

# 센서 네트워크 환경에서 가상 식별자를 이용한 에너지 효율적인 다중 경로 데이터 라우팅 기법

## An Energy-Efficient Multiple Path Data Routing Scheme Using Virtual Label in Sensor Network

박준호\*, 여명호\*\*, 성동욱\*\*\*, 권현호\*\*\*\*, 이현정\*, 유재수\*  
충북대학교 정보통신공학과\*, 국방과학연구소\*\*, 한국과학기술원\*\*\*, LS산전(주)\*\*\*\*

Junho Park(junhopark@cbnu.ac.kr)\*, Myungho Yeo(myungho.yeo@gmail.com)\*\*,  
Dongook Seong(seong.do@gmail.com)\*\*\*, Hyunho Kwon(outjumper@nate.com)\*\*\*\*,  
Hyunjung Lee(hyunjung2004@gmail.com)\*, Jaesoo Yoo(yjs@chungbuk.ac.kr)\*

### 요약

결함이 발생하는 센서 네트워크 환경에서 데이터 전송의 신뢰도와 집계질의 정확도를 보장하기 위해 각 센서 노드들에 유일한 비트 식별자를 할당하고, 이를 이용한 다중 경로 라우팅 기법이 제안되었다. 하지만 기존 다중 경로 라우팅 기법은 네트워크 토폴로지 변경 시 발생하는 노드 식별자의 재할당에 따른 높은 갱신비용이 발생한다. 본 논문에서는 데이터의 중복 집계를 방지하는 동시에 식별자 갱신 비용을 줄이는 새로운 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존 기법과 성능을 비교평가 하였다. 그 결과, 제안하는 기법은 네트워크 결함에 따른 복구에 필요한 데이터 전송량을 평균 95% 감소시켰고 단위 질의당 데이터 전송량을 최대 22% 감소시켰다.

■ 중심어 : | 센서네트워크 | 라우팅기법 | 다중경로라우팅 | 집계질의 | 결함 |

### Abstract

The multi-path routing schemes that assigns labels to sensor nodes for the reliability of data transmission and the accuracy of an aggregation query over the sensor networks where data transfer is prone to defect have been proposed. However, the existing schemes have high costs for reassigning labels to nodes when the network topology is changed. In this paper, we propose a novel routing method that avoids duplicated data and reduces the update cost of a sensor node. In order to show the superiority of the proposed scheme, we compare it with the existing scheme through the various experiments. Our experimental results show that our proposed method reduces about 95% the amount of the transmitted data for restoration to node failure and about 220% the amount of the transmitted data for query processing over the existing method on average.

■ keyword : | Sensor Network | Routing Algorithm | Multipath Routing | Aggregation Query | Fault |

\* 이 논문은 2011년 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단)와 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임.(No. 2009-0080279)

접수번호 : #110302-016

접수일자 : 2011년 03월 02일

심사완료일 : 2011년 05월 11일

교신저자 : 유재수, e-mail : yjs@chungbuk.ac.kr

## 1. 서론

최근 u-시티, u-헬스케어 등과 같은 유비쿼터스 응용 분야에 대한 관심이 증가하면서 유비쿼터스 사회의 핵심 인프라로서 센서 네트워크에 대한 관심도 증가하고 있다. 센서 네트워크는 다수의 센서 노드로 구성되고, 센서 노드에 탑재된 센서 모듈을 통해 온도, 습도, 환경 오염 수치 등과 같은 다양한 정보를 측정하여 무선 통신을 이용하여 이웃 노드나 기지국으로 데이터를 전송한다. 일반적으로 센서 노드는 크기가 작고 설치가 용이하기 때문에 군사 응용, 환경 감시, 재난 감시, 헬스케어 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 사람이 접근하기 어려운 지역에서 폭넓게 사용될 수 있다[1].

일반적으로 센서 노드들은 제한된 용량을 가진 배터리를 에너지원으로 사용한다. 센서 네트워크는 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작하는 경우가 대부분이므로 광범위하게 분포된 센서 노드의 배터리를 교체하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 센서 노드들의 제한된 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 기법에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 센서 노드에서의 에너지 소모는 주로 데이터의 수집, 데이터 처리 그리고 데이터 송·수신을 위한 통신 수행에 의해 발생한다. 데이터 송·수신에 사용되는 비용은 다른 요소들과 비교하여 큰 차이를 보인다. 따라서 센서 네트워크의 에너지 사용 효율을 높이기 위해서는 센서 노드 간의 통신에 소모되는 에너지를 줄이는 것이 필수적이다[2].

센서 네트워크는 주변 정보를 수집하고 질의 결과 데이터를 기지국으로 전송하는 일련의 작업을 수행한다. 각 센서 노드가 자신이 받은 질의의 결과데이터를 개별적으로 기지국에게 전송하는 작업은 많은 메시지와 그에 따른 에너지 소모를 유발한다. [3]과 [4]에서는 집계 질의의 수행 시 결과 데이터들에 대해 부분 집계와 패킷을 병합하여 전송 메시지의 크기를 줄인 네트워크 내 처리(In-Network Processing)를 수행한다. 대표적인 집계 질의에는 MIN, MAX, SUM, AVG, COUNT 등이 있다. 네트워크 내 처리 기법은 일반적으로 질의 결과 데이터들을 기지국으로 모으기 위해 기지국을 루트로 갖는 라우팅 트리를 사용한다. 라우팅 트리는 네트워크

토폴로지의 변화가 적고 오류를 포함하지 않는 환경에서 적은 통신비용과 정확한 질의 처리 결과를 얻을 수 있다. 하지만 센서 네트워크는 데이터 전송 시에 오류를 많이 포함하고 배터리를 모두 소모한 노드의 증가로 인한 네트워크 토폴로지의 변화를 고려해야 한다. 라우팅 트리를 사용하는 전송 방식은 통신오류나 네트워크 토폴로지가 변할 경우 라우팅 트리를 구성하는 노드의 연결 관계에 변동이 생긴다. 데이터 전송 경로는 트리를 구성하는 노드를 따르기 때문에 노드의 연결 관계에 이상이 생기면 하위 노드의 데이터들은 전송되지 못하므로 센서 네트워크에서 데이터 전송에 대한 신뢰도에 문제가 발생한다.

트리 기반 라우팅 기법은 데이터 전송 시 단일 경로를 이용하기 때문에 신뢰도에 대한 문제가 발생한다. 이를 보완하기 위해 단일 경로가 아닌 통신 반경 내의 이웃 노드들을 통해 여러 경로로 데이터를 전송하는 다중 경로 기반 라우팅 기법이 제안되었다. 하지만 다중 경로 라우팅 기법은 여러 경로로 데이터를 보내기 때문에 데이터 중복 집계가 발생하여 질의 결과의 정확도가 저하되는 문제점을 가지고 있다. [5]는 다중 경로 기반 라우팅 기법의 데이터 중복 문제를 해결하고자 각 노드에 유일한 식별자를 할당하는 기법을 제안하였다. 각 센서 노드의 데이터는 식별자를 기반으로 선별되어 한번씩만 집계되기 때문에 중복된 데이터에 의한 집계 질의의 정확도 문제를 해결했다. 하지만 이 기법은 노드의 결함이나 토폴로지의 변경이 일어날 때마다 데이터의 누락을 방지하기 위해 잦은 식별자 갱신 연산을 수행해야 한다. 식별자 갱신은 결함이 있거나 위치가 변경된 노드와 그것의 하위 노드에 해당하는 모든 노드에 대한 식별자의 재할당을 의미한다. 잦은 식별자 갱신은 결함이 발생한 노드의 전체 하위 노드를 대상으로 수행되기 때문에 불필요한 에너지 소모를 유발한다[6].

본 논문에서는 다중 경로 기반 라우팅 기법에서 노드의 결함 발생 시 식별자를 갱신하는 비용을 효과적으로 줄이기 위한 새로운 다중 경로 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 특정 노드의 결함 또는 네트워크 오류 발생 시, 이웃 노드들이 그 노드의 상태를 인식하여 결함 노드의 역할을 대신 수행하는 가상 패킷을 생

성한다. 가상 패킷은 대상 노드의 부모-자식의 관계에 있는 노드에서 생성 되어 질의 처리 시 식별자 재할당 연산을 수행하지 않아도 데이터 결합을 수행하는 것이 가능하다. 가상 패킷은 빈번히 발생 할 수 있는 네트워크의 갱신 연산을 줄임으로써 센서 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있다.

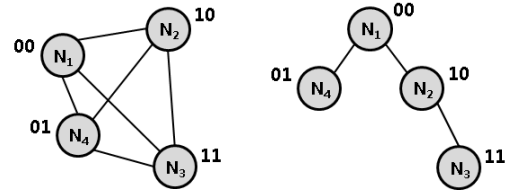
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 기술하고 기존 연구의 문제점에 대해서 분석한다. 3장에서는 제안하는 기법을 정의하고 동작 절차를 기술한다. 4장에서는 제안하는 기법과 기존 기법을 비교하여 성능평가 한다. 5장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구를 기술한다.

## II. 관련연구

[5]는 기존의 다중 경로 기반 라우팅 기법의 한계인 데이터 중복에 따른 집계 질의 결과의 부정확성 문제를 해결하기 위한 기법을 제안한다. 이 기법은 각 센서 노드에 유일한 식별자를 할당한다. 센서 노드에서 측정된 데이터는 유일한 식별자와 함께 패킷으로 생성되고, 이 패킷을 다중 경로 기반 라우팅 기법을 이용하여 이웃 노드들에게 전송된다. 전송된 패킷은 유일한 식별자를 이용한 병합 연산을 수행하여 기지국으로 데이터를 전송한다. [5]는 다중 경로 라우팅 기반의 전송 기법을 사용하며, 유일한 식별자의 병합 연산을 통하여 데이터의 중복 집계를 허용하지 않기 때문에 센서 네트워크 환경에서 질의 결과의 높은 정확도와 신뢰도를 보인다.

[5]는 크게 두 가지 단계로 수행된다. 첫 번째 단계는 네트워크 내의 모든 노드들에게 유일한 비트 식별자를 할당하여 배포한다. 식별자들은 '0'과 '1'의 비트로 구성되어 있으며 할당된 노드 사이에 부모-자식 관계를 식별할 수 있는 구조를 가진다. 두 번째 단계는 각 센서 노드들이 할당 받은 식별자를 기반으로 이웃 노드에 대하여 지속적인 패킷의 교환과 병합 연산을 수행한다. 패킷들은 네트워크 내에서 다중 경로를 통해 이웃 노드로 전송되며, 패킷 내의 식별자를 비교하여 부모-자식 관계를 갖는 패킷들은 순차적으로 병합된다. 첫 번째

단계에서 배포된 비트 식별자로 인하여 패킷들은 단 한 번만 병합이 수행된다. 지속적인



(a) 센서 노드의 배포 (물리) (b) 비트 식별자 할당 (논리)

그림 1. 센서 노드의 배포 및 비트 식별자 할당

데이터의 병합 과정을 통하여 패킷 내의 데이터들은 여러 패킷을 결합하게 된다. 식별자는 각 센서 노드들 사이에 부모-자식 관계를 인식하기 위하여 접두어와 식별자 길이를 비교한다. 접두어는 식별자의 마지막 비트를 제외한 비트의 집합이다. 우선 전체 식별자의 길이와 접두어가 동일하고 마지막 한 비트만 다를 경우, 두 센서 노드는 부모-자식 관계를 가지고 있다고 인지된다. 부모-자식 관계의 식별자는 서로 병합될 수 있으며, 이와 같은 식별자 비교를 기반으로 각 노드가 가진 측정값들을 결합한다.

[그림 1]은 [5]의 식별자 할당 기법을 보여준다. [그림 1](a)와 (b)는 식별자가 할당된 노드들의 물리적인 토폴로지와 식별자 기반의 논리적인 추상 트리 구조를 비교하고 있다. [그림 1](a)의 센서 노드들은 다중 경로 라우팅 통신을 이용해 자신의 이웃들에게 식별자를 할당한다. [그림 1](b)는 각 센서 노드에 할당된 [그림 1](a)의 식별자를 부모-자식 관계의 추상 트리로 나타내고 있으며 추상 트리를 기반으로 쉽게 식별자 할당을 수행한다. [그림 2]는 각 노드에 할당된 식별자를 기반으로 센서 노드의 수집 데이터에 대한 집계(SUM) 질의 수행 절차를 나타낸다. 식별자 기반의 데이터 병합은 부모-자식 관계의 패킷 사이에 발생하며 서로의 패킷을 병합하여 저장하고 그 값을 다시 이웃 노드에게 전송하는 과정들을 지속적으로 반복한다. 병합 연산은 수집된 모든 데이터가 병합되어 더 이상 병합할 수 있는 패킷이 존재하지 않을 때까지 수행한다. 최종적으로 모든 데이터들이 하나로 병합되면 집계 질의 결과 값을 기지국에

전송하게 된다.

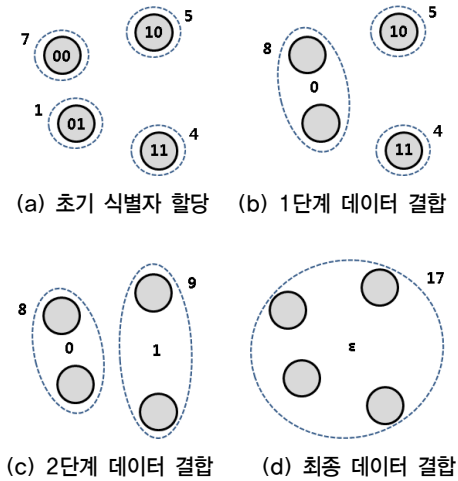


그림 2. 비트 식별자를 이용한 데이터 결합의 수행

[5]는 센서 노드에 유일한 식별자를 사용하여 기존 다중 경로 기반의 라우팅 기법의 중복된 데이터가 전송되는 문제를 해결하였다. 하지만 노드의 결합이 빈번히 발생 할 수 있는 센서 네트워크 환경에서는 비효율적인 에너지 소비를 보인다. [5]의 패킷 병합은 부모-자식 관계의 노드들이 순차적으로 결합되어 진행하기 때문에 높은 정확도를 보장 할 수 있지만, 노드의 결합이 발생하여 해당 식별자를 가진 패킷이 생성되지 않을 경우, 데이터의 병합이 수행되는 것은 불가능하다. 그러므로 새로운 노드가 추가되거나 노드 결합으로 인해 사라지면 연산의 정확성을 위하여 새롭게 추가 된 노드에 대한 식별자 할당 뿐만 아니라, 추가되거나 삭제된 노드의 하위 노드에 대한 식별자를 재할당해야 한다. 유일한 식별자 할당 방식은 부모-자식 관계를 유지하기 위하여 부모 노드의 식별자의 마지막 자리에 비트 하나를 추가하여 식별자를 할당 받는 방식을 취한다. [그림 3]과 같이 추상 식별자 트리 상에서 상위 노드에 결합이나 새로운 노드가 추가 될 경우, 해당 노드의 전체 하위 노드에 대해 식별자 재할당을 수행하여야 하기 때문에 큰 에너지 소비를 유발한다. 따라서 전송 오류와 토폴로지의 변화가 빈번한 센서 네트워크의 특성과 식별

자 재할당시 에너지 소모가 많은 [5]의 특성을 고려하여 적절한 갱신 연산을 통한 에너지 효율적인 다중 경로 라우팅 기법의 연구가 필요하다.

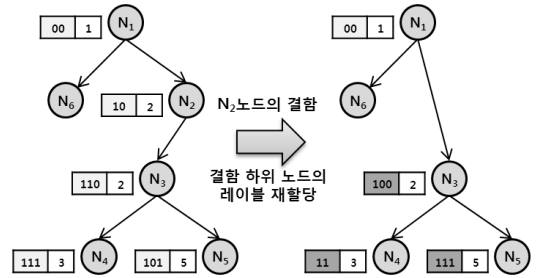


그림 3. 결합 발생 시 식별자의 재할당

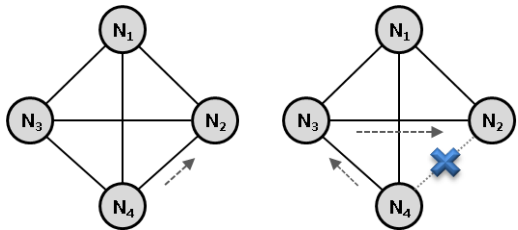
### III. 제안하는 기법

본 논문에서는 다중 경로 기반 라우팅 기법에서 노드의 결합 발생 시 식별자를 갱신하는 비용을 효과적으로 줄이기 위한 새로운 다중 경로 라우팅 기법을 제안한다. 이를 위해 본 절에서는 결합이 발생한 노드를 인지하고 식별자 재할당 기법을 사용하지 않아도 패킷의 병합 및 결합을 원활하게 수행하기 위한 기법에 대하여 기술한다.

#### 1. 제안하는 기법의 특징

본 논문은 데이터의 중복 집계를 방지하는 동시에 식별자 갱신 비용을 줄이는 새로운 에너지 효율적인 다중 경로 라우팅 기법을 제안한다. [5]는 네트워크 결합에 폭넓게 노출되어 있는 센서 네트워크 환경에서 노드의 결합 및 새 노드의 추가 등으로 빈번하게 발생하는 복구 작업에 대한 에너지 소모를 고려하지 않았다. 제안하는 기법은 네트워크 안의 모든 노드들이 이웃 노드들의 상태를 인식하고 데이터 전송에 문제가 발생한 노드를 감지한다. 만약 문제가 발생한 노드가 발견되면, 그 노드와 부모-자식 관계를 갖는 노드는 자신의 버퍼에 가상 패킷을 생성한다. 가상 패킷은 문제가 발생한 노드의 식별자 정보를 포함하고 있으며 데이터는 갖지 않는다. 가상 패킷은 결합이 발생한 노드를 대신해 식별

자 병합 연산에 참여하여 자식 노드들이 질의 결과 데이터에 포함 되도록 동작한다. 따라서 결함이 발생한 노드에 관계되는 모든 하위 노드의 식별자 재할당을 요구하지 않는다. 가상 패킷은 일정 주기 동안 유지되며 가상 패킷이 유지되는 동안은 결함이 발생한 하위 노드들에 대한 식별자의 재할당을 수행하지 않기 때문에 식별자 갱신 비용을 효과적으로 줄일 수 있다.



(a) N4에서 N2로의 전송 (b) 우회 경로를 이용한 전송

그림 4. 다중 경로 라우팅 기법의 데이터 전송

## 2. 노드의 결함 인식과 가상 패킷 생성

특정 센서 노드의 결함이 의심될 경우, 그 노드가 결함을 포함하는지에 대한 여부는 주변 이웃 노드들을 조사하여 판단할 수 있다. 결함 노드 선별에 사용되는 이웃 노드는 결함이 없는 것으로 판정된 노드이다. 결함이 의심되는 센서 노드를  $i$ 라 가정하면, 노드  $i$ 의 주변 이웃 노드들은  $i$ 에 대한 상태 정보나 측정 데이터를 수신한다. 각 이웃 노드들은 노드  $i$ 에 대해서 자신이 수신한 정보가 일치하는지 확인하는 과정을 진행한다. 만약 서로 수신된 정보가 일치하지 않는다면 노드  $i$ 는 결함을 포함하고 있다고 판단할 수 있을 것이다. 또한 노드  $i$ 의 모든 이웃 노드들이 일정 주기 이상 노드  $i$ 의 데이터를 전송 받지 못할 경우 노드의 사망으로 간주할 수 있다. 이와 같이 센서 노드의 사망이나 결함을 판별하는 작업을 위해서는 네트워크 내의 모든 노드들이 이웃 노드에 대한 상태 정보를 유지해야 하며 결함이 발생하지 않을 것으로 판단되는 이웃 노드들과 지속적인 정보 교환을 수행해야 한다.

다중 경로 기반의 라우팅 기법은 [그림 4]와 같이 다양한 경로를 통하여 데이터 전송이 이루어진다. 노드

$N_2$ 는 일시적인 전송 오류로 인하여  $N_4$ 의 데이터를 수신하지 못한 경우이다.  $N_4$ 에 대해 이웃 노드인  $N_3$ 와  $N_2$ 는 각기 상태정보를 갖게 된다. 일반적인 센서 네트워크 환경에서는  $N_4$ 노드를 결함을 포함한 노드로 판단하고 그에 대한 처리를 수행 할 것이다. 하지만 다중 경로 기반 라우팅 전송 환경에서는 노드  $N_4$ 를 결함이 발생한 노드로 바로 선정할 수 없다. 다양한 경로로 데이터를 전송하는 특성을 갖기 때문이다. [그림 4](b)와 같이  $N_3$ 를 통해 우회해서 데이터가 전송되는 상황을 예로 들 수 있다. 따라서 정확한 노드의 결함을 판단하기 위해서는 일정 시간 동안 감시를 통해 판단을 내려야 한다. 제안하는 기법은 결함이 발생한 노드에 대해서 정확한 판단을 하기 위해 후보 결함 노드를 설정한다. 후보 결함 노드는 이웃 노드의 상태정보를 기반으로 선정되며 선정된 후보 노드는 일정 주기 동안 감시를 받게 된다. 후보 결함 노드가 선택되고 가상 패킷을 설정하는 과정은 다음과 같다.

- 노드는 주변 이웃 노드들과의 주기적인 통신을 통해 이웃 노드들이 관리 중인 이웃 노드 정보를 수집하고, 이를 자신이 가진 이웃 노드 정보를 비교하여 후보 결함 노드를 결정한다.
- 후보 결함 노드는 주기  $T$ 시간 동안 유지한다. 주기  $T$ 는 각 노드에 할당된 식별자 중 가장 긴 길이의 식별자의 비트 수만큼의 수행 라운드 이다. 오류가 없는 환경에서, [5]는 노드에 할당된 식별자 중 가장 긴 길이의 식별자 비트 수만큼의 최소 질의 처리 라운드를 갖는다.
- 부모-자식 관계에 있는 노드는 가상 패킷을 생성한다. 가상 패킷은 부모-자식 노드 중 하나의 노드만 생성된다.

## 3. 가상 패킷과 병합 과정

가상 패킷은 노드에 결함이 있거나 네트워크 토폴로지의 변화로 인하여 할당된 식별자가 전송되지 않는 경우 이를 해결하기 위하여 사용된다. [5]는 유일한 식별자를 이용하여 각 패킷을 병합하는 과정을 거쳐 최종 데이터를 기지국까지 전송한다. 하지만 하나의 식별자라도 받지 못하면, 최종 질의 결과 패킷을 생성하는 것

은 불가능하다. 그러므로 가상 패킷을 생성한 노드는 결함이 발생한 노드의 식별자를 대신하여 하위 노드들을 식별자 병합에 참여 시켜 기지국까지 데이터 전송을 보장한다.

각 센서 노드는 [그림 5(a)]와 같이 측정된 데이터와 식별자를 하나의 패킷 형태로 생성한다. 패킷 (110,1)의 “110”은 해당 센서 노드에 할당된 식별자를 나타내고 나머지 “1”은 센서의 측정 데이터의 값을 나타낸다. 가상 패킷은 [그림 5(b)]와 같이 일반 패킷과 같은 구조를 가지고 있지만 측정 데이터 값에는 NULL을 저장한다. 일반 패킷과 가상 패킷은 동일한 형태의 저장 구조를 갖기 때문에 일반 패킷들 사이의 병합 연산과 동일한 연산을 수행 할 수 있다.

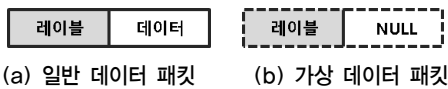
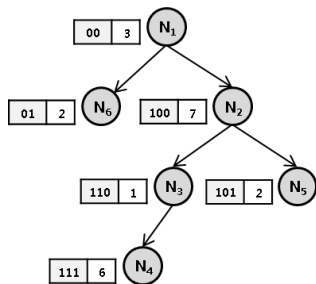
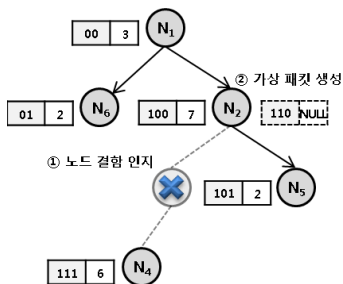


그림 5. 데이터 패킷 구조



(a) 미결함 시의 추상 식별자 트리



(b) 결함 발생 시의 가상 패킷의 생성

그림 6. 가상 패킷의 생성

네트워크 내의 모든 노드들에게 유일한 식별자들을 할당하면 [그림 6(a)]와 같은 형태를 갖는 부모-자식 관계의 식별자 추상 트리가 구축된다. [그림 6(b)]의 추상 트리에서 노드  $N_3$ 는 결함이 발생하여 제 기능을 수행하지 못한다. 따라서  $N_4$ 의 패킷은 식별자 병합 과정에 참여하지 못하고 수집된 데이터들은 기지국까지 전송되지 못한다. 가상 패킷은  $N_3$ 가 할당받았던 식별자를 복사하여 순차적인 식별자 병합에 대신 참여한다. [그림 6(b)]의 생성된 가상 패킷은 부모 노드에 할당되어  $N_4$ 와  $N_5$ 의 데이터들이 정상적으로 데이터 병합 및 결함을 수행하여, 최상위 노드  $N_1$ 까지 전송될 수 있도록 보장한다.

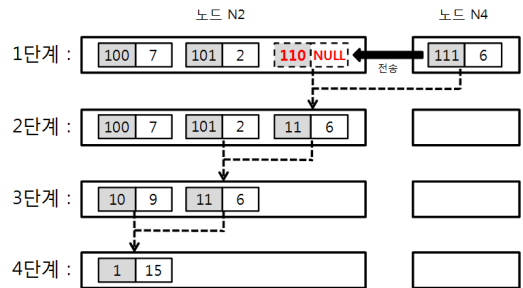


그림 7. 가상 패킷을 가진 노드 N2의 병합연산

**Algorithm** 가상 패킷의 병합연산

**Input:**  
tuple\_n= 병합이 요구되는 다른 노드의 패킷  
**Output:**  
tuple\_r= 병합이 완료된 패킷

tuple\_v= 가상패킷  
tuple\_k= 가상패킷 이외의 패킷  
tuple\_count = 0

- 1: receive (tuple\_n)
- 2: **if** compare(tuple\_v, tuple\_n) = true **then**
- 3:     **for** i=1; i<=tuple\_count; i++ **do**
- 4:         tuple\_r=aggregate(tuple\_v, tuple\_n)
- 5:     **end for**
- 6:     transmit(tuple\_r)
- 7: **end if**

그림 8. 에너지 효율적인 다중 트리 기반 라우팅 프로토콜의 질의처리 의사코드

본 기법의 패킷 간 병합 연산은 [5]의 정책을 따른다. 가상 패킷은 부모-자식 관계에 있는 노드에 생성됨으로써 패킷 간의 병합 연산을 순차적으로 진행한다. [그림 7]은 자식 노드의 결합으로 가상 패킷을 생성한 센서 노드  $N_2$ 의 패킷 병합 연산 과정을 도시한 것이다. 또한 [그림 8]은 제안하는 에너지 효율적인 다중 트리 기반 라우팅 프로토콜의 질의처리 의사코드를 나타낸다. [그림 8]의 의사 코드 수행에 근거하여 모든 노드에서 패킷 병합 및 병합 패킷 전송을 수행한다. 센서 노드  $N_2$ 는 자식에 해당하는 노드  $N_3$ 의 가상 패킷 (110, NULL)을 포함하고 있다. 새로운 패킷 (111,6)이  $N_2$  센서 노드 버퍼에 전송되면 센서 노드는 새로운 패킷과 자신이 가진 패킷들 사이에 부모-자식 관계를 형성하는 패킷의 존재 여부를 검사한다. 가상 패킷(110, NULL)과 새로운 패킷(111,6)은 부모-자식 관계에 있으므로 식별자 병합을 시도한다. 만약 가상 패킷이 존재하지 않으면 새로운 패킷은 병합 과정에 참여하지 못하여, 최종 질의 결과를 생성하는 것이 불가능하다. 가상 패킷의 측정 데이터 값은 NULL이므로 일반 패킷(111, 6)과의 병합 후 측정 데이터 값은 일반 패킷의 값을 상속 받는다. 병합 과정을 수행한 후, 새롭게 결합된 패킷은 (11,6)의 값을 갖는다.

표 1. 성능 평가 환경

파라미터	값
센서네트워크의 크기	100m×100m
센서 노드의 수	500개
베이스스테이션 위치	(50, 50)
센싱 데이터의 크기	4Bytes
식별 데이터의 크기	4Bytes

#### IV. 성능평가 및 분석

##### 1. 실험 환경

제안하는 정확도를 고려한 에너지 효율적인 다중 트리 기반 라우팅 프로토콜을 평가하기 위해서 사용한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 센서 네트워크는 100m×100m의 사각형의 형태를 가진다. 센서 노드들은

이 센싱 영역 상에 500개의 노드가 균등하게 분포되어 있고, 싱크 노드는 (50, 50)에 위치해 있다고 가정하였다. 센서 노드의 센싱 데이터의 크기는 4Bytes, 각 노드의 식별자를 위한 데이터의 크기는 4Bytes로 가정하였다.

시뮬레이션에서 사용된 데이터는 미국 워싱턴 주에서 측정된 실제 온도와 습도 데이터이다[7]. 여러 개의 센서 노드로 구성된 센서 네트워크를 가정하므로 수집된 데이터 모델의 위상차를 두어 각 센서 노드가 서로 다른 데이터를 수집하도록 설정하였다. [그림 9]는 성능 평가에 사용한 데이터의 분포를 나타낸다.

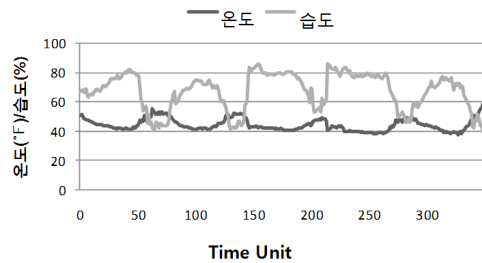


그림 9. 시뮬레이션에 사용한 데이터 모델

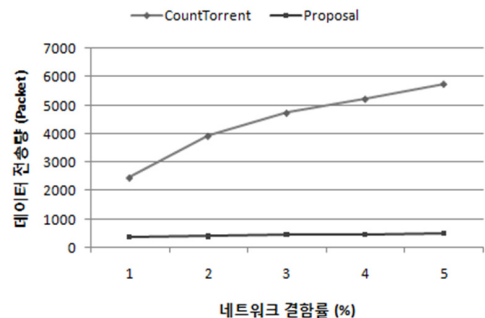


그림 10. 네트워크 결합에 따른 식별자 갱신에 소모되는 데이터 전송량

##### 2. 실험 결과

네트워크 결합에 따른 식별자 갱신에 소모되는 데이터 전송량 평가에서는 100m×100m의 센싱 영역에 500개의 센서 노드를 배치한 후 50라운드 동안 전체 네트워크 결합을 1%부터 5%까지 지속적으로 발생시키면서 두 기법의 성능을 비교하였다. [그림 10]은 센서 네트워크의 결합 발생에 따른 제안하는 기법과 [5]의 결

합 복구비용(식별자 갱신에 소모되는 데이터 전송량)을 평가한 결과이다. [5]의 경우, 각 센서 노드에서 네트워크 결함을 감지하게 될 경우 즉시 결함 복구를 위한 식별자 갱신 과정을 수행한다. [5]에서는 네트워크 결함을 복구하기 위해 식별자를 재할당하는 과정을 거치고, 결과적으로 결함의 발생한 노드를 중심으로 대규모의 하향 업데이트가 발생하므로 과도한 메시지 전송량을 유발하게 된다. 반면에 제안하는 기법은 결함이 발생 할 경우 결함 복구를 위한 과정을 수행하는 것이 아니라 결함이 발생한 노드의 부모 노드에서 가상의 식별자를 생성한다. 이를 데이터 병합 시에 사용함으로써 기존의 기법에서 발생했던 대규모의 식별자 재할당 및 업데이트 문제를 피한다. 설정 된 주기마다 전체 네트워크를 대상으로 결함을 수정하기 때문에 [5]에 비해 상대적으로 낮은 결함 복구 비용을 보인다. 두 기법을 비교 평가한 결과 네트워크 결함에 따른 복구에 필요한 데이터 전송량이 평균 95% 이상 향상 되었다.

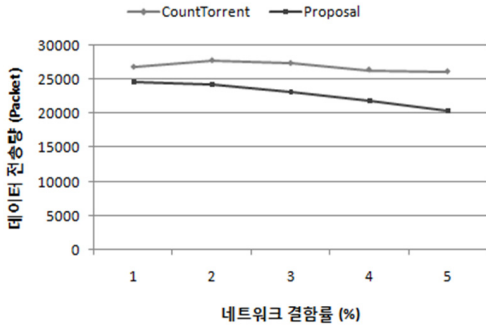


그림 11. 네트워크 결함에 따른 데이터 전송량

[그림 11]은 단위 질의 당 네트워크 결함에 따른 네트워크 전체 데이터 전송량을 나타낸다. 네트워크 결함에 따른 데이터 전송량의 실험은 100m×100m의 센싱 영역에 500개의 센서 노드를 배치한 후 결함 발생률을 1% 부터 5%까지 변화시키면서 두 기법의 성능을 비교하였다. 실험 결과 그래프에서 네트워크 결함 발생률이 증가함에 따라 두 라우팅 방법의 성능 차이는 점점 증가하였다. [5]는 수집 주기마다 반복하여 결함 복구를 위한 과정을 수행하기 때문에, 제안하는 기법과 비교하여

상대적으로 불필요한 전송을 많이 하게 된다. 이는 네트워크 결함이 발생한 노드가 증가할수록 수집 주기마다 네트워크 결함 복구를 위한 메시지 전송을 더욱 많이 하게 되므로 차이가 발생하게 된다. 실험 결과 그래프에서 네트워크 결함 발생률이 증가함에 따라 데이터 전송량이 감소하게 되는데, 이는 결함이 발생한 노드에서는 이후의 과정에서 더 이상 데이터 송수신이 일어나지 않기 때문이다. 두 기법을 비교 평가한 결과 배포된 단위 질의 당 데이터 전송량은 최대 22% 감소하였다.

### V. 결론

본 논문에서는 집계 질의 수행 시 데이터의 중복 집계를 방지하는 동시에 식별자 갱신 비용을 큰 폭으로 줄이는 새로운 라우팅 기법을 제안하였다. 기존의 다중 경로 라우팅 기법은 노드에 유일한 식별자를 할당하는 방식을 사용하여 집계 질의 수행 시에 높은 정확도와 신뢰도를 나타내었다. 하지만 높은 정확도를 보장하기 위해 센서 네트워크의 결함에 대한 즉각적인 복구 작업을 수행하므로 결함 복구를 위해 많은 에너지를 소모하게 되고, 이는 결과적으로 네트워크 생존 시간의 감소를 유발하게 된다. 이를 해결하기 위해, 제안하는 기법은 가상의 패킷을 생성하여 결함이 생긴 노드에서 생성되는 패킷의 역할을 수행하게 함으로써 센서 네트워크의 결함 노드를 위한 식별자 갱신 작업을 수행하지 않아 불필요한 에너지 소모를 감소시켰다. 성능평가 결과, 네트워크 결함에 따른 복구에 필요한 데이터 전송량은 기존의 기법에 비해 평균 95%, 단위 질의 당 데이터 전송량은 최대 22% 감소하였다. 향후 연구는 각 노드에 할당 되는 패킷의 압축을 수행하여 전송되는 데이터 량을 감소시키는 기법을 접목하는 것이다.

### 참고 문헌

[1] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Guest editors' introduction: Overview of sensor



networks,” In Journal of IEEE Computer, Vol.37, pp.41-49, 2004.

[2] S. Madden, M. J. Franklin, J. M. Hellerstein, and W. Hong, “TAG: A tiny aggregation service for ad hoc sensor networks,” In Proceedings of ACM/USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation, pp.131-146, 2002.

[3] Y. Yao and J. Gehrke, “Query processing for sensor networks,” In Proceedings of CIDR Conference, 2003.

[4] A. Manjhi, S. Nath, and P. B. Gibbons, “Tributaries and Deltas: Efficient and Robust Aggregation in Sensor Network Streams,” In Proceedings of SIGMOD, pp.287-298, 2005.

[5] A. Kamra, V. Misra, and D. Rubenstein, “CountTorrent: ubiquitous access to query aggregates in dynamic and mobile sensor network,” In Proceedings of ACM Conference on Embedded Networked Sensor System, pp.43-57, 2007.

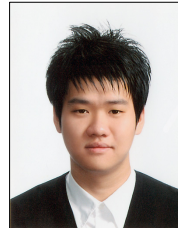
[6] J. Park, D. Seong, M. Yeo, H. Kim, and J. Yoo, “An Efficient Multiple Tree-Based Routing Scheme in Faulty Wireless Sensor Networks,” In Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies and Application, pp.1-6, 2009.

[7] Live from Earth and Mars (LEM) Project, [http://www-12.atmos.washington.edu/k12/gray kies/](http://www-12.atmos.washington.edu/k12/gray%20kies/), 2006.

저 자 소 개

박 준 호(Junho Park)

정회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : 데이터베이스 시스템, 무선 센서 네트워크, 차세대웹, LMS, LCMS

여 명 호(Myungho Yeo)

정회원

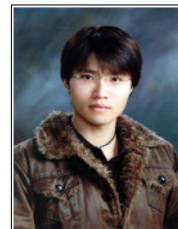


- 2004년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)

• 2010년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원  
<관심분야> : 메인 메모리 기반 데이터베이스, 시공간 데이터베이스, 무선 센서 네트워크

성 동 욱(Dongook Seong)

정회원



- 2005년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)

• 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 연수연구원  
<관심분야> : LMS, LCMS, 데이터베이스 시스템, 센서 네트워크, 저장 시스템

권 현 호(Hyunho Kwon)

정회원



- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)

- 2011년 3월 ~ 현재 : LS산전(주) 청주전력연구소 연구원

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, 위치기반서비스

이 현 정(Hyunjung Lee)

준회원



- 2009년 2월 : 배재대학교 전자상거래학과(전자상거래학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 무선 센서 네트워크, 데이터베이스 시스템, 위치기반서비스

유 재 수(Jaesoo Yoo)

종신회원



- 1989년 2월 : 전북대학교컴퓨터공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

- 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 목포대학교 전산통계학과(전임강사)

- 1996년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 및 컴퓨터정보통신연구소 교수

<관심분야> : 데이터베이스시스템 정보검색 센서네트워크 및 RFID, 멀티미디어데이터베이스, 분산객체 컴퓨팅