무선 센서 네트워크에서의 비트맵 브로드캐스팅 라우팅 알고리즘

정회원 정 상 준*

A routing Algorithm by Broadcasting a Bitmap in Wireless Sensor Networks

Sangjoon Jung* *Reguler Member*

요 약

현재의 센서 네트워크에서의 라우팅은 센서 노드의 한정된 에너지를 고려하여 네트워크의 유지를 최대화하기 위한 방향으로 라우팅 경로를 설정하고 있다. 기존의 라우팅 알고리즘은 센서 노드의 한정된 자원과 이동성을 지원하기 위해 라우팅 테이블을 가지지 않고 라우팅이 이루어질 때마다 라우팅 경로를 찾아 주어진 경로로 라우팅을 수행하는 방법을 사용하고 있다. 센서 네트워크에서 베이스 스테이션 기능을 가지는 싱크 노드는 이동성을 보장 받지만 센서 노드 자체는 비이동성을 가정하는 경우가 일반적이다. 따라서 한정된 자원 내에서 라우팅을 수행하도록 라우팅 테이블의 크기를 최소화하는 방안이 제시된다면 새로운 라우팅 기법을 고려해 볼 수 있다. 본 논문은 라우팅 테이블의 크기를 최소화하는 방법으로, 비트맵을 구성하여 라우팅을 수행하는 새로운 라우팅 알고리즘을 제안한다. 각 노드는 이웃 노드와의 연결 정보를 비트로 표현하여 비트맵을 구성하는데, 전송에 필요로 하는 에너지를 최소화 하도록 이웃 노드에게 단 한번의 브로드캐스트를 수행한다. 그 결과, 모든 노드의 전체 네트워크의 링크 정보를 가지는 것이 아니라 부분적인 링크 정보를 가지게 된다. 링크 정보는 싱크 노드에 의해 만들어지므로, 부분적인 네트워크 연결 정보이지만 각 노드는 싱크 노드로 보고될 경로를 가질 수 있게 된다. 단 한번의 브로드캐스트이므로 메시지 전송 횟수를 최소할 수 있다. 즉, 센서 노드에서 메시지를 전송할 때 가장 많은 에너지를 소모하게 되는데, 경로 설정에 필요한 에너지를 줄이는 것은 노드가 가지는 한정된 에너지의 소모를 줄일 수 있게 되어 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있다는 것을 의미한다. 제안하는 라우팅 알고리즘은 기존의 라우팅 알고리즘에 비해 10% 정도의 메시지 전송 횟수를 줄일 수 있다.

Key Words : Ubiquitous computing, Sensor networks, Routing Algorithms, Bitmap broadcasting

ABSTRACT

Current routing in sensor networks focuses on finding methods for energy-efficient route setup and reliable relaying of data from the sensors to the sink so that the lifetime of the network is maximized. The existing routing protocols do not have routing tables to determine a path when packets are transferred. A sensor network by a routing table increases a cost of maintaining and updating a path, because sensor nodes have characteristics to be mobile and constrained capacity and resources. This paper proposes a new routing algorithm by broadcasting a bitmap in order to reduce the number of messages transferred when routing paths are established.

* 경일대학교 컴퓨터공학부 (sjjung@kiu.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-10-414, 접수일자 : 2005년 10월 14일, 최종논문접수일자 : 2006년 5월 2일

Each node has a routing table with a bitmap, which contains link information. A bitmap is formed two-dimensional array, which consists of each row and column represented with a bit. The node only updates its own bitmap if it receives a bitmap from another adjacent nodes after the broadcasting. There by, each node has a bitmap with partial links information not total links information on the network. The proposed routing algorithm reduces the number of messages for routing establishment at least 10% compared with the previous algorithms.

Ⅰ. 서 론

센서 네트워크는 관심 지역을 감지하도록 작은 센서를 배치하여 구성한다. 센서는 연산 및 무선 통신 기능을 가지고 있으며, 주변의 감시를 통해 얻어진 정보를 베이스 스테이션인 싱크 노드에 보고하는 기능을 가진다.[1-4] 베이스 스테이션은 라우팅 경로를 설정하는 쿼리를 발송하는 기능을 가지고, 설정된 경로를 통해 전송되어 온 정보를 수집하는 기능을 가진다. 기존 통신 인프라가 없는 무선 센서 네트워크는 센서 노드의 제한된 전원 공급, 제한된 프로세싱 능력, 한정된 메모리 등의 특성을 가지고 있다. 따라서 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 에너지 소비를 효율적으로 줄이면서 라우팅을 수행하는 방향으로 제시되고 있다[5-8].

최근에 제안되고 있는 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 데이터 중심적 특성을 고려하여 전역 IP 주소를 가지지 않도록 설계하고, 감지 태스크를 싱크 노드에게 보고할 수 있도록 경로를 설정하고 있다.[5-7] 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 일반적으로 데이터-중심적 프로토콜(Data-centric protocol), 계층적 프로토콜(Hierarchical protocol), 지역 기반 프로토콜(Location based protocol)의 범주로 분류된다.[9-14] 싱크 노드에서 특정 속성(Attribute)을 보고하도록 센서 노드에게 쿼리를 발송함으로써 라우팅 경로가 설정되는데, 제한된 에너지를 가지는 센서 노드에서의 에너지 소비를 네트워크 전체로 분산시켜 전체적 네트워크의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되고 있다. 대부부분의 라우팅 프로토콜은 통신 인프라가 없는 네트워크에서의 노드 배치를 고려하여 라우팅 경로를 유지하기 위한 부하를 줄이는 방향으로 제시하고 있다.

센서 네트워크에서 센서 노드의 배치가 완료되면 이 노드들은 비이동성을 가정한다. 반면, 싱크 노드 또는 센서 영역의 클러스터 헤드는 이동성을 필요로 하는 경우가 많다.[5-7] 따라서 노드의 이동성 지원 보다는 센서 노드의 연산 능력과 제한된 에너지를 고려하는 방향으로 라우팅 프로토콜을 제시할 수 있다. 센서 필드에서 부분적인 클러스터를 구성하여 클러스터 내에서 클러스터 헤드를 선발하고, 해당 클러스터의 센서 노드들이 헤드에게 보고하여, 클러스트 헤더가 라우팅 테이블을 유지하는 기법이 제시 되었다.[8, 9] 따라서 모든 센서 노드의 한정된 프로세서 자원 내에서 효과적으로 연산할 수 있도록 라우팅 테이블의 크기를 줄인다면 센서 네트워크에서 라우팅 프로토콜의 새로운 접근 방법으로 고려될 수 있다. 왜냐하면, 센서 노드는 한정된 에너지를 가지고 있기 때문에, 메시지를 발송할 때 에너지를 가장 많이 필요로 하고, 프로세싱에 필요한 에너지는 메시지를 수신할 때 필요로 하는 에너지보다 더 적은 양을 필요로 하기 때문이다.[16] 본 논문에서는 이웃 노드와의 연결 정보를 0 또는 1로 표현하는 비트맵을 가지도록 하고, 이를 브로드캐스트하는 새로운 라우팅 알고리즘을 제안한다. 비트맵 정보는 2차원 배열로 이루어지는데, 각 행과 열을 이웃 노드로 표현하고, 행과 열의 교차점을 연결 여부로 0 또는 1로 표현하도록 한다. 각 노드는 브로드캐스팅이 이루어진 이후에는 다른 노드로부터 브로드캐스팅 되는 비트맵을 갱신만 하도록 하여, 메시지의 전송 횟수를 제한한다. 그 결과, 다른 노드들과의 비트맵 정보는 다를 수 있지만, 모든 노드들이 싱크 노드로 향하는 라우팅 경로를 가지며, 주 경로가 끊어질 경우 대체 경로를 쉽게 찾을 수 있다. 제안하는 라우팅 알고리즘은 라우팅 경로가 필요할 경우 기존의 데이터 중심적 프로토콜의 Interest와 비트맵 정보를 함께 전송하여 경로 정보에 대한 라우팅 테이블을 가지도록 한다. 본 논문의 제시된 알고리즘을 이용할 경우 라우팅 경로를 설정할 때 필요한 메시지의 전송 횟수를 기존의 라우팅 알고리즘에 비해 10% 정도 줄일 수 있다.

Ⅱ. 관련 연구

센서 노드에서 싱크 노드로의 라우팅 경로를 설정하는 많은 연구들이 있었다. 기존의 라우팅 알고리즘은 대부분 데이터 중심적 프로토콜, 계층적 프로토콜, 지역 기반 프로토콜 등으로 분류할 수 있다.[5, 9] 본 연구에서는 이러한 분류 내에서 간략하게

라우팅 프로토콜을 살펴본다.

2.1 데이터 중심적 프로토콜(Data-centric protocols)

센서 네트워크에서의 많은 응용들은 IP 프로토콜과 같은 전역 식별자를 요구하지 않는다. 전역 주소의 할당이 필요하지 않으므로 기존의 라우팅과 같은 방법으로 라우팅을 수행하는 것이 힘들고, 더욱이 센서 노드의 임의 배치로 말미암아 새로운 라우팅 알고리즘이 대두되었다. 이러한 요구사항이 데이터 중심적 라우팅 프로토콜로 충족되는데, 이것은 기존의 전역 주소를 가지는 노드와는 다른 방법이다.[5-9] 데이터 중심적 프로토콜은 싱크 노드가 특정 지역 또는 특정 속성(Attribute)을 필요로 할 경우 질의(Query)를 발송함으로써 특정 위치의 노드로부터 싱크 노드까지 경로가 설정된다. 이 때의 질의를 Interest라 한다. 싱크 노드는 특정 속성을 데이터에 명명하여 Interest를 발송하고, Interest에 응답하는 경로가 라우팅 경로로 유지되어 데이터의 전달이 이루어진다.[5, 10]

Directed Diffusion[11, 12]은 데이터에 질의를 명명하는 방법을 사용하는 대표적인 라우팅 프로토콜이다. 싱크 노드가 명명된 데이터에 대한 Interest를 각 노드에게 발송하고, 각 노드는 명명된 속성이 존재하는가를 살펴본 후 속성이 존재하지 않을 경우 이웃 노드에게 재발송하는 과정을 가진다. 이 때 만들어진 경로는 경사(Gradient)로 캐쉬에 저장되고, 명명된 속성이 일치하는 노드는 저장된 경사 경로에 의해 싱크 노드에게 보고한다. 동일한 Interest가 여러 개의 노드로부터 얻어질 경우에는 중복 경로를 가지게 되어 중복된 이벤트를 전달하게 된다. 초기 Interest는 전달 간격을 크게 하여 노드에게 전달되고, 싱크 노드가 이벤트를 받게 되면 전달 간격을 좁혀 데이터를 수신하게 된다.[11, 12]

Directed Diffusion 프로토콜은 전역 주소를 가지지 않는 대표적인 라우팅 알고리즘이며, 이 알고리즘을 이용하는 각 노드는 데이터의 확산, 수집, 감지 등을 수행할 수 있다. 그러나 이 프로토콜은 질의에 의한 응답을 필요로 하는 네트워크에서는 적절하지만, 주기적인 보고, 감시 등을 수행하는 센서 네트워크의 응용에서는 적절하지 않다는 단점을 가진다.

2.2 계층적 프로토콜(Hierarchical protocols)

특정 응용에 대해 싱크 노드가 데이터를 수신할 때 인접한 노드는 유사한 정보를 중복하여 전달한다. 이에 따른 불필요한 에너지가 소요되고, 게이트웨이에 해당하는 노드들에게 부하가 과중된다. 이런 단점을 극복하기 위해 클러스터링에 기반한 계층적 라우팅 프로토콜이 제시되었다.[5, 12] 즉 센서 영역에서 부분적인 클러스터를 형성하여 클러스터 헤더를 선출하고 동일한 클러스터 내 정보를 클러스터 헤더가 관리함으로써 중복 메시지의 전달을 최소화하고 메시지 전송 횟수를 줄인다. 계층적 프로토콜의 대표적인 프로토콜이 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)이다.[13] LEACH 프로토콜은 지역적인 클러스터를 형성하여 인접한 지역에서 발생한 사건에 대한 유사한 정보를 클러스터 헤드로 전송하고 클러스터 헤더가 데이터를 수집하여 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 한다. 요청된 질의를 클러스터 헤더에 전달하여 비효율적인 질의의 플러딩을 막을 수 있다. 부하를 과중하게 하는 클러스터 헤더를 임의로 변경하여 동적인 클러스터를 구성할 수 있도록 하여 네트워크 내에서의 노드 수명을 연장한다.[13] 하지만 동적인 클러스터를 구성할 때 필요한 클러스터 헤더 변경과 헤더 선출 후의 각 노드에 대한 광고는 불필요한 에너지 소비하는 단점을 가진다. Subrammanian과 Katz[14]는 계층적 프로토콜로 분류할 수 있는 자가-조직(Self-Organizing) 프로토콜을 설계하였는데, 이 프로토콜은 클러스터 내에서 각 노드가 라우팅 테이블을 가지도록 하여 클러스터 헤더의 변경에 따르는 헤더 광고 등의 불필요한 메시지를 줄이고자 하였다.

2.3 지역 기반 프로토콜(Location-based protocols)

기존의 센서 네트워크는 전역 주소와 각 지역에 대한 정보를 가지지 않는 라우팅 프로토콜인데 반해, 지역 기반 프로토콜은 지역 정보를 가진다. 이 프로토콜은 라우팅 경로 설정과 감지된 데이터를 보고하기 위해 이웃 노드와의 거리를 계산한다. 감지될 지역 정보를 알게 되면 센서 노드의 위치를 파악하여 특정 지역에만 질의를 발송함으로써 불필요한 라우팅 설정 메시지 전송을 최소화할 수 있다. GEAR(Geographic and Energy Aware Routing) 프로토콜은 지역 정보를 사용하여 라우팅 경로를 설정하는 대표적인 지역 기반 프로토콜이다.[15] 센서 노드들이 배치된 영역을 지역적으로 구분하고, 필요로 하는 영역 내의 노드에게 데이터를 수집하도록 질의를 발송하는 개념이다.[15] 각 노드는 이웃 노드

와의 거리를 계산하여 추정 비용을 저장하고 질의에 의한 응답을 수행한다. 지역에 기반한 이 라우팅 프로토콜은 데이터 플러딩에 비해서 대단히 효과적이지만, 노드의 이동성 가지는 네트워크에서는 적절하지 못하다는 단점을 가진다. 또한 지역 위치를 인식하는 장치가 추가되어 노드의 부가적인 에너지를 소비한다.

Ⅲ. 비트맵을 사용하는 라우팅 알고리즘

라우팅 경로를 설정하기 위해 전송되는 메시지 수를 줄이는 것이 제한된 에너지를 효율적으로 사용하는 가장 좋은 방법이다. 따라서 본 논문에서는 라우팅 경로를 설정하기 위한 메시지 전송 횟수를 줄이기 위해 싱크 노드에서 감지 작업(Sensing tasks)에 대한 질의를 발송할 때, 비트맵 정보를 함께 발송하여, 경로 설정 메시지를 줄이는 방법을 제안한다. 센서 노드는 한정된 에너지를 가지고 있기 때문에, 메시지를 발송할 때 에너지를 가장 많이 필요로 하고, 프로세싱에 필요한 에너지는 메시지를 수신할 때 필요로 하는 에너지보다 더 적은 양을 필요로 하기 때문이다. 센서 네트워크와 같은 한정된 노드의 용량을 고려하여 비트맵으로 라우팅 테이블을 표현하고, 전송되는 메시지 수를 줄이기 위해, 라우팅 테이블을 단 한번의 전송으로 구성한다. 3장에서는 라우팅 테이블의 크기를 줄이는 비트맵 표시 방법과, 라우팅 테이블의 갱신 절차를 서술한다.

3.1 비트맵 테이블

센서 네트워크에서 필요한 라우팅 테이블을 구성하기 위해 센서 노드는 식별자를 가져야 한다. 노드 식별자 정보를 이용하여 노드와 노드 사이의 연결 정보를 비트로 표시할 수 있다. 노드의 식별자는 IP-기반의 네트워크와 같이 전역 주소를 가질 필요는 없고, 센서 영역에서 유일하게 식별되는 역할을 수행하면 된다. 각 노드는 비트맵을 저장할 수 있는 메모리를 가진다. 이 비트맵은 이웃 노드와의 연결 유무에 따라 0 또는 1로 표현되는 비트로 구성된다. 다음의 식 (1)은 노드가 가지는 비트맵의 구조를 보인다.

$$map[i][j]=\begin{bmatrix} id & id & \cdots & id \\ id & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ id & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서, map[0][0]는 노드 자신의 식별자를 의미한다. 노드 i와 j의 교차점은 링크의 존재 여부에 따라, 존재하면 1, 존재하지 않으면 0으로 표시된다. 싱크 노드에서 시작된 Interest의 점화로 각 노드는 라우팅 테이블을 전달하는데, 전달 받은 비트맵은 단 한번의 브로드캐스트로 이웃 노드들에게 전달한다. 이 노드가 브로드캐스트를 수행한 후 이웃 노드들로부터 동일한 Interest를 받게 되면, 이웃 노드의 식별자를 판별하여 자신의 비트맵의 행과 열을 갱신한다.

3.2 브로드캐스팅 라우팅 알고리즘

노드 내에서 비트맵을 구성하기 위해서는 싱크 노드가 이웃의 모든 노드에게 질의를 발송한다. 질의를 받은 노드는 질의의 내용을 살펴보고 질의가 일치하는 감지 작업이 없는 경우, 라우팅 갱신 알고리즘을 실행한 후, 이웃 노드에게 질의와 비트맵을 브로드캐스트한다. 이 작업은 질의가 일치하는 노드가 발견될 때까지 계속 수행된다. 다음 절에서 전송되는 비트맵과 질의의 구조, 라우팅 갱신 알고리즘, 비트맵 전달 과정을 살펴본다.

3.2.1 전송 메시지

싱크 노드는 다중 경로를 찾기 위해 각 노드에게 질의를 보낸다. 해당 응용에 포함되는 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 Interest로 표현된다. Interest는 싱크 노드에서 시작되어 네트워크 전체로 유포되고, 데이터 요청에 부합되는 질의를 각 노드가 확산한다. 이 때, 각 노드는 Interest와 함께 비트맵 정보를 함께 포함한다. 다음은 싱크 노드에서 발송되는 Interest이다.

질의를 받은 각 노드는 Interest를 검사하여 자신이 응용을 처리할 수 있는가를 판단하고, 그 노드가 응용을 처리할 수 없다면 이웃 노드에게 Interest와 비트맵을 브로드캐스트한다. 각 노드에서는 한 번의 브로드캐스트가 이루어진다. Interest를 발송한 후, 다른 이웃 노드에게 동일한 Interest와 비트맵을 전달받으면, 비트맵 내의 노드 식별자를 검사하여 비트맵

표 1. 싱크 노드가 발송하는 Interest

```
type = four-legged animal     // 대상 태스크
interval = 20ms               // 데이터 전달 간격
duration = 10 seconds  // 데이터 전달 지속 시간
rect = [-100, 100, 200, 400] // 대상 영역
sink node id = 0x01  //1번 노드가 싱크
                          노드임을 선언
```

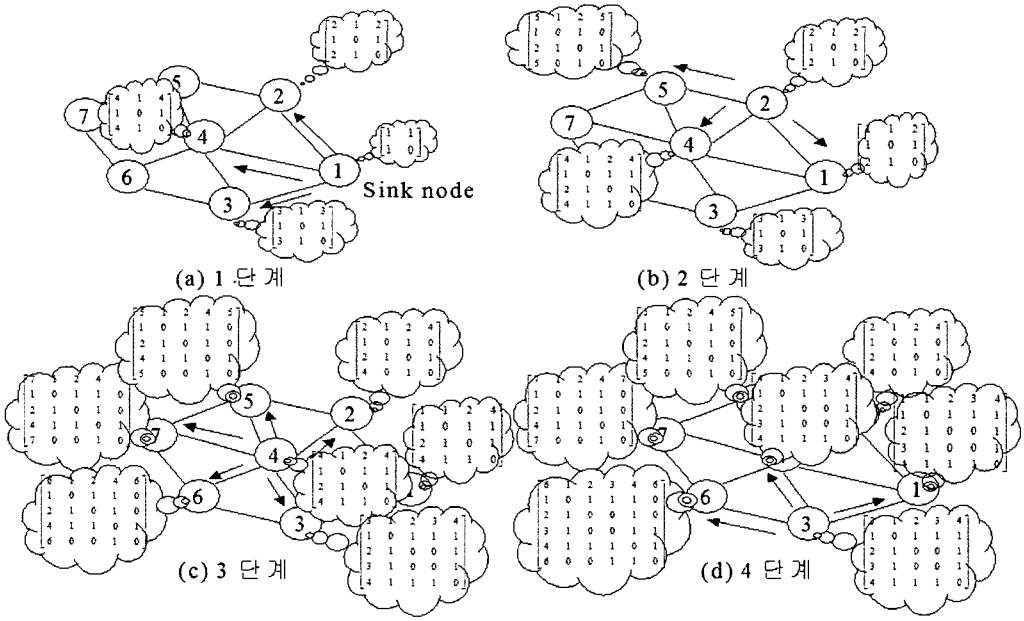


그림 1. 비트맵 전달 과정(1단계에서 4단계까지)

을 갱신한다. 이 확산은 센서 노드가 응용을 처리할 때까지 이루어지고, 이 과정에서 경유 노드들은 각각의 비트맵 정보를 유지한다. 각 비트맵은 네트워크의 전체 정보가 아니라 싱크 노드로부터 자신에게 오는 다중 경로를 포함하는 부분적인 네트워크 정보이다. 따라서 각 노드마다 비트맵은 차이를 가진다.

3.2.2 비트맵 갱신 알고리즘

비트맵 갱신 알고리즘은 각 노드가 Interest를 받은 후 응용을 처리할 수 없어 이웃 노드에게 브로드캐스트를 수행할 때 발생한다. 비트맵은 다음과 같이 구성된다.

- 단계 1 : 브로드캐스트된 Interest를 받으면 먼저 자신이 응용을 처리할 수 있는가를 판별한다. 처리할 수 없을 경우, 이웃 노드의 식별자를 자신의 비트맵 테이블에서 찾아 비트맵을 갱신한다.
- 단계 2 : 노드는 아래와 같이 비트맵 정보를 갱신한다.

```
if (수신된 노드의 식별자가 비트맵 내에
    존재하는가?)
  then
  { 수신된 비트맵과 자신의 비트맵을 노드의
    식별자가 일치하는 열끼리 OR 연산을 수행
    한다. }
  else
  { 1. 비트맵의 i 번째 행, 열 위치에 식별자를
       삽입한다.
    2. 자신의 식별자 행과 i 번째 열, 자신의
       식별자 열과 i 번째 행을 1로 표시한다.
  }
end if
```

- 단계 3 : 갱신이 완료된 후, 노드는 Interest와 비트맵 정보를 단 한번 브로드캐스트한다.
- 단계 4 : 브로드캐스트 수행 후, 이웃 노드에게 자신이 발송한 동일한 Interest를 받으면 단계 2와 같은 방법으로 비트맵 정보를 갱신한다.

3.2.3 비트맵 전달 과정

모든 노드는 Interest를 전달 받아 비트맵을 구성한 후 브로드 캐스트를 수행한다. 브로드캐스트는 단 한번 이루어지고, 브로드캐스트 수행 후 다른 노드로부터 동일한 Interest를 전달받으면 노드 식별자가 동일한 비트맵의 행과 열을 OR 연산을 수행한다. 그림 1은 브로드캐스트되는 비트맵의 전달 과정을 보인다.

각 노드에서 비트맵을 전달 받으면, 자신의 비트맵을 갱신하고 다음 노드에게 비트맵을 전달한다. 브로드캐스팅 이후에 이웃 노드에게 비트맵을 전달받으면 자신의 비트맵을 갱신한다. 비트맵의 전달 과정은 노드가 응용에 대한 응답을 수행할 때까지 반복된다. 모든 노드는 네트워크의 전체 토폴로지

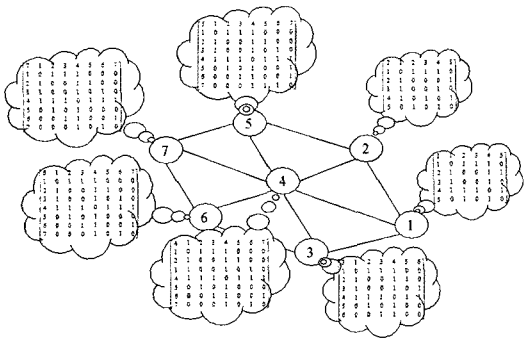


그림 2. Interest 전달이 끝난 상태의 비트맵

⑦	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	1	1	0	0	0
2	1	0	0	1	1	0	0
3	1	0	0	1	0	1	0
4	1	1	1	0	1	1	1
5	0	1	0	1	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0	1
⑦	0	0	0	①	0	①	0

(a) 7번 노드에서의 비트맵

④	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	1	1	0	0	0
2	1	0	0	1	1	0	0
3	1	0	0	1	0	1	0
4	①	1	1	0	1	1	1
5	0	1	0	1	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0	1
7	0	0	0	1	0	1	0

(b) 4번 노드에서의 비트맵

그림 3. BFS 알고리즘에 의한 싱크 노드 탐색 과정

정보를 가지는 것이 아니라 부분적인 토폴로지를 가진다. 왜냐하면, 비트맵 동기화를 위한 메시지를 보내기 않기 때문이다. 그림 2는 모든 노드가 단 한 번의 브로드캐스트를 수행한 후 비트맵 테이블을 가진 결과이다.

Interest 전달이 완료되면, 모든 노드들은 비트맵 테이블을 유지하게 된다. 최종 목적지의 노드는 Interest 내의 싱크 노드 정보를 보고, 자신이 감지한 응용의 결과를 싱크 노드에게 전달할 수 있다. 각 노드는 그림 4에서 보는 바와 같이 비트맵 내에 전체 노드의 정보와 노드들 간의 경로 정보를 가지게 되어, 너비 우선 탐색(BFS) 알고리즘을 이용할 수 있다. 이 알고리즘을 이용하여 라우팅 경로는 이웃 노드들 중에서 최종 목적지 노드가 가장 먼저 발견되는 경로로 선택된다. 그림 3은 이 알고리즘에 의한 경로 탐색 과정을 보인다.

7번 노드가 감지 작업을 보고해야할 싱크 노드가 1번 노드일 때, 1번 노드로 갈 수 있는 최단 경로를 찾아보면 4번과 6번 노드가 존재한다는 것을 알 수 있다. 최단 경로는 BFS 알고리즘에 의해 탐색이 이루어져 가장 먼저 발견되는 이웃 노드 간의 경로이다. 4번 노드에서 1번 싱크 노드를 찾을 수 있기 때문에, 7번 노드에서 감지 작업은 4번 노드로 발송한다. 4번 노드와 6번 노드 모두 1번 노드로 가는 경로를 가지고 있으며, BFS 알고리즘을 이용하면 4번 노드가 먼저 탐색된다. 동일한 과정을 수행하면, 4번 노드는 1번 노드로 가는 경로를 찾을 수 있고, 감지 작업을 1번 노드에게 보고하게 된다. 이 알고리즘을 이용하면 노드 연결이 끊어지거나 대상을 찾을 수 없을 때 쉽게 대체 경로를 찾을 수 있다.

3.3 비트맵 테이블의 크기

센서 네트워크에서의 센서 노드는 한정된 자원을 사용하기 때문에, 비트맵의 크기를 줄이는 것은 최대의 과제이다. 앞에서 언급한 비트맵 테이블의 크기를 줄이기 위해 노드 테이블과 링크 테이블로 구성할 수 있다. 그림 4는 비트맵 크기를 줄이기 위한 방법으로 노드 테이블과 링크 테이블로 분리하여 저장하는 구조를 보인다.

각 노드는 이웃 노드의 식별자를 저장하는 노드 테이블을 가지고, 이 노드 테이블의 i 번째 인덱스와 j 번째 인덱스를 링크 테이블에서 노드 식별자로 사용한다. 그러면 i 번째 노드와 j 번째 노드의 링크 정보를 링크 테이블에 0 또는 1로 표현한다.

노드 식별자의 크기를 1바이트로 설정할 경우, 노드 테이블의 크기는 256bytes가 된다. 이 때의 링크 테이블의 크기는 8192bytes (65536bits =256bits *256bits)가 되며, 전체 비트맵의 크기는 8448bytes가 된다. 이 때, 상삼각행렬 또는 하삼각행렬을 이용하면 기억 공간을 절반으로 줄일 수 있으며, 실제 센서 노드에 라우팅 모듈을 설계할 때에는 이와 같은 방법으로 설계할 수 있다.

$$Node_ID[i] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & i & \cdots & n-1 \\ id_0 & id_1 & \cdots & id_i & \cdots & id_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$link[i][j] = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ \vdots \\ j \\ \vdots \\ n-1 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & \cdots & i & \cdots & n-1 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

그림 4. 비트맵의 크기를 줄이는 구조

3.4 감지 영역의 확장

센서 노드의 수가 많아지게 되면, 라우팅 테이블을 비트로 표현하더라도 각 노드의 비트맵은 필수적으로 커진다. 그러므로 넓은 범위의 센서 영역을 대상으로 라우팅 테이블을 가지는 라우팅 알고리즘을 적용하기 쉽지 않다. 따라서 비트맵 테이블의 크기가 일정 수준으로 유지되도록 해야 한다. 그러기 위해서는 각 노드에서 비트맵을 구성할 때, 비트맵

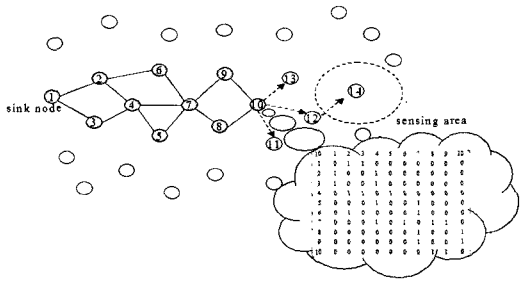


그림 5. 노드 식별자를 n개 포함하는 노드가 이웃 노드로 전달하는 과정

표 2. 10번 노드가 발송하는 Interest

```
type = four-legged animal
interval = 20ms
duration = 10 seconds
rect = [-100, 100, 200, 400]
sink node id = 0x0A  //10번 노드가 싱크
                     노드임을 선언
```

에 포함되는 노드의 개수를 n개로 제한한다. 비트맵의 노드 수가 n개 이상이 될 경우 다음 노드로 전달하는 Interest의 싱크 노드를 자신의 식별자로 변경한다. 이 때 비트맵 테이블 전체를 이웃 노드에게 전달하는 것이 아니라 자신의 식별자, 그리고 변경된 Interest를 전달한다. 그러면 이 정보를 전달 받은 노드는 전달한 노드를 싱크 노드로 인식하고 비트맵을 다시 구성하게 된다. 그림 5는 $n*n$크기의 비트맵을 가지는 노드가 이웃 노드에게 Interest와 비트맵을 전달하는 과정이다. 센서 필드에서 전체 노드의 규모와 노드가 허용할 수 있는 자원의 크기에따라 n의 값은 가변적이다. 여기에서 n은 10으로 가정한다.

표 2는 $n*n$ 크기의 비트맵 테이블을 가진 노드가 발송하는 Interest이다.

노드 10은 $n*n$ 크기의 비트맵 테이블을 가지게 되면, 이웃 노드에게 자신의 전체 테이블을 전달하는 것이 아니라 자신의 식별자만 전달한다. 노드 11, 노드 12, 노드 13은 노드 10이 싱크 노드임을 간주하고, 이 노드들은 다시 비트맵을 구성하게 된다. 그 결과, 노드 14는 노드 10이 싱크 노드로 인식하고 감지 영역 내에 존재하는 데이터를 전달한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다른 알고리즘과 마찬가지로 Interest가 동일한 경우에 한해 이 비트맵 정보가 센서 노드에 존재하고, Interest가 다르면 즉시 비트맵을 재구성하도록 한다. 이렇게 함으로써 경로 유지를 위해 필요로 하는 노드의 추가, 삭제에 대한 오버헤드를 줄일 수 있다. 위와 같은 방법으로 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘을 사용하여 센서 영역을 확장할 수 있다.

Ⅳ. 분석 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 기존의 데이터 중심적 프로토콜인 Directed Diffusion과, 계층적 프로토콜인 LEACH와, 지역 기반 프로토콜인 GEAR과 비교해 본다. 라우팅 경로를 설정하기 위해 발생하는 메시지 수를 비교함으로써 라우팅 알고리즘의 효율성을 평가할 수 있다. 라우팅 경로를 설계할 때 필요한 메시지 수를 비교하는 것은 센서 노드의 에너지를 가장 많이 사용하는 경우가 메시지를 발송할 때이므로, 전송 메시지를 줄인다는 것은 노드의 수명을 늘인다는 것을 의미한다.

4.1 라우팅 경로 설정 메시지

라우팅 경로를 설정하는 과정에서 발생하는 메시지의 수는 센서 노드의 한정된 자원을 얼마나 효율적으로 사용하는가의 여부를 판단하는 중요한 근거이다. 라우팅 경로를 설정할 때 주고받는 메시지 수를 제한하고, 전체 메시지 수를 줄여야 센서 노드의 수명을 연장 할 수 있다. 아래 표 3은 기존의 라우팅 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘의 메시지 수를 보인다.

표 3에서, 본 논문이 제안하는 알고리즘은 각 노드에서 가지는 모든 링크로 라우팅 경로 설정 메시지를 한번만 전송하므로, 기존의 알고리즘에 비해 많은 수의 메시지를 줄일 수 있다. 위의 메시지에 대한 구체적인 결과 값을 얻기 위해 표 4와 같이 $n*n$개의 센서 노드를 가지는 센서 영역을 가정한다. 실제 센서 영역은 $n*n$개의 정방 행렬을 가지지 않지만, 정방 행렬을 이용할 경우 쉽게 결과를 유추할 수 있기 때문에, 정방 행렬을 이용하여 메시지를 비교한다.

표 3. 제안하는 라우팅 알고리즘과 기존 라우팅 알고리즘의 메시지 수 비교

	Directed Diffusion	LEACH	GEAR	제안하는 알고리즘
메시지 수	$\sum_{i=1}^{n} k_i + \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i}{2}$	$\sum_{u=1}^{n/c_u} k_u + \sum_{v=v+1}^{n/c_v} k_v + \cdots + \sum_{x=x+1}^{n/c_x} k_x + c$	$2\sum_{i=1}^{n/c_i} k_i + 1$	$\sum_{i=1}^{n} k_i$

n : 노드 수, ki : 노드 i 에서의 링크 수,
ci : 그룹 또는 지역의 수

표 4. $n*n$개의 센서 노드를 가지는 센서 영역

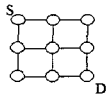
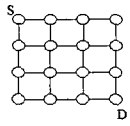
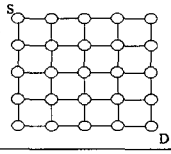
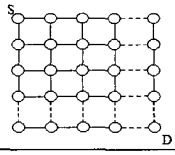
	2x2	3x3	4x4	5x5	n x n
토폴로지					
전체 노드 수	4	9	16	25	n^2
전체 링크 수	4	12	24	40	$2n(n-1)$
홉 수 (S→D)	2	4	6	8	$2n-2$
클러스터 수	0	3	4	7	$\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$

표 5. $n*n$개의 센서를 가지는 센서 영역에서의 각 알고리즘이 가지는 메시지 수

	Directed Diffusion	LEACH	GEAR	제안하는 알고리즘
송신 메시지 수	$n+n$	$n+\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$	$2n-2+n^2/\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$	n
수신 메시지 수	2*링크수 + n $= 4n(n-1)+n$	2*링크수+2*$\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$	$2\times n^2/\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$	2*링크수 $= 4n(n-1)$
전체 메시지 수	$4n(n-1)+3n$	$4n(n-1)+3\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2+n$	$2n-2+3n^2/\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$	$4n(n-1)+n$

표 4에서 클러스터의 구성은 클러스터의 구성은 클러스터 헤더를 선출한 뒤 2홉 이후에 클러스터 헤더를 선출하는 방법[17]을 이용한다. 위의 표를 바탕으로 각 토폴로지에서 얻을 수 있는 메시지 수를 기존의 알고리즘과 본 논문이 제안하는 알고리즘을 이용하여 계산하면 아래 표 5와 같다.

각 라우팅 알고리즘이 수행될 때의 경로 설정을 위한 메시지를 송신 메시지와 이를 이웃 노드가 받을 때 수신 메시지로 나누어 계산한다. 그 이유는 각 노드가 송신할 때 필요로 하는 에너지와 수신할 때 필요로 하는 에너지가 현저한 차이를 보이기 때문이다. 라우팅 경로를 확보하기 위해 각 노드가 송신하는 메시지 수는 노드 수와 동일하다.

송신할 때 필요한 메시지인 경우, Directed Diffusion, LEACH 알고리즘은 이 메시지 수에 경로 설정 응답 메시지를 더함으로써 전체 메시지 수를 얻을 수 있다. GEAR 알고리즘에서는 특정 영역으로 전송하기 때문에 특정 영역까지의 홉 수만큼의 메시지 수를 필요로 한다.

수신 메시지는 각 노드의 링크 개수를 모두 더하면 얻을 수 있는데, 전체 링크 수가 $2n(n-1)$개 이므로 양방향 전송을 고려하여 $4n(n-1)$개의 수신 메시지 수를 얻을 수 있다. Directed Diffusion에서는 라우팅 경로 설정에 응답할 때 요구되는 메시지 즉, 강화에 필요한 메시지는 유니캐스트 통신을 수행함으로 n개의 수신 메시지가 추가된다. LEACH 알고리즘은 각 클러스터 간의 통신을 필요로 함으로 $\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$ 만큼의 메시지 수가 추가된다. GEAR 알고리즘은 수신 메시지 수가 특정 영역에서 이루어지므로 특정 영역 내에서의 노드 개수와 동일하다. 다만, 양방향 통신이므로 $2\times n^2/\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil^2$가 된다. 전체 메시지 수는 송신 메시지 수와 수신 메시지 수를 더해서 구한다. 여기에서 Directed Diffusion 알고리즘과 본 논문이 제안하는 알고리즘의 메시지 수를 실체적으로 비교하기 위해 표 6과 같이 각 토폴로지에서의 메시지 수를 비교한다.

브로드캐스팅되는 메시지 수를 비교하면, 본 논문이 제안하는 라우팅 알고리즘이 데이터 중심적 프로토콜인 Directed Diffusion에 비해 25개의 센서를 가지는 센서 영역에서 10%이상의 메시지를 줄

표 6. Directed Diffusion 알고리즘과의 각 토폴로지에서의 메시지 수 비교

	2x2	3x3	4x4	5x5	n x n
Directed Diffusion	14	33	60	95	$4n(n-1)+3n$
제안하는 알고리즘	10	27	52	85	$4n(n-1)+n$
성능비교	0.28	0.18	0.13	0.11	$\frac{2n}{4n^2-n}$

이는 것을 확인할 수 있다. 계층적 프로토콜인 LEACH와 비교하면 클러스터 헤더에 보내는 메시지 수만큼 줄일 수 있다. 이 때, 클러스터 헤더의 변경으로 인한 메시지를 고려하면 더 많은 수의 메시지 수를 줄일 수 있다. 다만, 지역 기반 프로토콜인 GEAR은 특정 영역 내의 센서에게 메시지를 발송하기 때문에, 적은 수의 메시지를 가질 수 있다. 그러나 이 프로토콜은 지역의 위치 정보를 인식할 수 있는 장치가 추가되어야 하고, 장치의 추가는 노드의 부가적인 에너지 손실을 가져올 수 있다.

4.2 결과

본 논문에서 제안하는 비트맵을 이용하는 라우팅 알고리즘을 사용하면, 메시지의 전송 횟수를 줄여 한정된 자원을 사용하는 노드의 활동 시간을 연장할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은 라우팅 경로의 최적화를 위한 부가적인 메시지를 발송하지 않는다. 따라서 기존의 라우팅 알고리즘에 비해 한정된 자원을 효율적으로 사용함으로써 센서 노드의 수명을 연장하고, 대체 경로를 쉽게 찾을 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 센서 네트워크 라우팅 알고리즘과 달리 새로운 개념의 비트맵을 이용한 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 라우팅 경로를 설정하는 메시지의 수를 최소화하기 위해 각 노드에서 단 한번 메시지를 발송하도록 하였으며, 브로드캐스팅으로 인한 이웃 노드의 비트맵을 수신하고 자신의 비트맵을 갱신하도록 하였다. 그 결과 각 노드는 네트워크의 전체 토폴로지 정보를 가질 수는 없었지만, 싱크 노드로부터 시작된 경로를 찾을 수 있었으며, 대체 경로 또한 쉽게 가질 수 있었다. 실제 센서 영역에 센서들을 배치할 때, 각 노드의 비이동성을 가정하면 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은 상당한 효과를 기대할 수 있다. 또한, 주기적인 보고를 필요로 하는 응용에서는 라우팅 경로의 설정 과정을 생략할 수 있으므로 센서 노드의 에너지 절약할 수 있어 네트워크 수명을 연장할 수 있다. 향후 이 알고리즘을 실제 센서 노드의 모트(Mote)에 크로스 컴파일하여 실제로 동작하는 과정을 보이고자 한다. 실제 센서 노드의 모트에 라우팅 모듈을 탑재하여 라우팅을 수행해 보면, 모트가 허용하는 메모리와 센서 영역의 크기에 따라 최적화된 n의 크기를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] D. Tian, and N.D. Georganas : Energy efficient routing with guaranteed delivery in wireless sensor networks, Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 3, 16-20, 1923-1929, May 2003.

[2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci : Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer Networks, 38(4), 393-422, May 2002.

[3] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G. J. Pottie : Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network, IEEE Personal Communications 7(5), 16-27, 2000.

[4] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang, A. Chandrakasan : Low-Power Wireless Sensor Networks, Proceedings of International Conference on VLSI Design, Bangalore, India, January 2001.

[5] K. Akkaya and M. Younis : A survey on routing protocols for wireless sensor networks, Ad Hoc Networks, Volume 3, Issue 3, 325-349, May 2005.

[6] V. Rodoplu and T. H. Meng : Minimum Energy Mobile Wireless Networks, IEEE Journal of Selected Areas in Communication 17 (8), 1333-1344, 1999.

[7] L. Li and J. Halpern : Minimum-Energy Mobile Wireless Networks Revisited, in Proceedings of IEEE Conference of Communications (ICC '01), Helsinki, Finland, June 2001.

[8] R. Krishnan and D. Starobinski : Efficient clustering algorithms for self-organizing wireless sensor networks, Ad Hoc Networks, In Press, Corrected Proof, Available online 22, March 2005.

[9] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman : A taxonomy of wireless microsensor network models, Mobile Computing and Communications Review 6 (2), 28-36, 2002.

[10] W. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan, : Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks, Proceedings

of 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, August 1999.

[11] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin : Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, IEEE/ACM Mobicom, 56-67, 2000.

[12] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar : Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks. In Mobile Computing and Networking, 263-270, 1999.

[13] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan : Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks, Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, 3005-3014, January 2000.

[14] L. Subramanian, R.H. Katz : An architecture for building self configurable systems, Proceedings of IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Boston, MA, August 2000.

[15] Y. Yu, D. Estrin, R. Govindan : Geographical and energy-aware routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks, UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.

[16] Tijs van Dam, Koen Langendoen : An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, Conference On Embedded Networked Sensor Systems, Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, Los Angeles, California, USA, 171-180, 2003.

[17] C. R. Lin, M. Gerla : Adaptive clustering for mobile wireless networks, IEEE J. Select. Areas Communications. 15 (7), 1265-1275, 1997.

정 상 준 (Sangjoon Jung) 정회원

1999년 2월 영남대학교 통계학과 이학사

2001년 2월 영남대학교 컴퓨터공학과 석사

2005년 8월 영남대학교 컴퓨터공학과 박사

2003년 3월~현재 경일대학교 컴퓨터공학부 전임강사

<관심분야> 센서 네트워크, 에드 혹 네트워크, 네트워크 관리, 통신망 성능 분석, 원격 교육