 쉽게 센서 네트워크에 적용할 수 있는 전송 에러에 대한 대응 알고리즘을 제안한다. RDAP를 적용한 센서 네트워크 환경에서 전송 에러는 지식 노드의 재브로드캐스팅 메시지를 스누핑하지 못했을 경우와 부모 노드의 병합 메시지를 스누핑하지 못했을 경우로 나눌 수 있다.

센서 네트워크의 라우팅 트리는 루트 노드와 가지노드 사이의 중간 노드들이 루트 노드에서 보낸 라우팅 메시지를 가지 노드까지 순차적으로 재브로드캐스팅 함으로써 형성된다. 각 노드는 라우팅 메시지를 브로드캐스팅한 후 일정 시간 t 만큼 대기하면서 지식 노드의 재브로드캐스팅되는 메시지들을 스누핑하게 된다. 스누핑한 메시지를 확인함으로써 자신의 지식 노드의 유무를 알 수 있게 된다. 이때 시간 t 는 메시지가 전달되어올 수 있는 충분한 시간

이라고 가정한다. 자식 노드가 존재하지 않을 경우에는 바로 병합할 데이터를 부모 노드로 전송하게 되지만 자식 노드가 존재하는 노드의 경우 자식 노드로부터 병합할 데이터가 전송될 때까지 대기하게 되며 병합할 데이터가 전송이 되면 그 값과 자신이 센싱한 값을 병합하여 부모 노드로 전송을 하게 된다.

부모 노드가 자식 노드의 재브로드캐스팅 메시지를 스누핑하지 못하게 되면, 곧바로 병합 과정이 시작되므로 자식 노드 이하의 네트워크에 대한 정보 수집이 이루어지지 못하게된다. 자식 노드가 부모 노드의 병합 결과 전송을 스누핑하지 못하게 되면, 전송 실패의 가능성을 가지게 되므로 재전송을 할 필요가 있다.

그림 5의 (a)는 부모 노드인 'Node (i)'가 자식 노드인 'Node (i+1)'의 'Routing (+ Query)' 의 재브로드캐스팅 메시지를 스누핑하지 못했을 경우에 대한 보완책을 보여준다. 부모 노드 'Node (i)'는 일단 자신이 가지 노드라고 판단하고 부모 노드 'Node (i-1)'로 병합을 위한 값을 전송한다. 그 값은 병합 과정을 거쳐 루트 노드까지 전송된다. 루트 노드는 일단 그 값을 이번 라우팅에 대한 병합 결과라고 가정한 후 다음 라우팅까지 대기한다. 그 후 부모 노드 'Node (i)'가 자식 노드 'Node (i+1)'로부터 병합을 위한 값을 전송받게 되면 그 값을 다시 병합 함수를 이용하여 병합한 후 부모 노드 'Node (i-1)'로 전송한다. 루트 노드는 한번의 라우팅에서 마지막으로 전송된 값을 최종 병합 결과로 인정하고 그 값을 호스트 PC로 전송한다.

그림 5의 (b)는 자식 노드인 'Node (i+1)'이 부모 노드인 'Node (i)'의 병합 메시지를 스누핑하지 못했을 경우에 대한 보완책을 보여준다. 부모 노드의 병합 메시지를 스누핑 하지 못했을 경우 자식 노드는 병합 메시지를 한번 더 전송을 하여야 한다. 왜냐하면 이 상황은 스누핑을 실패와 전송 실패의 두가지로 나뉘어 지기 때문이다. 스누핑 실패일 경우 재전송을 하지 않아도 되지만 자식 노드로서는 어느 상황인지 알 수 없기 때문에 무조건 다시 전송을 해야 한다. 재전송된 병합 메시지를 받은 부모 노드는 처음으로 전송을 수신했을 경우에는 자신의 값과 전송된 값을 병합하여 부모 노드로 다시 전송을 하면 아무런 문제가 발생하지 않는다. 그러나 스누핑 실패로 인한 재전송일 경우 (a)의 경우와 중복되는 상황이 발생해 문제가 있다. 'Node (i-1)'의 입장에서 보면 (a)에서처럼 부모 노드 'Node (i)'의 스누핑 실패로 인한 재전송인지, 자식 노드 'Node (i+1)'의 스누핑 실패로 인한 재전송인지 알 수가 없기 때문이다. 그러므로 무조건적인 재전송은 해결책이 될 수 없다. 이 문제를 해결하기 위해 RDAP는 재전송된 값이 이전에 전송된 값과 같으면 그 값을 무시하고 새로운 값이면 다시 병합한 후 부모 노드로 전송한다. 같은 값이 전송되면 'Node (i)'가 미리 차단을 하므로 전송하지 않고, 다른 값이 전송되면 재전송을 수행하여 올바른 병합 값을 전송하게 된다. 이런 방식을 통해 센서 네트워크의 잦은 에러에 대한 불필요한 재전송과 그로 인한 파워 소모를 줄일 수 있다.

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 RDAP의 성능을 평가하기 위해 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 사용하였다^[10]. 시뮬레이션에서 애드 혹 네트워크는 열 개의 센서 노드로 구성되고 라우팅 주기는 20초이고 쿼리는 매 100초에 임의의 시간을 추가한 시간에 발생한다. 그리고 NS-2에서 제공하는 에너지 모델을 사용하여 파워 소모를 계산하였다. 초기 파워는 1J로 정하고 메시지 수신시의 파워 소모는 22.2mW, 메시지 송신시의 파워소모는 80.1mW로 하였다. 각 센서 노드의 ID와 레벨과 쿼리는 1 바이트로 하였고, 병합된 결과값은 온도, 습도 등 여러가지 정보를 포함할 수 있도록 4 바이트로 정하였다. 병합을 하지 않을 경우에는 라우팅시 ID와 레벨을 포함하는 2 바이트가 전송되며 쿼리를 내보낼 때에도 ID와 쿼리의 2

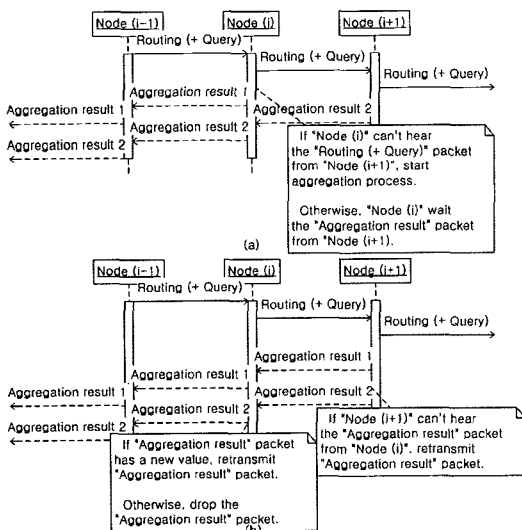


그림 5. 스누핑 및 전송에러에 대한 보완

바이트가 전송된다. 그리고 센싱된 값을 가져올 때는 병합이 이루어지지 않으므로 매 센서 노드마다 4 바이트씩 추가되어서 전송이 된다. 병합을 하지만 라우팅과 쿼리 전송을 독립적으로 수행하는 기존 방법에서는 라우팅과 쿼리 삽입시 ID와 레벨 2 바이트가 전송되고 센싱된 값을 가져올 때 병합을 하게 되므로 각 센서 노드는 ID와 병합된 값 5 바이트를 전송하게 된다. RDAP는 라우팅과 쿼리 삽입 과정을 동시에 수행하므로 라우팅 및 병합 쿼리 삽입시 ID, 레벨, 쿼리의 3 바이트를 전송하게 되고 센싱된 값을 가져올 때는 기존의 방식과 같이 5 바이트를 전송하게 된다.

그림 6은 이러한 시뮬레이션 환경에서 세 가지 모델(RDAP, 기존의 데이터 병합 모델과 병합을 사용하지 않은 모델)의 파워 소모를 비교한 것이다. 그림 6에서 제일 위쪽 직선이 RDAP의 파워 소모를 나타내고 두 번째가 기존의 데이터 병합 기법의 파워 소모를 나타낸다. 제일 아래쪽 선이 데이터 병합 기법을 적용하지 않은 방식의 파워 소모를 나타내고 있다. 기존의 데이터 병합 기법은 병합을 통하여 전송 데이터를 줄임으로써 무병합 기법보다 파워 소모가 줄어들지만 RDAP에 비해서 성능이 좋지 않다. 그 이유는 쿼리가 없음에도 불필요한 라우팅을 많이 하기 때문이다. RDAP는 필요할 때 라우팅과 쿼리 삽입이 동시에 이루어짐으로써 주기적인 라우팅으로 인해 발생하는 파워소모를 줄여준다.

그림 7은 RDAP와 기존 데이터 병합 기법의 데이터 손실 정도를 비교한 것이다.

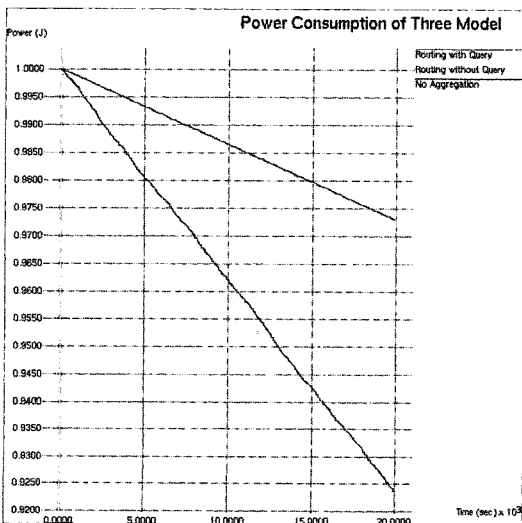


그림 6. 파워 소모 비교

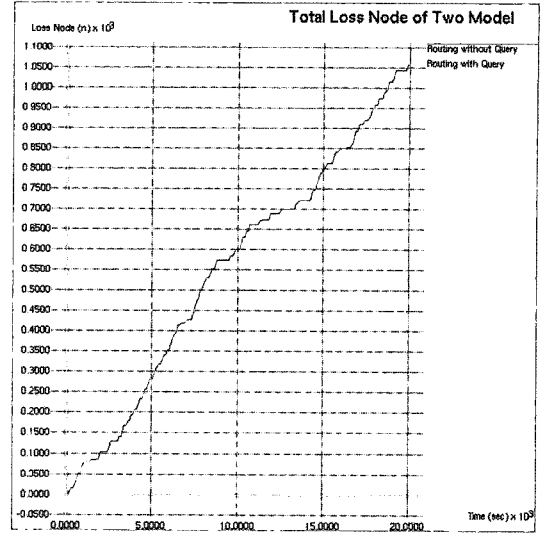


그림 7. 데이터 손실 정도 비교

그림 7에서 아래쪽 선은 RDAP의 데이터 손실 정도를 나타낸다. 라우팅과 쿼리 삽입이 동시에 일어나지만 NS-2에서 정해진 일정량의 손실률로 인해 조금의 손실이 발생한다. 위쪽 선이 기존의 데이터 병합 기법의 데이터 손실 정도를 나타내고 있다. 기존의 데이터 병합 기법의 경우 라우팅이 일어난 후의 네트워크의 변화에 적응이 어려움을 알 수 있다. 기존의 데이터 병합 기법의 경우 파워소모를 줄이기 위해 라우팅 주기를 늘일 경우 데이터 손실이 더욱 커지고, 데이터 손실을 줄이기 위해 라우팅 주기를 줄이면 파워 소모가 늘어나 둘을 동시에 만족시키는 힘든 것을 알 수 있다. 하지만 RDAP는 필요한 경우에만 라우팅과 쿼리 삽입이 동시에 이루어지므로 최소의 파워와 최소의 데이터 손실을 유지할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크에서 신뢰성이 높고 데이터 전송량을 줄이기 위한 RDAP(Reliable Data Aggregation Protocol)를 제안하였다. RDAP는 라우팅 과정과 데이터 병합 쿼리 삽입 과정을 동시에 수행함으로써 각 라우팅 구간 사이의 네트워크 변화에 따른 비신뢰성을 보완하고, 데이터 병합 쿼리의 삽입 과정이 없음에도 주기적인 라우팅 과정을 수행함으로써 발생하는 불필요한 파워 소모를 줄일 수 있었다. 또한, RDAP는 스누핑과 재전송 기법을 이용하여 센서 네트워크에서의 잦은 에러에 대응하

였다. NS-2 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 RDAP의 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과, RDAP는 파워소모와 데이터 손실 측면에서 우수한 성능을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] S. R. Madden, R. Szweczyk, M. J. Franklin, and D. Culler, "Supporting Aggregate Queries Over Ad-Hoc Wireless Sensor Networks," *Workshop on Mobile Computing and Systems Applications*, 2002.

[2] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin and D. Ganesan, "Building efficient wireless sensor networks with low-level naming," In *SOSP*, Oct., 2001.

[3] 최은창, 허재두, 김수중, "유비쿼터스 홈을 위한 센서 네트워크 응용", *한국정보과학회 학회지*, 22(12), pp. 0051~0059 2004.

[4] 박노성, 김대영, "에너지 효율적인 데이터 기반 센서 네트워크 라우팅 프로토콜", *한국정보과학회 논문지*, 32(02), pp.261~277, 2005.

[5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Vol. 8, pp. 1-10, Jan., 2000.

[6] R. C. Shah and J. M. Rabaey, "Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks," *Proceedings of the IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC)*, Mar., 2001.

[7] V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum Energy Mobile Wireless Networks," *IEEE Journal Selected Areas in Communications*, Vol. 17, No. 8, pp. 1333-1344, Aug., 1999.

[8] J. Hellerstein, P. Hass, and H.Wang, "Online aggregation," *Proceedings of the ACM SIGMOD*, May, 1997.

[9] C. Intanagonwiwat, D. Estrin, R. Govindan, and J. Heidemann, "Impact of network density on data aggregation in wireless sensor networks," *International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, Nov., 2001.

[10] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

신 상 렬 (Sang-ryul Shin)

정회원



2004년 2월 경북대학교 전자전
기공학부 학사
2006년 2월 경북대학교 전자공
학과 석사
<관심분야> 센서네트워크, 임베
디드 SW

이 종 일 (Jong-il Lee)

정회원



2004년 2월 동국대학교 전자컴
퓨터멀티미디어학부 학사
2004년 8월~현재 경북대학교 정
보통신공학과 석사과정
<관심분야> 임베디드시스템, 리
눅스 커널

백 장 운 (Jang-woon Baek)

정회원



2002년 2월 경북대학교 전자전
기공학부 학사
2004년 2월 경북대학교 전자공
학과 석사
2004년 3월~현재 경북대학교 전
자공학과 박사과정
<관심분야> 모바일 컴퓨팅, 센서
네트워크, 임베디드시스템

서 대 화 (Dae-wha Seo)

종신회원



1981년 2월 경북대학교 전자전
기공학과 학사
1983년 2월 한국과학기술원 전
산학과 석사
1993년 2월 한국과학기술원 전
산학과 박사
1981년~1995년 한국전자통신연
구소 시스템 S/W 연구실 근무

1998년~1999년 University of California Irvine 연구
교수

1998년~현재 경북대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공
학부 교수

<관심분야> 임베디드 시스템, 모바일 컴퓨팅, 분산운
영체제