
선형적 데이터 전달의 안정성과 부하량을 고려한 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

Routing Protocol for Wireless Sensor Network
Considering Data Transmission Stability and Load Quantity

황 민*, 천승환**, 유진호**, Nguyen Trung Kien*, 이귀상*
전남대학교 전자컴퓨터공학부*, (주)도울정보기술**

Min Hwang(tirano_62@hanmail.net)*, Seung-Hwan Cheon(doulzzang@empal.com)**,
Jin-Ho You(loafers@hanmail.net)**, Nguyen Trung Kien(trung_kien_kg@yahoo.com)*,
Guee-Sang Lee(gslee@chonnam.ac.kr)*

요약

센서 네트워크는 센서 디바이스를 이용한 정보수집과 전달을 위해 필요하며, 이를 위해 여러 가지 라우팅 프로토콜이 제안되었다. 기존의 프로토콜 중 수정된 PEGASIS 라우팅 기법은 데이터 전달이 방향성을 갖는 분야에 적용하면 효과적이다. 그러나 반복되는 중계와 제어를 수행하는 센서 장치들은 자체 고장률이 높은 반면, 이 프로토콜은 장애 극복과 데이터 전달의 안정성에 대한 고려가 되어 있지 않다.

본 논문에서는 데이터 이동이 선형적인 방향성을 갖는 지그비(Zigbee) 기반의 센서 네트워크 구조상에서 안정성 있는 데이터 전달이 가능한 이중 중계 라우팅(double relay routing) 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 데이터 이동의 방향성을 기반으로, 에너지 소모를 최소화하면서 데이터 전달의 안정성이 확보된다는 측면에서 매우 효과적이다. 그리고 제안된 라우팅 기법을 이용한 가로등 제어시스템에 적용하여 분석을 수행하였다.

■ 중심어 : | 센서 네트워크 | 라우팅 프로토콜 | PEGASIS |

Abstract

Sensor networks are needed for special purposes such as collecting or transmitting information by using sensor devices, for which various routing protocols have been proposed. Among existing protocols, the modified PEGASIS routing technique is known to be effective when applied to cases with directional transmissions of data. However it does not consider recovery from errors or guaranteeing stability in data transmission, while sensor devices performing repetitive relays and controls are prone to errors.

In this paper, a double relay routing protocol for Zigbee based sensor networks where data are transferred reliably with a linear direction. The proposed protocol is effective in the sense that it secures the reliable transmission of data with minimal energy consumption based on a directional data transfer. A streetlight control system has been presented as an application of the proposed protocol.

■ keyword : | Sensor Network | Routing Protocol | PEGASIS |

I. 서론

센서 네트워크(sensor network)는 상황 인지를 위한 센싱(sensing) 기능과 정보처리 능력, 그리고 통신 능력을 갖춘 다양한 센서 디바이스를 이용하여 특정한 요청에 의하여 원하는 정보의 수집과 전달을 위한 일종의 애드 혹(ad-hoc) 네트워크이다[1][2][4]. 현재 센서 네트워크 기술은 많은 분야에서 응용이 예상되고 있지만 센서의 여러 가지 특성에 의해 기존의 애드 혹 라우팅(routing) 기법을 현장에 적용하기에는 적합하지 않아 여러 가지 라우팅 기법이 제안되고 있다[1]. 기존의 라우팅 프로토콜 중 체인 기반 프로토콜(Chain-Based Protocol)인 PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems) 라우팅 기법은 헤드 노드를 선택할 때 BS(Base Station) 노드의 위치에 대한 고려가 없을 뿐만 아니라, 네트워크상의 각 노드에서 발생할 수 있는 장애를 전혀 고려하지 않음에 따라 실제 산업 현장에 적용하기에는 적합하지 않다. 따라서 산업 현장에서 사용되는 센서 네트워크에서 요구되는 네트워크의 자가 구성적 능력, 제한된 전력, 데이터의 선형 지향적 전달 특성, 그리고 장애나 고장에 대비한 안정성 등을 고려한 네트워크 라우팅 기법이 절실히 요구된다.

최근까지 개발된 라우팅 프로토콜은 수평적(Flat), 계층적(Hierarchical), 위치 기반(Location-based) 라우팅으로 분류되며, 인접한 노드간의 유사 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위한 데이터 병합(data aggregation)이 필요하다는 특성을 고려할 때, 계층적 기반 라우팅이 수평적 기반 라우팅 보다는 에너지 소모 측면에서 볼 때 장점을 갖는다[2]. 한편, 계층적 라우팅 기법 중 플러딩(Flooding)[2] 기반의 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 기법의 단점을 보완하기 위해 제안된 PEGASIS(Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems) 라우팅 기법은 헤드 노드가 데이터를 수집할 때 BS 노드에 인접한 노드로부터 불필요한 데이터 이동이 많아 과도한 에너지 소모가 발생함으로써 센서 네트워크의 전체 효율성을 저하시킬 수 있는 취약점을 가지고 있다[9].

또한, 센서 네트워크에서 우선 고려해야 할 대상으로

에너지 소모와 더불어 데이터 전달의 안정성 문제이다. 일반적으로 잘 알려진 라우팅 기법에서는 노드 클러스터가 구성되면 클러스터 내의 센서 네트워크 노드들은 헤드 노드로 데이터를 전송하게 되는데, 이 방법들은 클러스터 내의 헤드 노드에서 BS 노드로 직접 전송하기에는 에너지 소모가 클 뿐만 아니라, 네트워크가 확장 되었을 때 현실적으로 노드간의 전송 거리가 미치지 못할 수 있기 때문에 이에 대한 개선이 필요하다[3]. 특히, 주변 환경이 매우 열악한 장소에서 제어시스템을 취급하거나 활용하는 측면에서는 각 노드의 고장으로 인해 제어시스템 자체에서 심각한 장애가 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 방법에서 나타날 수 있는 안정성 문제를 해결하기 위해 PEGASIS 라우팅 기법을 기반으로, 데이터 이동이 선형적인 방향성을 갖는 지그비(Zigbee) 통신 기반의 센서 네트워크 구조상에서 데이터 전달의 안정성을 고려한 향상된 라우팅 기법으로 혼합 이중 중계 라우팅(double relay routing) 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 데이터 이동의 방향성을 기반으로, BS 노드 위치를 고려하면서 데이터 전달 과정에서 발생할 수 있는 고장에 대한 안정성이 확보된다는 측면에서 매우 효과적이다. 또한, 제안된 라우팅 기법을 이용한 가로등 제어시스템의 개발에 적용될 수 있음을 제시한다.

본 논문 II장에서는 LEACH 라우팅 기법과 PEGASIS 라우팅 기법, 수정된 PEGASIS 라우팅 기법, 그리고 이들이 가지고 있는 문제점에 대해 각각 기술한다. III장에서는 제안한 이중 중계 라우팅 프로토콜 방법을 살펴본다. IV장에서는 제안된 라우팅 기법의 분석을 수행하고, V장에서는 제안된 이중 중계 라우팅간의 성능 비교를 수행하고 마지막 VI장에서는 결론을 기술한다.

II. 관련연구

1. LEACH 라우팅 기법

센서 네트워크의 구조적 특성상 다수의 노드에서 BS (Base Station)노드로 데이터를 전송하면 BS 노드에 인

접해 있는 노드들은 전송량이 많아져 다른 지역의 노드보다 먼저 에너지 소모가 현저하게 증가될 수밖에 없다. 따라서 LEACH 기법에서는 네트워크간의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존시간을 최대화하기 위해 분산된 환경의 클러스터 기반의 네트워크 구조로 데이터 전송을 수행하게 된다[3].

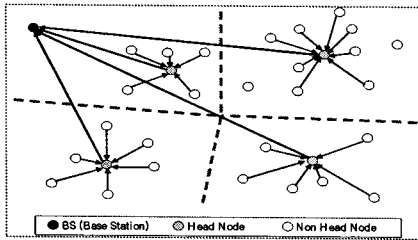


그림 1. LEACH 라우팅 기법

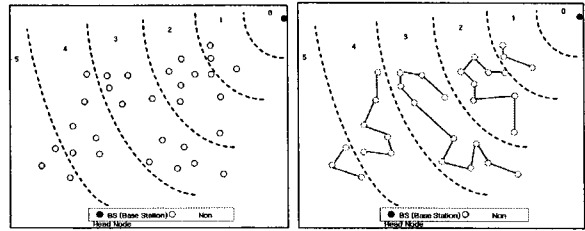
LEACH 기법에서는 [그림 1]에서처럼 노드 클러스터가 구성되면 클러스터 내의 단말 센서 노드(non-head node)들은 각 헤드 노드로 데이터를 전송한 다음, 그 헤드 노드는 다시 이를 BS 노드로 데이터를 전송한다. 하지만 이 방법은 각 클러스터 내의 헤드에서 BS 노드로 직접 전송하기에는 전송 거리가 멀어 에너지 소모가 크고, 네트워크 확장 시에 현실적으로 전송 거리가 미치지 못할 수 있으므로 이에 대한 개선이 필요하다[3].

2. 방향성 데이터 기반의 향상된 PEGASIS 라우팅 기법

기존의 PEGASIS 라우팅 기법은 LEACH 기법의 클러스터 구성과 데이터의 전송 방법을 개선하여 에너지 소모를 줄일 수 있다. 각 노드는 가장 근접한 노드로 데이터를 전송하고 이들 중 하나의 노드가 BS 노드로 데이터를 전송하는 역할을 돌아가면서 수행하게 된다[5]. 그렇지만 기존의 PEGASIS 라우팅 방법은 헤드 노드의 선택 시 BS 노드의 위치에 대한 고려가 없다는 취약점을 가지고 있어 헤드 노드를 선택할 때 데이터의 방향성에 기반하여 BS 노드의 위치를 고려함에 따라 데이터 전달 시 발생하는 에너지 소모를 줄일 수 있는 수정된 PEGASIS 라우팅 기법이 개발되었다[9].

2.1 레벨과 체인 설정

센서 네트워크에서 각 노드들은 BS 노드로부터 자신만의 레벨(level)을 부여 받게 되며, 레벨은 BS 노드의 신호 크기를 이용하여 [그림 2-a]와 같이 BS 노드 위치에서 동심원 형태로 지정된다. 레벨 간격은 BS 노드의 설정에 따라 다양하게 이루어진다.



(a) 레벨 설정

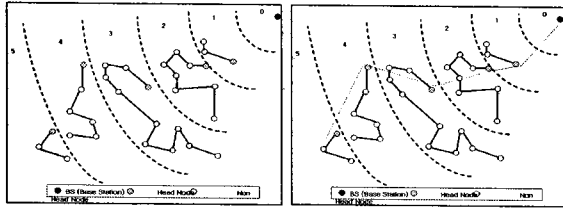
(b) 체인 설정

그림 2. 센서 네트워크의 레벨과 체인 설정

각 레벨에서 BS 노드와 가장 먼 노드부터 Greedy 알고리즘을 이용하여 [그림 2-b]처럼 노드 체인을 형성한다. 체인 형성 과정은 PEGASIS 라우팅을 기반으로 하며, 체인 형성은 이진조합설계(Binary-Combining Scheme) 방법을 이용한다. 이 방법은 각 레벨에서 체인을 적절한 개수로 나눈 후, 각 체인에서 하나의 노드가 헤드 노드 역할을 맡아 인접한 헤드 노드에 데이터를 전달하고, 결국 여러 헤드 노드 중에 하나의 노드가 데이터를 병합하여 BS 노드에 데이터를 전달한다[6].

2.2 체인의 헤드 노드 설정과 데이터 전달

[그림 3-a]처럼, 각 레벨의 노드 체인에서 헤드 노드가 선정된다. L 레벨의 헤드 노드는 i 라운드에서 $i \bmod ML$ (ML : L 레벨을 가진 노드 개수) 번째 노드가 선정이 된다. 헤드 노드 선정 이후에 자기의 노드의 위치를 자신의 레벨보다 한 단계 높은 상위 노드와 한 단계 낮은 하위 노드에게 선정 사실을 알리고, 데이터 전송 시 헤드 노드는 그 레벨에서 나머지 노드들의 데이터를 받아 자기보다 낮은 레벨의 헤드 노드 혹은 상위 및 BS 노드에게 데이터를 전송하게 된다.



(a) 헤드 노드 설정 (b) 데이터 전달
그림 3. 헤드 노드 설정과 데이터의 전달

[그림 3-b]처럼 각 레벨에서의 헤드 노드는 그 데이터를 자신보다 낮은 레벨의 헤드 노드에게 전송하게 되고, 결국 1단계 레벨의 헤드 노드가 BS 노드에게 최종적으로 데이터를 전송하게 된다. 각 레벨의 헤드 노드는 해당 레벨의 노드들 또는 한 단계 높은 레벨의 헤드 노드로부터 데이터를 송·수신할 책임을 갖는다.

PEGASIS 기법은 동일한 레벨에서 체인이 형성되고 각 레벨에서 하나의 헤드 노드를 지정하여 라우팅을 구현함으로써 불필요한 데이터 이동을 방지하게 되는 장점이 있지만, 이 방법들은 고장 및 장애극복과 안정성에 대한 고려가 되지 않아 선형적인 데이터 방향성을 갖는 무선 센서 네트워크 기반의 응용 분야에 적합하지 않다.

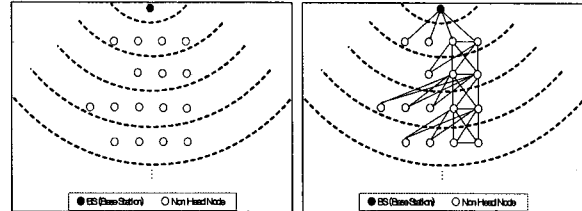
III. 제안된 방법

여기서는 수정된 PEGASIS 라우팅 기법을 기반으로, 데이터 전달 과정의 선형적인 방향성을 갖는 센서 네트워크 구조상에서 데이터 전달의 안정성을 고려한 레벨을 갖는 이중 중계 라우팅(double relay routing) 프로토콜에 대하여 기술한다.

1. 레벨 설정

각 레벨의 노드 위치는 [그림 4-a]처럼 왼쪽에서부터 선형적인 거리와 배치를 갖고 있는 센서 네트워크의 각 노드 중에서 BS 노드로부터 1단계 레벨을 부여 받는다. [그림 4]에서는 격자모양의 배치가 레벨 별로 진행되고 있지만 실제에서는 도로변의 가로등에 해당하도록 동일한 레벨에 위치하는 노드들은 위에서 좌로 Base

Node를 기준으로 거리상 선형적인 위치에 있으며 모든 노드가 거리상 BS 노드로부터 일정 간격으로 떨어져 배치되어 있다.



(a) 레벨 설정 (b) 라우팅경로 설정
그림 4. 센서 네트워크의 레벨과 라우팅경로 설정

각 레벨에서 BS 노드의 신호의 크기를 이용하여 [그림 4-a]에서처럼 BS 노드 위치에서 통신이 가능한 위치까지가 한 레벨로 지정된다. 다음 레벨은 이전 레벨 내의 마지막 노드에서 신호가 도달한 노드까지 2단계 레벨로 부여되고, 이의 과정을 반복하여 각 레벨이 설정된다.

2. 레벨에서 라우팅 경로 설정

먼저 BS 노드는 다음 단계의 레벨 내에 위치한 노드들과 1:1 경로를 설정한다. 그리고 다음 단계 레벨의 노드들 중에서 [그림 4-b]에서처럼 마지막 2개의 노드를 헤드 노드로 선정하여 각 헤드 노드에서 다음 단계 레벨의 노드들과 브로드캐스팅(broadcasting) 방법으로 1:1 통신 라우팅 경로를 설정한다.

3. 데이터 전달

[그림 5]는 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜에서 데이터를 전달하는 과정을 나타내고 있다. [그림 5]의 각 레벨 구간에서 헤드 노드가 이중으로 설정되어 있음을 알 수 있다.

임의의 레벨 내에서 헤드 노드가 선정된 후에는 자기의 노드의 위치를 자신의 레벨보다 한 단계 높은 상위 노드와 한 단계 낮은 하위 노드에게 각각 선정 사실을 알린다.

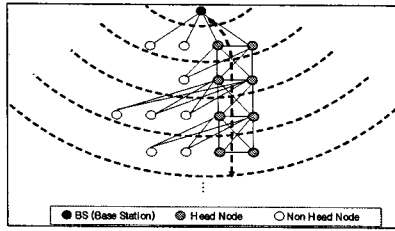


그림 5. 데이터 전송

각 레벨을 대표하는 2개의 헤드 노드는 자신의 헤드 노드 사용에 대한 이중 중계를 할 수 있는 라우팅 테이블을 형성하여 BS 노드와 각 헤드 노드, 그리고 각 레벨 내의 노드에 저장시킨다. 데이터를 전송할 때 라우팅 테이블을 참조하여 헤드 노드는 그 레벨에서 나머지 노드들의 데이터를 받아 자기보다 낮은 레벨의 헤드 노드 혹은 BS 노드에게 중계 또는 데이터를 전송하게 된다.

IV. 제안된 기법의 분석

1. 통신 안정성 분석

본 논문에서 제안한 이중 중계 방식의 라우팅 프로토콜에서 노드 고장에 대한 안정성을 수학적인 모델을 이용하여 분석하였다. 즉, p : 노드가 고장이 날 확률이고, $1-p$: 노드가 고장이 나지 않을 확률이라 할 때, n 개의 노드 중 1개 이상이 고장 날 확률 E 는 다음과 같은 식(1)으로 표현된다.

$$E = 1 - (1-p)^n \quad (1)$$

각 레벨에서 헤드 노드(다중 중계 라우팅 노드)의 수를 k 라 할 때, k 개 모두 고장 날 확률 $E = p^k$ 으로 나타낼 수 있다. 또한, k 개의 다중 중계 라우팅 노드 구성으로 L 개의 레벨 중 한 레벨 이상 고장 날 확률은 다음 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(k, L) = 1 - (1-p^k)^L \quad (2)$$

따라서 $k=1$ 일 때와 $k>1$ 일 때의 고장 확률을 각각 구해 이들의 비를 다음 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{E(k, L)}{E(1, L)} = \frac{1 - (1-p^k)^L}{1 - (1-p)^L} \quad (3)$$

위 식(3)에서 각 레벨의 헤드 노드인 k 가 커지면 센서 네트워크의 노드에서 고장으로 인해 데이터가 전달되지 못할 확률은 현저히 낮아지게 된다.

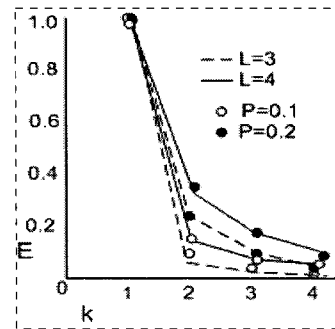


그림 6. 식(3)의 그래프 표현

2. 통신 부하 분석

본 논문에서 제안한 이중 중계 방식의 프로토콜에 대하여 평균 통신거리와 평균 패킷발생량을 분석하였다. 제안된 프로토콜에서는 BS 노드와 l 레벨에 있는 임의의 노드와의 거리는 l 이고, 레벨 l 인 노드까지의 평균 패킷발생량은 식(4)처럼 일반화된 식을 만들 수 있다.

$$P_{avg} = \frac{\sum_{l=1}^L \{(l-1) \cdot k^2 + 1\} \cdot m_l}{\sum_{l=1}^L m_l} \quad (4)$$

여기서, m_l 은 임의의 레벨 l 에서 노드의 수를 나타내고, $\sum_{l=0}^L m_l$ 은 센서 네트워크에 있는 노드의 총 수를 나타낸다. 또한 k 는 각 레벨 l 에서 선정된 헤드 노드(중계노드)의 수이고, $(l-1) \cdot k^2 + 1$ 은 BS 노드로부터 레벨 l 인 노드에 데이터를 전달하기 위한 패킷발생량을 나타낸다. 또한, [그림 5]의 이중 중계 노드 대신에 단일 중계 노드를 갖는 선형적인 모형에 대하여 위에서 기술한 식(4)를 적용하면 $k=1, m_l=1, L=\sum_{l=1}^L m_l$ 인 모형과 동등하고 k 와 l 이 조절되어 고장극복을 위하여

활용할 수 있다. 따라서 최대 레벨 L 을 줄이면 평균 패킷량이 감소하고 평균 통신거리인 홉(hop) 수도 줄어든다. 여기서 헤드 노드의 수 k 를 늘리면 평균 패킷발생량은 다소 늘어나지만 안정성은 현저히 높아지게 된다.

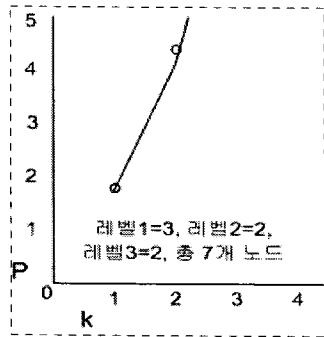


그림 7. 식(4)의 그래프 표현

V. 라우팅 프로토콜간의 성능 비교

본 장은 현장에서 프로토콜을 설계하고 구현하는 과정에서 고려해야 할 통신 효율성이나 고장 장애 발생 가능성 대비를 위해 본 논문에서 제시한 프로토콜을 가로등 제어시스템 개발·구현에 응용한 사례를 기술한다.

일반적으로 가로등 제어시스템은 데이터 이동이 선형적인 방향성을 갖고 있는데, 본 논문에서 제시한 프로토콜을 이러한 가로등 제어시스템에 적용하였다. 즉, 가로등 제어시스템에서 중앙관제서버와 분전함 제어기를 헤드 노드 또는 BS 노드로 설정하였고, 지그비(Zigbee)를 포함한 전류센서, 전압센서, 그리고 누설전류 센서 등이 설치되어 있는 가로등주 제어기를 레벨을 갖는 네트워크 구조상의 각 노드로 설정하여 라우팅 기법을 적용하였다. 실제 구현에서는 1:1 통신 방식과 이중 중계(double relay routing) 통신 방식을 혼용한 가로등주간 통신 라우팅 설계 및 구현 방법을 사용하였다. 제시된 이중 중계 라우팅 프로토콜 설계 및 구현의 목적은 중앙관제 서버와 분전함 제어기 간에 장애 발생 대비 및 저비용으로 통신할 수 있도록 하기 위함이며, 분전함 제어기와 소속 가로등주 제어기 사이에 지그비를 이용하여 전력선의 불량이나 중단 시에는 이중 중계 방식을 통해 계속적으로 통신할 수 있도록 가로등 관제

시스템을 개발하였다. 보통 무선 센서 네트워크의 노드들은 필드에 배치될 경우 랜덤한 위치에 배치되는 특징이 있지만 본 제안 기법에서는 분전함 제어기 및 가로등주가 선형적인 노드 구조를 갖고 있으며, 하드웨어의 통신거리 제약으로 인해 레벨 설정은 노드들을 격자모양의 여러 레벨로 배치하였다.

1. USN 기반의 가로등제어시스템

가로등 운용의 구성은 기존에 설치된 거리마다 설치된 분전함과 그에 소속된 가로등주로 이루어져 있으며 분전함에서는 각 가로등에 전력을 공급하고 차단하는 역할을 수행한다. 최근에 가로등제어 시스템 분야에도 원격 중앙관제가 이루어지고 있으며 이를 위하여 분전함 내에 제어기를 두고 가로등주 내에 제어기를 각각 두어 하나의 분전함 제어기가 통상 20~30개 정도의 가로등주제어기와 근거리 무선통신(Zigbee)이나 전력선 통신(PLC) 방법을 이용하여 제어정보를 송수신하고 분전함제어기는 중앙의 관제센터의 컴퓨터 서버에 정보를 송수신하도록 구성된다.

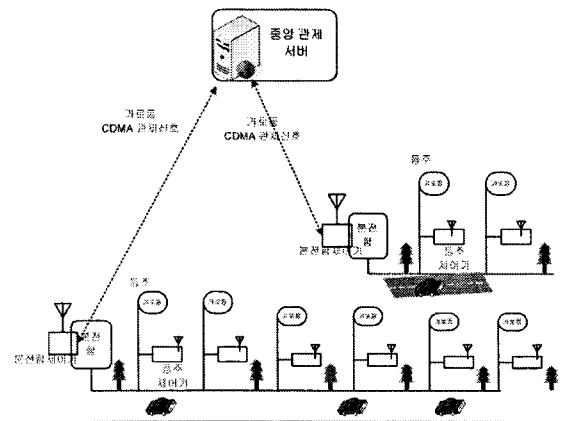


그림 8. 가로등 중앙 관제 시스템의 구성도

[그림 8]에 가로등제어시스템을 구성하고 있는 전체 시스템 구성도를 나타내었다. 이 시스템은 등주감시제어기와 분전함감시제어기의 내에 통신 모듈과 센서모듈(즉, 전류센서, 전압센서, 누설전류센서, 도어센서 모듈 등)이 내장하고 있어 무선 센서 네트워크의 대표적 적용사례라 할 수 있다.

2. 단순 중계 통신에 의한 가로등제어

[그림 9]는 모든 가로등주에서 통신 중계를 하는 라우팅 개념도로서, 분전함 제어기(BS)에 소속된 모든 가로등주 제어기(a~g)가 자신의 라우팅 테이블을 가지고 중계 통신하는 방식이다. 그림에서 BS는 분전함 제어기 식별을 위한 고유번호(주소) 혹은 다른 분전함 제어기를 나타내며, a ~ g는 가로등주 제어기 식별을 위한 고유번호(주소) 혹은 가로등주 제어기를 나타낸다. 여기서 가로등주제어기에서 네트워크 센서 모듈, 즉 식(4)

$$\sum_{l=1}^L \{(l-1) \cdot k^2 + 1\} \cdot m_l \text{에 의한 노드 수는 7}$$

이며, 총 패킷발생량은 28, 각 노드 당 평균 중계 횟수 즉, 평균 부하량(패킷발생량), P_{avg} 는 4.0으로 산출된다.

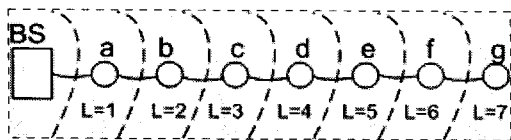


그림 9. 모든 가로등주에서 통신 중계하는 라우팅

이러한 중계 방식은 보통의 중계 방식에서 노드들이 선형적인 구조를 가지고 있을 때 일반적으로 적용한 방식이다. 그렇지만 각 제어기마다 라우팅 테이블을 설정하고 저장하는 불편함이 뒤따르게 될 뿐만 아니라, 노드가 많을수록 헤드 노드의 통신 부하 증가로 라우팅 테이블의 크기가 커지게 되며 통신 속도도 선형적인 중계 과정으로 인해 매우 느려지게 된다.

[그림 10]은 수정된 PEGASIS 방식으로 가로등주제어에 적용된 라우팅 방법으로 노드 a, 노드 d, 노드 f는 헤드 노드이며, $m_{l=1}=3, m_{l=2}=2, m_{l=3}=2$ 로서 전체 레벨 L은 3이며 BS 노드는 분전함제어기를 나타낸다. 여기서는 노드수가 7이며 총 패킷 발생량은 18, 각 노드당 평균 중계횟수 즉, 평균 부하량은 2.57로 계산된다.

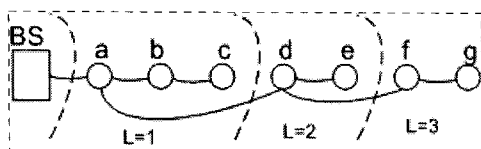


그림 10. 수정된 PEGASIS 방식의 라우팅

[그림 11]은 레벨을 갖는 중계통신 방식의 가로등주(지그비 및 제어를 위한 여러 센서 포함)를 갖는 라우팅 기법의 개념도이다. 사각형의 BS 노드는 분전함제어기의 센서 노드, a~g 까지는 가로등주제어기내의 센서 노드들을 나타내고 있다. 노드 c, 노드 e, 노드 g는 헤드 노드로 중계를 담당한다. 이전 Level의 헤드노드에서 다음 Level의 노드들에게 정보전송을 담당한다. 여기서 $m_{l=1}=3, m_{l=2}=2, m_{l=3}=2$ 로서 전체 노드 수는 7이며, 총 패킷발생량은 13, 각 노드 당 평균 중계 횟수 즉, 평균 부하량(패킷발생량)은 1.860으로 나타난다.

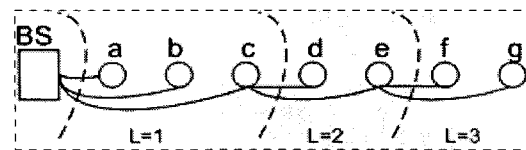


그림 11. 레벨을 갖는 중계(혼합중계) 통신 라우팅

3. 이중 중계 통신 방식의 라우팅 기법 적용

단순 중계 통신의 단점을 해결하기 위하여 1:1 통신과 중계 통신을 병행하여 구성하면 헤드 노드의 통신 부하 감소로 인해 라우팅 테이블의 크기도 줄어들고 중계 노드의 감소로 인해 통신 속도 또한 모든 노드의 중계 통신에 비해 빨라지게 된다.

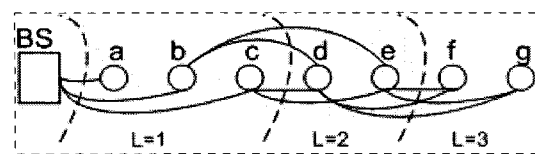


그림 12. 레벨을 갖는 이중 중계(혼합이중중계) 통신 라우팅

[그림 12]는 레벨을 갖는 이중 중계 통신 방식의 라우팅 개념도이다. 가로등주와 같은 선형적인 노드 배치를 갖는 특수한 상황에서 제어를 위한 통신을 할 때 선형적인 노드가 길어질수록 수정된 PEGASIS 라우팅 방법을 사용할 경우 중계 노드의 장애나 고장 시 다음 단계의 모든 노드와의 통신이 불가능하게 된다.

이러한 문제점을 해소하기 위해 이중 중계 통신을 하게 되면 통신 장애가 발생하는 노드가 존재해도 이중 중계 노드 중 다른 노드의 경로를 이용하여 상시 통신

을 가능하게 하고, 선형적인 노드간의 거리가 멀고 노드의 수가 많을 경우에도 헤드 노드에서의 1:1 통신을 병행하면서, 2개의 헤드 노드를 사용하여 이중 중계를 함으로서 레벨을 갖는 중계 통신에 비하여 평균 패킷량은 다소 증가하지만 안정성은 높아지게 된다.

[표 1]은 단일 중계방식들인 [그림 6][그림 7][그림 8]에 의한 단순중계방식, 수정된 PEGASIS방식, 혼합중계방식 각각에 대하여 안정성과 패킷부하량을 분석식에 의해 산출한 값을 나타내었다. 비교 분석 결과, 평균 부하량은 각각 4.0, 2.57, 1.86으로 혼합중계방식이 가장 효율이 좋음을 알 수 있다. 통신 중계율 $E(k,L)$ 는 0.79, 0.488, 0.488로써 레벨 3과 각 레벨 당 각각 3개, 2개, 2개의 노드수를 갖는 수정된 PEGASIS와 혼합중계방식 등에서 좋은 효율을 보였다.

표 1. 단일중계 방식의 에러율과 통신 부하량

통신방식	노드수	부하량 (패킷발생량)	평균부하량 P_{avg}	통신에러율 ($p=0.2E(k,L)$)
단순중계	7	28	4.0	0.79
수정된 PEGASIS	7	18	2.57	0.488
혼합중계	7	13	1.86	0.488

표 2. 이중중계 방식의 에러율과 통신 부하량

통신방식	노드수	부하량 (패킷발생량)	평균부하량 P_{avg}	통신에러율 ($p=0.2E(k,L)$)
full 이중중계	7	66	9.42	0.151
수정된 PEGASIS 이중중계	7	42	6.0	0.115
혼합이중중계	7	28	4.43	0.115

[표 2]는 이중중계 방식들의 산출 결과로서 [표 1]에 비해 평균 부하량은 2배 이상 증가하였으나 통신 에러율은 0.1정도로 모두 감소하였음을 보였다. 특히, 혼합 이중중계에서 가장 좋은 결과를 보였다.

VI. 결론

센서 네트워크 구조에서 노드의 에너지 소모를 줄이는 문제와 함께 고려해야 할 사항 중 하나는 노드 장애 발생에 대비, 즉 안정성을 확보하는 문제이다. 하지만

대부분의 기존 연구에서는 이 문제를 크게 언급하지는 않았다. 본 논문에서는 선형적인 특징을 갖는 다수 노드로 구성된 가로등 제어시스템을 구축하는데 직접적으로 적용할 수 있는 수정된 PEGASIS 기법[5][9]를 확장하여 노드의 장애 극복과 안정성을 고려한 레벨을 갖는 이중 중계(혼합이중중계) 라우팅 기법을 제안하였다. 결국 단일중계방식들에 비하여 이중중계방식들이 부하량은 높아지지만 통신에러율($E(k,L)$)은 0.115로써 낮아짐을 알 수 있었다. 3중, 4중 중계 방식으로 레벨 내의 중계노드의 수를 높이면 평균 부하량은 급속히 높아질 것이며, 통신에러율은 급속히 낮아질 수 있음을 예상할 수 있다. 그러나 통신 H/W 모듈의 통신 속도, CPU 성능, 설치적용 환경 등의 제약을 고려할 경우 다수 노드가 선형적으로 배치된 가로등제어 현장의 상황에서 통신 부하의 증가에 따른 에너지 소모의 증가와 노드의 장애 극복간의 Trade Off 관계를 고려했을 때 훨씬 상회하는 통신의 안정성을 확보할 수 있어 레벨을 갖는 이중 중계(혼합이중중계) 라우팅 기법이 매우 현실적인 방법이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] L. F. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Commun. Mag., Vol.40, No.8, pp.102-115, Aug. 2002.
- [2] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A survey," IEEE Wireless Commun. Vol.11, Issue 6, pp.6-28, Dec. 2004.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Network," Jan. 2000.
- [4] S. Lindsey, C. Raghavendra, and K. Sivalingam, "Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics," Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions, Vol.13, Issue 9, pp.924-935, Sep. 2002.
- [5] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS:

Power-Efficient Gathering in Sensor Information System," IEEE Aerospace Conf. Proc., Vol.3, pp.1125-1130, 2002

- [6] K. Du, J. Wu, and D. Zhou, "Chain-based Protocols for Data Broadcasting and Gathering in the Sensor Networks," Parallel and Distributed Processing Symposium, Apr. 2003.
- [7] J. Ibriq and I. Mahgoub, "Cluster-Based Routing in Wireless Sensor Networks: Issue and Challenge," Parallel and Distributed Processing Symposium, Apr. 2004.
- [8] T. Pham, E. J. Kim, and M. Moh, "On Data Aggregation Quality and Energy Efficiency of Wireless Sensor Network Protocols - Extended Summary," BroadNets 2004, pp.730-732, 2004.
- [9] 정성민, 박선호, 한영주, 정태명, "데이터 방향성에 기반한 향상된 PEGASIS 라우팅 프로토콜 기법 연구", 한국정보처리학회 춘계학술발표논문집, 제13권, 제1호, pp.1029-1032, 2006(5).

- 1996년 ~ 현재 : (주)도올정보기술 대표이사
<관심분야> : 무선센서 네트워크, 임베디드시스템, 멀티미디어 통신

유진호(Jin-Ho You)

정회원

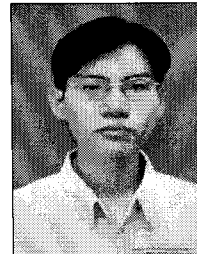


- 1991년 8월 : 전남대학교 자연과학대학 전산통계학과 (이학사)
- 1995년 2월 : 전남대학교 대학원 전산통계학과 (이학석사)
- 2006년 2월 : 전남대학교 대학원 전산통계학과 (이학박사)

- 2006년 3월 ~ 현재 : (주)도올정보기술 연구소장
<관심분야> : 시스템소프트웨어, 시스템보안, 무선센서 네트워크, 임베디드시스템

Nguyen Trung Kien

준회원

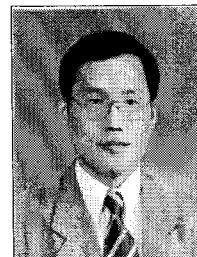


- September, 2005 : Received the B.S. degree in Information Technology from Vietnam National University Ho Chi Minh City, University of Natural Sciences

- Currently pursuing M.S. degree in Computer Science at Chonnam National University in Korea
<관심분야> : Computer Vision, Video Coding

이귀상(Guee-Sang Lee)

정회원



- 1980년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 대학원 전자계산기공학과 (공학석사)
- 1991년 : Pennsylvania 주립대학 전산학 (이학박사)

- 1984년 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
<관심분야> : 멀티미디어 통신, 영상처리 및 컴퓨터 비전, 임베디드시스템

저자소개

황민(Min Hwang)

정회원



- 1986년 2월 : 전남대학교 자연과학대학 전산통계학과 (이학사)
- 1988년 2월 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
- 2002년 2월 : 전남대학교 대학원 전산통계학과 (이학박사)

<관심분야> : 임베디드시스템, 멀티미디어 통신

천승환(Seung-Hwan Cheon)

정회원



- 1993년 2월 : 전남대학교 응용화학공학부 (공학사)
- 1995년 2월 : 전남대학교 대학원 전산통계학과 (이학석사)
- 1999년 2월 : 전남대학교 전산통계학과 박사수료