

무선 센서 네트워크에서 역방향 통신을 위한 비트열기반 경로설정 방법

A Bitarray-Based Reverse Routing Method in Wireless Sensor Networks

김 선 환*
(Seon-Hwan Kim)

이 명 섭**
(Myung-Sub Lee)

김 종 근***
(Chong-Gun Kim)

박 창 현****
(Chang-Hyeon Park)

요 약

무선 센서 네트워크를 위해 제안된 LEACH, PEDAP 등과 같은 에너지 효율을 고려한 대부분의 경로설정 알고리즘은 기지국이 무한한 자원을 가지고 있어 전송량과 전송거리에 제한이 없다고 가정하고 있다. 그러나 일반적인 소규모의 무선 센서 네트워크에서는 기지국을 사용하지 않고 일반 노드가 수집 노드의 역할을 대신하고 있다. 또한 기존 연구에서는 수집 노드 방향으로만 데이터 전송을 고려하고 그 반대인 수집 노드에서 일반 센서 노드로 데이터를 전송하는 역방향 통신에 대해서는 고려하지 않고 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 효율적인 역방향 통신을 위해 비트열기반의 경로설정 방법을 제안한다. 제안기법은 트리기반 경로설정 정보를 이용하여 처리방법이 간단하며 작은 메모리 공간을 가지는 센서 노드에서 주소를 효율적으로 저장하고 처리할 수 있다. 제안 기법의 평가를 위해 C언어기반 시뮬레이터를 이용하여 성능을 분석하였다. 성능분석 결과 제안 기법이 메시지 전달에서 발생하는 전체 전송횟수를 메시지에 경로정보를 포함하여 전송하는 기법보다 약 61.3% 정도 줄일 수 있었다.

Abstract

Most of the discussed power efficient routing algorithms, such as LEACH, PEDAP and etc., assume that a base station has infinite resources and there is no traffic limit. However, these assumptions cannot be applied to typical wireless sensor network environments, especially a small sensor network using a normal node as the base station. Moreover, many studies on the wireless sensor networks have not been considering the reverse transmission scheme which transmits data from a sink node to the normal nodes. We propose a bitarray-based reverse routing method which is a power efficient routing algorithm for the wireless sensor networks. The proposed method can be easily implemented by using the tree-based routing scheme and can be worked well with the small memory size for the address of sensor nodes. The experimental result shows that the amount of message transmission of the proposed bitarray-based reverse routing method can be reduced about 61.3% or more compared to the previous methods.

Key words: Wireless sensor networks; bitarray; reverse routing method; tree-based routing.

† 이 연구는 2009년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

* 주저자 : 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

** 공저자 : 영남이공대학 컴퓨터정보계열 교수

*** 공저자 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

**** 공저자 및 교신저자 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

† 논문접수일 : 2010년 5월 3일

† 논문심사일 : 2010년 6월 29일

† 게재확정일 : 2010년 7월 1일

I. 서 론

무선 센서 노드는 센서 모듈, 네트워크 모듈, MCU(Micro-Controller Unit), 전원 모듈로 이루어진다. 무선 센서 노드들은 무선 센서 네트워크를 형성하고 감지 기능을 통하여 주변 환경의 변화된 정보를 수집, 전송, 처리하거나 수신된 정보를 다른 노드에게 전달하는 역할을 수행한다. 무선 센서 노드는 지형이 험하거나 접근이 쉽지 않은 곳에 손쉽게 배포하기 위해 크기가 작고 가벼워야 하며 전원을 배터리에 의존해야하기 때문에 제한된 자원을 효율적으로 사용해야 한다.

무선 센서 네트워크의 생존기간을 늘리기 위해 제안된 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), PEDAP(Power Efficient Data gathering and Aggregation Protocol), SHORT(Shortest HOP Routing Tree)등을 포함한 대부분의 에너지 효율을 고려한 경로설정 알고리즘들은 기지국이 무한한 자원을 가지고 있으며 전송량의 제한이 없다고 가정하여 일반 센서 노드가 기지국을 대신 할 경우는 고려하지 않았다[1-3].

또한 대부분의 소규모 센서 네트워크에서는 기지국을 이용하지 않고 센싱 데이터를 최종적으로 수집하여 서버나 게이트웨이로 전달하는 센서 노드, 즉 전파 범위가 작은 싱크(sink) 노드를 이용한다. 이러한 이유로 일반적으로 일반 센서 노드에서 싱크 노드로 메시지를 전송하는 것을 순방향 통신이라고 하고 싱크 노드에서 일반 센서 노드로 메시지를 전달하는 것을 역방향 통신이라고 할 때, 질의 메시지나 제어 메시지를 보내기 위한 효율적인 역방향 통신도 고려되어야 한다. 본 논문에서는 트리구조를 가지는 무선 센서 네트워크에서 역방향 통신을 지원하기 위해 센서 노드에 남은 메모리 공간을 최대한 활용하며 테이블 유지에 발생하는 메시지 수를 최소화하는 비트열기반 경로설정 방법을 제안한다.

다음의 2장에서는 순방향 통신만을 고려한 트리기반 경로설정 방법과 양방향을 모두 고려한 경로설정 방법에 대해서 알아보고 문제점을 지적한다. 3장에서는 트리기반 네트워크에서 역방향 통신을 위해

제안하는 비트열 기반 경로설정 방법을 기술하고, 4장에서 이를 시뮬레이션과 구현을 통해 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 전체적인 평가와 결론을 보인다.

II. 관련연구

이 장에서는 제안하는 방법을 적용할 수 있는 트리기반 경로설정에 관하여 설명하고, 역방향 통신을 고려한 기법들에 대해서 고찰한다.

1. 트리기반 경로설정

트리기반 경로설정은 각 센서 노드의 데이터가 최종적으로 기지국으로 전달된다는 점에서 착안하여 각 노드가 부모를 가지는 트리 구조 형태의 네트워크로 구성시킨다. 트리 구조는 그 부모의 주소만 저장되기 때문에 테이블 기반의 경로설정보다 메모리 공간을 절약할 수 있다. 그리고 메시지를 부모에게만 전달하여 최종적으로 기지국에 도착하게 만들기 때문에 그 전송구조가 단순하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 전파 범위가 일반 센서 노드와 동일한 수집 노드가 기지국을 대신하게 되면 특정 노드에 질의 및 제어 메시지를 보낼 때 부모 노드의 정보로는 경로를 찾아갈 수 없다. 주위 노드와 자식 노드의 정보를 테이블로 구성하더라도 목적지 노드의 경로에 포함되어 있는지를 알 수 없다. 또한 자식 노드의 수가 제한이 없으면 테이블의 크기를 예측할 수 없으며 모든 노드의 경로정보를 저장하기에는 센서 노드의 메모리 공간이 부족하다.

PEDAP은 두 가지 방안을 제시하였다. 첫 번째 방안은 총 전송 거리를 단축하는 것으로, 기지국은 모든 노드의 위치를 알고 있으며 네트워크 구성에 소비되는 추가 비용은 기지국이 담당하게 된다는 가정하에서 각 노드간의 거리를 계산할 수 있다. 이 거리를 비용으로 Kruskal 알고리즘을 사용하여 최소 신장 트리를 구성한다. 두 번째 방안은 다른 노드의 데이터를 수집 또는 조합하는 노드는 그렇지 않은 노드보다 전력 소비가 높기 때문에 그에 대한 비용을 분

산시켜줘야 한다는 전제에서 착안되었다. 특정 라운드에서 특정 노드들은 배터리 잔존용량을 고려하여 데이터를 수집하는 것을 피해야 하며, 그것을 위해서 각 노드의 잔존 배터리 용량을 비용에다가 포함시켰다.

2. 역방향통신을 고려한 기법들

1) ZigBee의 CSkip

CSkip 알고리즘은 네트워크가 형성되기 전에 자신의 주소를 0으로 초기화 하고 한 노드가 가질 수 있는 최대 자식의 개수(C_m)와 자식으로 가질 수 있는 라우터 개수(R_m) 그리고 네트워크 트리의 최대 레벨(L_m)를 결정한다. 라우터 기능이 있는 모든 노드는 자신의 깊이 ' d '와 식 (1)에서 계산된 $CSkip(d)$ 을 알고 있다. 식 (1)를 이용하여 라우터는 자식 노드의 주소를 $CSkip(d)$ 값의 간격으로 할당하게 된다.

$$CSkip(d) = \begin{cases} 1 + C_m \times (L_m - d - 1), & \text{if } R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \times R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

식(1)을 통해 자신의 자손 노드의 주소를 알 수 있어 경로설정 테이블이 필요 없지만 네트워크를 구성하기 이전에 미리 변수를 설정해야 한다. 그리고 주소 고갈로 인해 노드가 접속을 하지 못하는 고아 문제(orphan problem)가 나타날 수 있어 네트워크 확장에 한계가 있으며 자식의 수를 제한하기 때문에 네트워크의 홉 수가 증가된다. 이를 보완하기 위해 여러 기법들이 연구되고 있다. 하지만 여전히 자식의 수에 제한이 있어 네트워크의 홉 수를 최소로 할 수 없다는 단점이 있다[4-6].

2) 비트 테이블을 이용한 경로설정 기법들

먼저 비트맵을 구성하여 이를 행렬처럼 사용하고 경로를 설정하는 방법들이 있다. 이 기법들은 애드혹 네트워크에서 제안한 기법으로 선출된 리더를 기반으로 하여 네트워크의 연결 정보를 비트맵에 저장하고 통신하는 기법이다. 선출된 리더 노드는 주위

노드의 정보를 수집하고 그 연결 정보를 인접 행렬, 즉 비트맵에 저장한다. 그리고 저장된 인접 행렬을 이용하면 각 노드간의 통신에 필요한 최소 홉 수를 나타내는 연결 행렬을 계산할 수 있어 목적지의 경로를 쉽게 파악 할 수 있다. 그러나 노드의 개수를 ' N '이라고 할 때 행렬을 구성하기 위해서는 ' $N \times N$ '의 비트 공간이 필요하며 ' N '이 16비트의 주소를 가지게 되면 행렬에 필요한 기본 메모리 공간은 4Gb의 공간이 필요하게 된다[7-10].

비트맵을 이용한 방법 이외에도 비트 테이블의 크기를 몇 바이트 이내로 줄여서 역방향 통신을 구현한 방법이 있다. 하지만 이 방법은 테이블의 크기가 작기 때문에 하나의 비트 당 중복된 정보를 포함하게 되어 역방향 통신에서 많은 메시지가 발생된다. 또한 기본적으로 주위 노드들과 주기적으로 테이블의 정보를 교환하기 때문에 경로설정 테이블을 유지에 소요되는 메시지가 많다[11].

3) 메시지에 경로정보를 포함하는 기법

정보를 수집하는 기지국은 메모리 공간에 제한이 없어 모든 네트워크의 경로정보를 저장할 수 있으며 전파 범위가 일반 센서 노드들과 동일하다는 가정을 두고 이를 이용한다. 기지국은 이 정보를 바탕으로 목적지 노드에게 메시지를 전달하기 전에 경로설정 메시지에 경로정보를 포함하여 보내고 그 메시지를 받은 노드들은 경로를 형성하게 된다. 경로가 형성되면 전송하고자 하는 질의나 제어 메시지를 목적지 노드에게 보낸다. 이 방법은 메시지의 최대크기에 따라 경로설정 메시지의 수가 달라진다. 그리고 역방향 통신에서 목적지 노드로 메시지 전송할 때 경로설정 메시지와 데이터 메시지를 전송하기 때문에 최소한 2개 이상의 메시지가 필요하다[12].

III. 비트열 경로설정 방법

본 장에서는 역방향을 위한 비트열 경로설정 방법에 대해서 기술한다. 비트열 경로설정 방법은 비트 테이블을 이용한 방법이며 트리기반 네트워크에만 적용할 수 있는 역방향 통신기법이다. 적용되는 트

트리 기반 네트워크는 각 노드의 자식 수가 제한이 없다. 그래서 네트워크의 전체 평균 홉 수를 줄여 메시지 전송 시 지연시간이 적고 각 노드는 최단거리를 가지게 된다. 이런 트리 기반 네트워크의 장점을 유지하고 단점이 되는 역방향 통신을 보완하는 것이 본 논문에서 제안한 기법의 목적이다. 본 장에서 제안하는 기법은 여유가 되는 메모리 공간을 최대한 이용하여 비트 당 중복된 정보를 최소화하며 테이블 유지에 소요되는 메시지의 수를 줄이도록 한다.

1. 테이블 크기 설정

경로설정 테이블은 1차원 비트 배열을 이용하여 구성한다. 각 노드는 노드의 개수를 'N'이라고 하였을 때 'N/8' 바이트의 용량을 가지는 메모리 공간을 할당하여 경로설정 테이블로 사용한다. 센서 노드의 메모리 공간이 부족하면 기본적으로 프로그램이 저장될 메모리를 제외한 메모리 공간을 최대한 활용하여 모든 노드의 정보를 저장할 수 있도록 모듈러 연산자를 이용하여 하나의 비트에 여러 주소를 저장할 수 있게 한다.

2. 테이블 구성

각 노드는 트리 기반 경로설정 알고리즘에서 사용하는 광고 메시지(beacon message)를 이용하여 자식 노드의 주소를 비트열 테이블에 등록한다. 노드의 주소를 비트열 테이블에 등록하는 과정은 다음과 같다.

- 단계 1. 트리 기반 네트워크를 구성한다.
- 단계 2. 자식들의 광고 메시지를 수신하여 주소 정보를 수집한다.
- 단계 3. 자식들의 주소를 비트열 테이블에 등록하고 자신의 부모에게 해당 주소의 등록 요청 메시지를 보낸다.
- 단계 4. 주소 등록 요청 메시지를 수신하면 해당 주소를 비트열 테이블에 등록하고 자신의 부모에게 그 메시지를 전달한다.
- 단계 5. 단계 4를 통해 자신의 비트열 테이블에 손 노드의 주소들을 모두 등록한다.

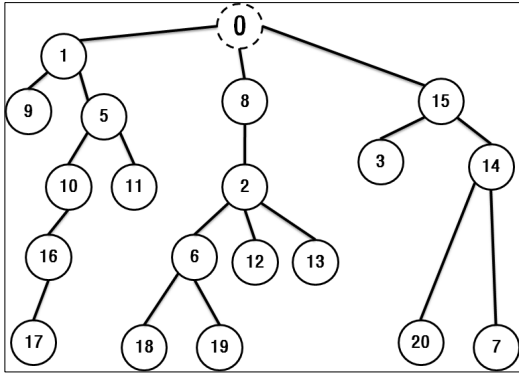
단계 1에서 광고 메시지를 이용하여 트리 기반 네트워크가 구성된다. 광고 메시지에는 자신의 부모, 비용, 홉 수 등의 정보를 포함하고 있다. 비용은 LQI(Link Quality Indication), RSSI(Receive Signal Strength Indicator), PRR(Packet Reception Rate) 등과 같은 회선 품질을 나타내는 지표의 값을 사용한다. 이 비용을 바탕으로 각 노드는 최소 비용을 가지는 노드를 부모로 선택하여 트리 기반 네트워크를 구성한다. 부모가 결정되면 각 노드는 부모의 정보를 광고 메시지에 포함하여 전송하기 때문에 광고 메시지를 분석하여 주위 노드들 중에 어느 노드가 자식 노드인지 또는 부모 노드인지 구분할 수 있다. 테이블 구성은 해당 노드의 부모가 결정이 되면 시작한다.

단계 3에서 비트열 테이블에 주소 등록은 주소 번호를 'N_i'이라고 했을 때 비트열 테이블의 'N_i'번째 비트를 '1'로 세팅한다. 'N/8'의 크기를 가질 수 없는 비트열 테이블은 식 (2)를 이용하여 중복 저장할 수 있게 한다. 'R'은 주소가 저장될 비트의 위치이고 'BAT_{size}'는 비트열기반 경로설정 테이블의 크기이다. 노드의 주소가 'N_i'일 때 식 (2)는 다음과 같다.

$$R = N_i \bmod BAT_{size}. \tag{2}$$

만약 테이블의 크기가 8비트이며 20개의 노드가 네트워크가 구성이 되면 첫 번째 비트에 1번, 9번, 17번의 노드의 정보가 저장된다. 한 개의 비트에 최대 3개 노드의 주소가 중복 저장될 수 있다. 센서 노드의 메모리 공간이 부족하여 테이블의 크기가 작을 수록 하나의 비트에 중복되는 노드 정보가 많아지고 역방향 통신에서 발생하는 메시지 수는 많아지게 된다. 보통 모니터링 시스템에서 사용되는 소규모의 무선 센서 네트워크에서는 256개 이하의 노드를 사용하기 때문에 32바이트의 메모리 공간으로 모든 주소를 표현할 수 있다. 또한 TelosB 모드는 10KB의 데이터 메모리 공간을 가지고 있으며 16비트 주소를 모두 저장하였을 때 8KB의 공간이 필요함으로 충분히 메모리에 저장할 수 있다.

단계 4는, 즉 싱크 노드와 자신의 경로에 포함되는 모든 선조 노드들에게 주소 등록 요청 메시지를



<그림 1> 트리기반 경로설정
<Fig. 1> Tree-based routing

전달한다는 것이다. 단계 5가 완료되면 싱크 노드는 네트워크에 소속되어 있는 모든 노드들의 주소를 비트열 테이블에 등록하게 된다.

<그림 1>은 노드가 임의로 구성되어 있는 네트워크의 예를 나타내고 있다. 리프(leaf) 노드를 제외한 각 노드의 비트열 테이블은 <표 1>과 같다.

노드의 번호는 0번에서 20번까지 존재하기 때문에 싱크노드를 제외한 20개의 비트, 즉 3바이트의 공간이 있으면 역방향을 위한 비트열기반 경로설정 테이블 구성이 가능하다. <표 1>에서 각 노드의 비트열 테이블에는 자신과 자손 노드의 주소를 가리키는 비트가 '1'로 세팅 되어 있다. 비트열 테이블의 정보로 몇 번 노드가 자식 노드인지 구분할 수 없지만 자손의 정보를 알 수 있기 때문에 하위 노드에 목적지 노드가 포함되어 있는지 알 수 있다.

<표 1> <그림 1>에서 각 노드의 비트열 테이블
<Table 1> A bitarray-based routing table of each node in <Fig. 1>

노드 번호	테이블 값(2진수)
0	11111111 11111111 1111
1	10001000 11110000 1100
8	01000101 00011000 0110
15	00100010 00000110 0001
5	00001000 01100001 1000
2	01000100 00011000 0110
14	00000010 00000100 0001
10	00000000 01000001 1000
6	00000100 00000000 0110
16	00000000 00000001 1000

비트열 테이블을 이용하여 역방향 통신을 하려면 싱크 노드와 1홉 거리에 있는 각 노드가 해당 메시지를 받고 목적지 주소를 비트열 테이블에서 검색한다. 검색이후 목적지 주소가 존재하면 주위의 노드들에게 해당 메시지를 전달하고 존재하지 않으면 메시지를 무시한다. 각 노드는 경로설정 메시지를 제외한 나머지 메시지들에서 부모 노드에게 온 메시지만 받아 처리하고 다른 형제 노드이나 자식 노드에게 온 메시지는 무시한다.

3. 테이블 유지

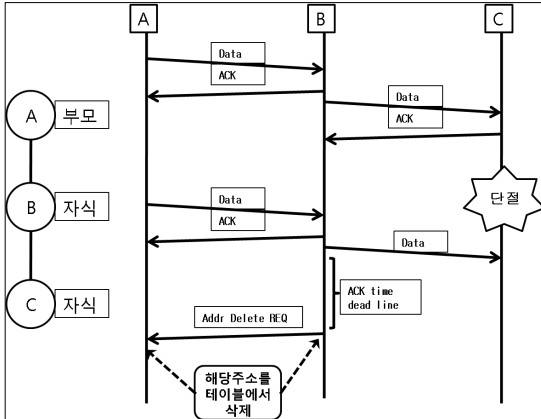
무선 센서 네트워크는 네트워크가 구성된 이후 노드가 삭제 또는 추가되는 상황에도 네트워크의 자가 구성이 가능해야 한다.

1) 노드 추가 및 삭제

노드가 추가 된 경우는 경로설정 테이블에 해당 노드의 주소 비트를 '1'로 설정한다. 그리고 부모에게 해당 주소의 추가를 알린다.

단절된 노드를 파악하기 위해서는 각 노드는 자식 노드들을 포함하는 이웃 노드들의 정보를 비트열 테이블에 저장하고 주기적으로 이웃 노드들과의 단절 여부를 확인해야 한다. 그러나 트리기반 경로설정 네트워크에서는 자식 수의 제한이 없어 이웃 노드들의 정보를 저장하기 위한 비트열 테이블의 크기를 예측할 수 없다. 그리고 비트열기반 경로설정 테이블에서는 자손들의 존재여부 외의 다른 네트워크의 구성정보를 알 수 없다. 그래서 노드의 통신단절 또는 이동이 일어나면 해당 노드로 메시지가 전달될 때 비트열 테이블을 갱신한다. <그림 2>는 노드가 단절되었을 때 비트열 테이블에서 삭제하는 과정의 예를 나타내고 있다. 노드 A, B, C가 체인 형태로 구성되어 있으며 A 노드가 최상위 노드이다. 정상적인 상태에서 데이터가 성공적으로 수신되면 ACK 메시지를 보내게 된다. 만약 C의 노드가 단절이 되면 선조 노드인 A, B는 자신의 비트열 테이블에서 해당 주소의 정보를 삭제해야 한다.

그래서 B 노드는 데이터 전송 후 일정 시간동안



<그림 2> 단절된 노드의 주소가 경로설정 테이블에서 삭제되는 과정의 예

<Fig. 2> A deleting process of a disconnected node from the bitarray-based routing table

ACK 메시지를 받지 못하면 C 노드가 단절이 되었다고 판단하고 자신의 비트열 테이블에서 C 노드의 주소를 삭제한다. 그 후 A 노드에게 주소 삭제 요청 메시지를 전송한다. ACK 메시지의 지연시간으로 인해 노드가 삭제되는 것을 방지하기 위해 일정 시간 동안 ACK 메시지를 받지 못하면 3회 재전송한다.

노드가 삭제되면, 삭제된 노드를 부모로 선택한 노드들은 다른 부모를 선택하게 되며 부모를 변경하게 되면 테이블을 초기화하고 새로 구성한다. 이로 인해 잦은 부모 변경은 많은 오버헤드를 발생시킬 수 있다. 이를 방지하기 위해 트리기반 경로설정 시 한번 부모를 선택하면 노드가 삭제되거나 비용이 크게 변하게 되는 경우만 부모를 변경하도록 한다.

2) 노드의 이동

노드가 이동하면 일부 노드의 경로설정 테이블에서 주소가 삭제되고 추가되는데 삭제는 바로 이루어지지 않기 때문에 목적지 노드에게 메시지가 전달되지 않는 동일 차수를 가지는 노드들은 중복된 주소를 가질 수 있다. 싱크 노드에서 이동한 노드에게 메시지가 전달될 때 중복된 주소를 가지는 노드가 존재하기 때문에 자식 노드들에게 확인 메시지를 2개 이상 받게 되는 노드가 발생하게 된다. 그 노드는 중복된 주소를 테이블에서 삭제하기 위해 확인 메시지

의 개수와 이동한 노드의 주소를 저장한다. 그리고 이동한 노드의 주소 삭제 요청 메시지를 받으면 그 개수와 확인 메시지의 개수를 비교하여 같으면 삭제한다.

IV. 성능평가

본 장에서는 제안된 기법의 성능을 시뮬레이션을 통하여 평가하고 TinyOS 1.1 버전에 구현하여 다른 기법과의 성능을 측정한다.

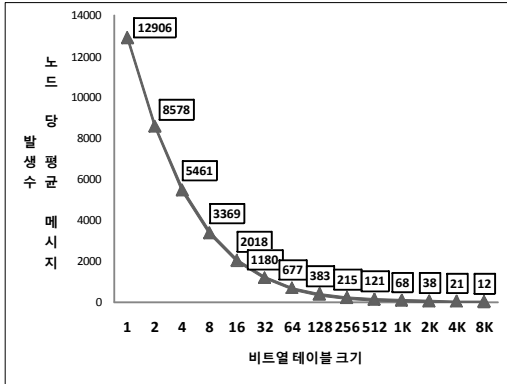
1. 시뮬레이션

성능평가를 위해 C언어를 이용하여 역방향 통신에 발생하는 메시지의 수를 시뮬레이션 하였다. 제안된 기법은 트리기반 네트워크에서만 적용할 수 있기 때문에 동일하게 트리기반 네트워크에서 적용할 수 있는 메시지에 경로정보를 포함하는 방법(CSR : Connected Source Routing) 과 성능을 비교하였다. 또한 네트워크의 규모와 비트 테이블의 크기에 따라 발생하는 메시지의 수를 측정하기에 시뮬레이션의 공간범위, 노드의 간격, 전파의 특성은 반영하지 않았다. 시뮬레이션 과정에서 네트워크에 소속된 노드들을 무작위로 선택하여 부모로 설정하고 네트워크를 구성한다. 시뮬레이션을 통해 생성된 트리의 규모는 <표 2>와 같다.

먼저 비트열기반 경로설정 테이블의 크기에 따라 발생하는 메시지의 수를 측정하였다. 비트열 테이블의 크기에 따라 싱크 노드에서 각 노드에게 메시지를 전송하였을 때 발생하는 평균 메시지의 수는 <그림 3>와 같다. 비트열기반 경로설정 테이블의 크기가 8KB일 때 노드 당 평균 약 12개의 메시지가 발생된다. 이는 네트워크의 평균레벨이 12이므로 각 노

<표 2> 구성된 네트워크 트리 규모
<Table 2> Parameters of a tree-based sensor network

최대레벨	31
평균레벨	12.09
최대차수	18
노드개수	65536



<그림 3> 비트열기반 비트열 테이블 크기에 따라 발생하는 평균 메시지 발생 수

<Fig. 3> An average number of messages which occur by the size of the bitarray-based routing table

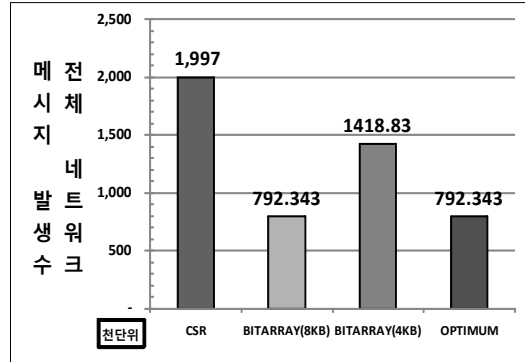
드 당 발생하는 최소 평균 메시지의 수와 동일하다. 테이블의 크기가 작을수록 비트 당 노드의 정보가 중복되게 저장되어 발생하는 메시지 수가 많다.

CSR은 해당 노드의 깊이가 ‘ d ’이고 메시지에 포함될 수 있는 최대 주소의 개수를 ‘ P_m ’이라고 하면 응답메시지를 제외 했을 때 메시지 전송에 발생하는 전달 메시지 수(FM)는 식 (3)과 같다. 여기서 모든 변수는 양의 정수이며 ‘ d/P_m ’의 결과값은 양의 정수를 가진다.

$$FM = \left(\sum_{M=0}^{d/P_m} M \times P_m \right) + d. \quad (3)$$

CSR은 데이터를 전송하기 이전에 경로정보가 담긴 메시지를 보내야 하며 메시지의 크기에 따라 경로설정 정보의 개수, 즉 주소 개수에 한계가 있다. ‘ P_m ’ 값이 ‘ d ’값보다 작게 되면 최소 2개 이상의 경로설정 메시지를 보내게 되며 이는 한 개의 데이터를 보내기 위해서는 여러 개의 경로설정 메시지가 필요하게 된다.

CSR 방법을 측정 시 ‘ P_m ’은 11로 설정하였다. 그 이유는 TinyOS에서 메시지에 저장할 수 있는 기본 데이터 페이로드(payload)의 크기는 28이며 CSR의 경로설정 메시지에 필요한 플래그가 1바이트, 발신 주소 크기가 2바이트, 목적지 주소 크기가 2바이트



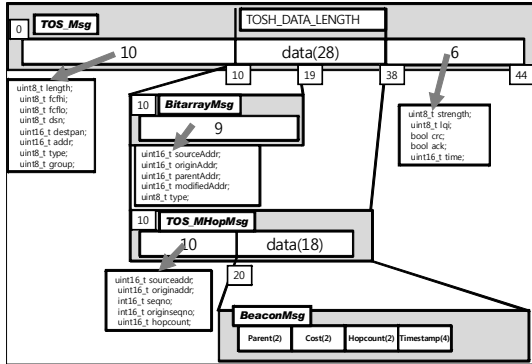
<그림 4> 각 방법별 전체 네트워크 메시지 발생 수
<Fig. 4> A number of messages on a network by each method

일 때 나머지 데이터 페이로드 크기는 23이기 때문이다. <그림 4>는 각 방법별로 싱크 노드가 1번에서 65536번 노드까지 각각 한 개의 메시지를 전송할 때 전체 네트워크에 발생하는 메시지의 수를 합한 것이다. 최적의 방법은 최소의 메시지가 발생하여 하며 이는 네트워크의 각 노드의 레벨 수의 총 합과 동일해야 한다. 즉 메시지가 전달될 노드는 트리기반 네트워크가 구성된 이후 해당 홉 수 만큼 전달 메시지가 발생해야 최소로 필요한 메시지가 된다. 비트열기반 경로설정 테이블을 이용한 방법은 최소로 소요되는 메시지 수와 동일하였고 발생하는 메시지 수가 CSR 방법보다 약 61.3% 적다. 그리고 각 비트 당 2개의 주소를 중복되게 저장하도록 허용하였을 때, 즉 4KB의 비트열 테이블을 가졌을 때 1418830 개의 메시지가 발생되며 CSR 방법보다 약 29.1% 효율적이다.

2. 구현 및 평가

구현에서는 TinyOS 1.1에서 트리기반 경로설정을 사용하는 LQIMultihopRouter 컴포넌트를 이용하였으며 본 논문에서 제안한 기법을 RBRRoute 컴포넌트에 구현 하였다. 실험 평가를 위해 플러딩 기법을 사용하는 BCast 컴포넌트를 이용하여 제안된 기법과 성능을 비교하였다.

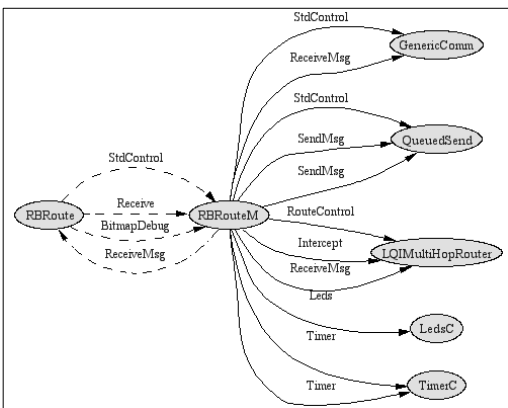
<그림 5>은 LQIMultihopRouter 컴포넌트와 RBRRoute에서 사용하는 TOS_MHopMsg, TOS_Msg, Bitar-



<그림 5> RBRoute 컴포넌트의 메시지 맵
 <Fig. 5> A message map of the RBRoute component

rayMsg, BeaconMsg의 구조를 나타내고 있다. 데이터를 전송할 때는 TOS_MHopMsg를 사용하며 역방향 경로설정 테이블을 유지할 때는 BitarrayMsg를 사용한다.

<그림 6>은 RBRoute의 컴포넌트 그래프를 나타내고 있다. RBRoute는 트리기반 경로설정을 이용하기 때문에 LQIMultiHopRouter 컴포넌트에서 처리되는 메시지를 이용하여 비트열 테이블을 갱신한다. LQI-MultiHopRouter는 50에서 110값을 갖는 LQI를 비용으로 사용하며 회선 품질의 작은 변화도 부모 선정에 반영한다. 그래서 비트열기반 경로설정 테이블의 유지에 많은 메시지가 발생하는 것을 방지하기 위해 실험에서는 해당 컴포넌트를 수정하여 LQI값이 기준값 이상에서는 한번 부모노드를 선택하면 변경하

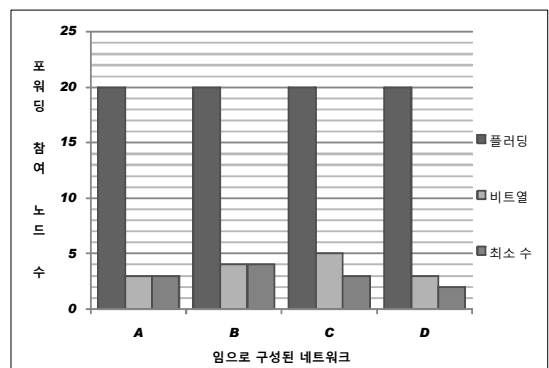


<그림 6> RBRoute 컴포넌트 그래프
 <Fig. 6> The RBRoute component graph

지 않도록 하였다. LQI값이 90이상에서는 95% 이상의 PRR을 기록하기 때문에 기준값을 90으로 선정하였다[13].

해당 실험에서는 TelosB 기반 플랫폼을 사용하는 Hybus사의 Hmote 17개와 Crossbow사의 MicaZ 4개를 노드로 사용하였다. 각 노드의 비트열기반 경로설정 테이블은 8바이트를 사용하여 각 비트가 중복된 정보를 가지지 않도록 하였다. 8m×8m 건물 공간에서 무선 센서 네트워크가 쉽게 멀티 홉으로 구성이 되도록 하기 위해 각 노드의 송신전력단계를 최대 단계인 31에서 3으로 낮추어 실험을 진행하였다. 노드들을 무작위로 배치하여 4개의 네트워크를 구성하였다.

구성이 완료되고 1시간 후 각 네트워크별로 하나의 노드를 선정하여 싱크 노드에서 메시지를 전송하였을 때 포워딩에 참여하는 노드의 수를 측정하였다. <그림 7>은 각 네트워크별로 포워딩에 참여한 노드의 수를 나타낸 것이다. 측정 결과 제안된 기법이 플러딩 기법보다 하나의 메시지를 보낼 때 포워딩에 참여한 노드의 수를 평균 약 75% 줄인다. 또한 최소로 필요한 포워딩 노드의 수와 비슷한 성능을 보여준다. 네트워크 'C'에서는 네트워크 구성에 필요한 회선 품질 비용이 변화하여 네트워크의 형태가 변경되었기 때문에 최소로 필요한 포워딩 노드의 수보다 많다. 이는 비트열기반 경로설정 테이블의 갱신이 주기적으로 이루어지지 않아 네트워크의 형태



<그림 7> 역방향 통신에서 각 방법별의 포워딩 노드 수
 <Fig. 7> A number of forwarding nodes in the reverse routing by each method

가 변경되었을 때, 삭제 노드가 테이블에 바로 반영이 되지 않고 메시지를 보낼 때 테이블이 갱신이 되기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 트리기반 경로설정에서 사용하는 광고 메시지를 이용하여 1차원 비트 배열을 가지는 경로설정 테이블을 구성하고 이를 이용하는 역방향 통신 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통한 실험 결과로 역방향 통신에서 전체 네트워크에 발생하는 메시지의 수가 제안한 기법이 CSR 방법보다 평균 약 61.3% 적었다. 그리고 TinyOS에 제안한 기법을 구현하여 실제로 트리기반 네트워크에 적용가능한지 알아보았다. 구현한 결과 제안한 기법이 역방향 통신에서 포워딩에 참여하는 노드의 수가 플러딩 방법보다 75% 적었다. 비트열기반 경로설정 테이블을 이용한 역방향 통신기법은 노드가 이동이 되거나 삭제가 되었을 때 최적 경로를 형성하는데 일정 시간이 소요되고 테이블 저장에 메모리 공간이 필요하다. 또한 노드의 삭제로 인해 부모 노드가 변경이 되면 테이블을 구성하는데 오버헤드가 발생한다. 그러나 네트워크가 안정이 되면 최적의 경로가 유지되는 시간이 길어지며 네트워크의 규모가 작을 경우 작은 메모리 공간으로 모든 주소를 저장할 수 있다. 본 논문에서 제안한 기법으로 일반 노드가 기지국을 대신하는 소규모 센서 네트워크에서 제어 또는 질의 메시지 전달에 발생하는 트래픽을 줄일 수 있고 그로 인해 메시지 전달에 소요되는 전력 소비를 감소시켜 전체 네트워크의 생존기간 연장을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] W. B. Henzleman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transaction on wireless communication*, vol.1, no. 4, pp. 660~670, Oct. 2002.
 [2] H. O. Tan and I. Korpeoglu, "Power efficient data

gathering and aggregation in wireless sensor networks," *SIGMOD Record*, vol. 32, no. 4, pp. 66~71, Dec. 2003.

- [3] Y. Yang, H. H. Wu and H. H. Chen, "SHORT: shortest hop routing tree for wireless sensor networks," *International Journal of Sensor Networks*, vol. 2, no. 5-6, pp. 368~374, 2007.
 [4] M. S. Pan, C. H. Tsai and Y. C. Tseng, "The orphan problem in zigbee wireless networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 8, no. 11, pp. 1573~1584, Nov. 2009.
 [5] 박종준, 정훈, 황소영, 주성순 "대규모 무선 센서 네트워크를 위한 계층적 클러스터 트리 기반 분산 주소 할당 기법," *한국통신학회 논문지*, 제34권, 제 12호, pp. 1514~1523, 2009. 12.
 [6] S. J. Hur, J. H. Kim, J. H. Choi and Y. W. Park, "An efficient addressing scheme and its routing algorithm for a large-scale wireless sensor network," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Article ID 765803, 2008.
 [7] Z. P. Liu, J. M. Kim, B. M. Lee and C. G. Kim, "A routing protocol based on adjacency matrix in ad hoc mobile networks," *International Conference on ALPIT'08*, pp. 430~436, Jul. 2008.
 [8] N. Li, Y. Guo, S. R. Zheng, C. Tian and J. Zheng, "A matrix-based fast calculation algorithm for estimating network capacity of MANETs," *ICW/ICHSN/ICMCS/SENET*, pp.407~412, Aug. 2005.
 [9] S. J. Jung, "A routing algorithm by broadcasting a bitmap in wireless sensor network," *Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 32, no. 5, pp. 459~468, 2006.
 [10] H. W. Choi and H. S. Kim, "Generalized bitmap routing protocol for wireless sensor network," *Information Science and Security*, pp. 147~152, 2008.
 [11] 안태원, 조인휘, "무선 센서네트워크에서 효율적인 양방향 라우팅 프로토콜," *한국정보과학회 학술발표논문집(D)*, pp. 46~48, 2006. 6.

- [12] 안태원, 조인휘, “무선 센서 네트워크를 위한 다
운링크 라우팅 알고리즘,” *한국통신학회 추계중
합학술발표회 논문초록집*, pp. 113, 2005. 11.
- [13] S. Lin, J. Zhang, L. Gu, T. He and J. A.

Stankovic. “ATPC: adaptive transmission power
control for wireless sensor networks,” *In
Proceedings of SenSys'06*, pp.223-236, Nov. 2006.

저자소개



김 선 환 (Kim, Seon-Hwan)

2009년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
2007년 3월 ~ 2009년 2월 : 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사
1998년 3월 ~ 2006년 2월 : 영남대학교 컴퓨터공학 공학사



이 명 섭 (Lee, Myung-Sub)

2008년 ~ 현재 : 영남이공대학 컴퓨터정보계열 교수
2003년 ~ 2008년 : 영남대학교 전자정보공학부 객원 교수
2000년 3월 ~ 2003년 8월 : 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학박사
1998년 3월 ~ 2000년 2월 : 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사
1994년 3월 ~ 1998년 2월 : 경일대학교 컴퓨터공학 공학사



김 중 군 (Kim, Chong-Gun)

1991년 ~ 현재 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
2003년 ~ 2004년 : 미국 UCSC 연구교수
1996년 ~ 1997년 : Virginia Tech 연구교수
1988년 4월 ~ 1991년 3월 : 일본 동경전기통신대학 공학박사
1985년 3월 ~ 1987년 2월 : 영남대학교 전자공학과 공학석사
1974년 3월 ~ 1981년 2월 : 영남대학교 전자공학과 공학사



박 창 현 (Park, Chang-Hyeon)

1993년 ~ 현재 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
1998년 ~ 1999년 : University of Maryland, Institute of Advanced Computer Systems, Visiting
Researcher
1992년 ~ 1993년 : 서울대학교 컴퓨터신기술공동연구소 특별연구원
1988년 3월 ~ 1992년 8월 : 서울대학교 계산통계학과 전산학전공 이학박사
1986년 3월 ~ 1988년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 전산학전공 이학석사
1982년 3월 ~ 1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사