

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터 중심 라우팅 알고리즘

최현호*

An Energy-Efficient Data-Centric Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks

Hyun-Ho Choi*

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Institute for Information Technology
Convergence, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

요 약

무선 센서 네트워크의 생존시간을 증가시키기 위하여 중계노드에서의 데이터 병합을 고려한 데이터 중심 라우팅이 필요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 센싱 정보의 수집 시간과 노드의 에너지 소비량 간의 트레이드 오프를 고려하여 에너지 소비를 최소화하면서도 빠른 시간 내에 센싱 정보를 수집하는 에너지 효율적인 데이터 중심 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 하는 라우팅 방식은 먼저 전체 센서 노드 중에서 최대 거리가 최소화 되도록 만드는 노드를 싱크 노드로 설정한다. 이후 빠른 정보 수집을 위하여 센서 노드와 싱크 노드 간 최대 거리의 증가를 최소화하면서 에너지 소비를 줄이기 위하여 노드간 연결 링크 비용을 최소화하는 방식으로 트리 구조를 확장해나간다. 시뮬레이션 결과, 제안하는 데이터 중심 라우팅 알고리즘은 짧은 정보 수집 시간과 낮은 에너지 소비량을 가지며, 이로 인하여 기존 라우팅 알고리즘 대비 높은 네트워크 에너지 효율을 달성한다.

ABSTRACT

A data-centric routing protocol considering a data aggregation technique at relay nodes is required to increase the lifetime of wireless sensor networks. An energy-efficient data-centric routing algorithm is proposed by considering a tradeoff between acquisition time and energy consumption in the wireless sensor network. First, the proposed routing scheme decides the sink node among all sensor nodes in order to minimize the maximum distance between them. Then, the proposed routing extends its tree structure in a way to minimize the link cost between the connected nodes for reducing energy consumption while minimizing the maximum distance between sensor nodes and a sink node for rapid information gathering. Simulation results show that the proposed data-centric routing algorithm has short information acquisition time and low energy consumption; thus, it achieves high energy efficiency in the wireless sensor network compared to conventional routing algorithms.

키워드 : 네트워크 내 계산, 데이터 병합, 데이터 중심 라우팅, 무선 센서 네트워크

Key word : Data aggregation, Data-centric routing, In-network computation, Wireless sensor networks

Received 31 August 2016, Revised 01 September 2016, Accepted 06 September 2016

* Corresponding Author Hyun-Ho Choi(E-mail:hhchoi@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5297)

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Institute for Information Technology Convergence, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.11.2187>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

무선 센서 네트워크(wireless sensor network; WSN)는 싱크(sink)노드가 다수의 센서 노드와 멀티홉으로 연결되어 센서 노드로부터 데이터를 수집하는 연결 구조를 가진다. 모든 센서 노드는 주기적으로 작은 센싱 데이터를 발생시키며 배터리로 구동되어 제한된 생존시간을 갖는다. 이러한 속성 갖는 WSN에서 노드의 에너지 효율을 높이고 네트워크의 생존시간을 향상시키기 위하여 네트워크 상에서 데이터 병합(data aggregation) 기술을 사용할 수 있다[1-3]. 즉, 각 노드로부터 수신된 여러 센싱 정보들은 WSN의 중계 노드에서 병합되어 하나의 데이터로 전달될 수 있다. 예를 들어 건물의 최대/최소 온도를 측정하고자 하는 WSN의 경우, 중계노드는 다수의 센서 노드로부터 전달받은 온도 값들 중에서 최대값/최소값 하나만 전달하여도 그 목적을 달성할 수 있다. WSN의 다양한 시나리오에서 데이터 병합 기술의 사용은 데이터 전송량을 줄여주어 네트워크의 생존시간을 증대시킬 수 있다.

싱크 노드로 모든 센싱 데이터가 모이는 WSN 환경에서 데이터 병합과 같은 네트워크 내 계산(in-network computation)을 고려하여 설계된 라우팅 기법을 데이터 중심 라우팅(data-centric routing)이라고 부른다[4]. 이는 기존의 주소 중심 라우팅(address-centric routing) 기법과 대응되는 개념으로, 주소 중심 라우팅은 데이터 병합과 같은 네트워크 내 계산을 고려하지 않고 소스 노드와 목적지 노드 사이의 거리 비용을 최소화하는데 목적이 있다. 반면 데이터 중심 라우팅은 센서 네트워크 내 중간 노드에서 데이터의 병합을 고려하여 빠른 전송보다는 전송 효율이나 에너지 효율을 높이는 데 목적이 있다.

WSN에서 데이터 중심 라우팅에 대한 연구는 WSN의 에너지 제약 문제로 인하여 대부분 노드의 에너지 소비를 줄이거나 네트워크의 생존시간을 증대시키기 위한 목적으로 연구되어 왔다[5-7]. 하지만 전송 에너지 소모를 줄이고자 중간 노드에서 데이터 병합을 많이 하게 되면 기다리는 시간이 증가하여 싱크 노드에서 전체 센싱 정보를 수집하는데 걸리는 시간이 증가하게 된다. 반대로 중간 노드에서 데이터 병합을 충분히 하지 않고 바로 수신한 데이터를 싱크 노드로 전달하게 되면 센싱 정보의 수집 시간은 줄어드나 데이터 전송 횟수의 증가

로 노드의 에너지 소모가 증가한다. 따라서 센싱 정보의 수집 시간과 노드의 에너지 소비량 간에는 트레이드 오프(tradeoff) 관계가 존재한다. 따라서 이 두 성능은 WSN에서 사용하는 데이터 중심 라우팅 방식에 의해 결정된다.

기존 데이터 중심 라우팅 방식에서는 두 성능의 트레이드오프 관계에서 한 성능의 최소 요구사항을 만족시키면서 다른 하나의 성능을 극대화 시키는 목적으로 다수의 알고리즘이 제안되었다[5-7]. 하지만, 본 논문에서는 이러한 두 성능간의 트레이드오프를 극복하여 노드의 에너지 소비를 최소화하면서도 빠른 시간 내에 센싱 정보를 수집하는 에너지 효율적인 데이터 중심 라우팅 알고리즘을 제안한다. 여기에서 에너지 효율은 네트워크에서 소비되는 에너지 대비 싱크 노드에서 얻을 수 있는 센싱 데이터양으로 정의되며 [8], 이를 최대화하기 위하여 에너지 소비를 최소화하는 기존 최소 신장 트리 라우팅(minimum spanning tree routing; MSTR) 기법과 수집 시간을 최소화 하는 기존 최단 경로 라우팅(shortest path routing; SPR) 기법의 특징을 결합 적용한다. 아울러 기존 데이터 중심 라우팅 알고리즘에서는 주로 싱크 노드가 결정된 상황을 고려하여 라우팅을 수행하였는데[9], 제안 방안에서는 이러한 제약 없이 어떠한 노드도 싱크 노드가 될 수 있는 상황을 고려하여 라우팅시 최적의 싱크 노드를 함께 결정하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 라우팅 알고리즘은 정보 수집 시간과 에너지 소비량 측면에서 트레이드오프 관계를 깨고 둘 다 향상된 성능을 보여주며, 이로 인하여 높은 네트워크 에너지 효율을 달성한다.

논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 고려하는 WSN의 시스템 모델을 기술하고 풀고자 하는 문제를 정의한다. III장에서는 제안하는 데이터 중심 라우팅 알고리즘에 대해서 자세히 설명하고, IV장에서는 시뮬레이션 결과를 보여준다. V장에서 본 연구의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

고려하는 WSN는 n 개의 노드를 가지며, 이 중 1개의 노드가 싱크 노드로 동작하고, 나머지 $n-1$ 개의 노드는 센서 노드로 동작한다. 싱크 노드의 인덱스를 s 로 정의

한다 ($s \in \{1, 2, \dots, n\}$). 모든 센서 노드는 주기적으로 고정 크기의 센싱 데이터를 발생시키며, 중간 노드는 모든 하위 노드의 센싱 데이터를 병합하여 다음 노드로 전송한다. 병합시 입력된 다수의 센싱 데이터는 하나의 센싱 데이터 크기로 출력된다고 가정한다[1-3].

사용되는 파라미터와 성능 지표는 다음과 같이 정의된다.

- C_{ij} : 노드 i 와 j 사이의 링크 비용
- D_{is} : 센서 노드 i 와 싱크 노드 s 사이의 최단 거리 비용으로 최단 경로 상의 모든 링크 비용의 합
- 정보 수집 시간(second): 모든 센서 노드로부터 발생한 센싱 정보가 싱크 노드에 도착하는데 걸리는 시간 ($\max\{D_{is}\}$ 에 비해, $\forall i \neq s$)
- 에너지 소비량 (Joule): 정보 수집 시간 동안 모든 노드가 데이터를 송수신하는데 소비되는 에너지의 총량 ($\sum\{C_{ij}\}$ 에 비해, 링크 ij 는 라우팅 경로의 구성 링크)
- 네트워크 에너지 효율 (b/s/Hz/J): 단위 에너지, 대역폭, 시간을 가지고 수집 가능한 센싱 데이터양 (주기적으로 발생하는 센싱 데이터의 크기는 일정하므로 정보 수집 시간 $\max\{D_{is}\}$ 와 전체 노드의 에너지 소비량 $\sum\{C_{ij}\}$ 에 반비례)

제안하는 데이터 중심 라우팅 알고리즘의 목표는 WSN에서 정보 수집 시간과 노드의 에너지 소비량을 최소화하여 네트워크 에너지 효율을 최대화하는 것이다. 정보 수집 시간을 최소화하기 위한 목적 함수는 다음과 같다.

$$\min \max\{D_{is}\}, \quad \forall i \neq s \quad (1)$$

또한 노드의 에너지 소비량을 최소화하기 위한 목적 함수는 다음과 같이 기술된다.

$$\min \sum\{C_{ij}\}, \quad ij \subset \text{Constructed Routing Path} \quad (2)$$

따라서 네트워크 에너지 효율을 최대화하는 제안 라우팅 알고리즘의 목적함수는 식 (1)과 (2)를 결합하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\max\{1 / (\max\{D_{is}\} \times \sum\{C_{ij}\})\} \quad (3)$$

$$s.t. \quad s \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad i \neq s \quad (4)$$

III. 제안하는 라우팅 알고리즘

식 (3)과 같이 두 성능이 조합된 경우 최적의 라우팅 경로를 찾는 것은 NP-hard 문제로 높은 복잡도를 요구한다[4]. 따라서 본 논문에서는 정보 수집 시간과 에너지 소비량 각각의 성능을 최적화하는 기존 라우팅 알고리즘을 기반으로 이들의 특징을 결합 적용하는 휴리스틱(heuristic) 방법을 제안한다.

기존 방식과 제안 방식의 동작을 이해하기 위하여 그림 1의 하나의 토폴로지 예에서 각 방안의 라우팅 결과를 살펴보고 동작을 설명한다. 정보 수집 시간 측면에서 최적의 연결 구조를 제공하는 라우팅 방식은 SPR이다[10]. SPR은 모든 센서 노드와 싱크 노드가 최단 경로로 연결되므로 전체 센싱 정보를 수집하는데 드는 시간이 가장 짧다. 그림 1(a)는 노드 수가 20개 일 때 SPR에 의한 경로 설정의 예를 보여준다. 이때 싱크 노드는 전체 노드 중에서 최대 거리(maximum distance)를 최소화하는 노드로 선택된다. 여기에서는 모든 노드와의 거리를 계산해 보았을 때 최대 거리가 가장 작은 값을 제공하는 노드 8이 싱크 노드가 된다. 그리고 노드 8이 싱크 노드가 될 때 최대 거리를 갖는 노드(max dist node)는 노드 7이 된다. 이와 같이 SPR은 최대 거리를 최소화함으로써 정보 수집 시간을 최소화한다. 하지만 SPR에서는 중간 노드에서 데이터 병합 기회가 줄어들고 연결 경로의 구성 링크 비용의 합이 증가하여 노드의 에너지 소비량이 증가하는 단점이 존재한다.

반면 노드의 에너지 소비 측면에서 최적인 라우팅 방식은 MSTR이다[11]. MSTR은 노드간 연결 링크 비용의 총 합이 가장 적어 노드의 에너지 소비 총량이 가장 적지만, 센서 노드와 싱크 노드와의 연결 거리가 멀어져 센싱 정보의 수집 시간이 증가한다. 그림 1(b)는 노드 수가 20개 일 때 MSTR에 의한 경로 설정의 예를 보여준다. MSTR에서 싱크 노드는 결정된 최소 신장 트리에서 최대 거리를 최소화하는 노드로 선택된다. 하지만 MSTR은 연결 링크 비용의 합만을 우선적으로 고려하므로 최대 거리는 SPR과 비교하여 큼을 확인할 수 있다. 그림에 표시된 것처럼 최대 거리를 갖는 노드와 싱크 노드와의 거리에 의해서 정보 수집 시간이 결정되며, 트리를 구성하는 링크 비용의 합에 의해서 에너지 소비량이 결정된다. 각 그림 아래에 표시된 정보 수집 시간(time)과 에너지 소비량(energy)은 SPR과 MSTR이 서

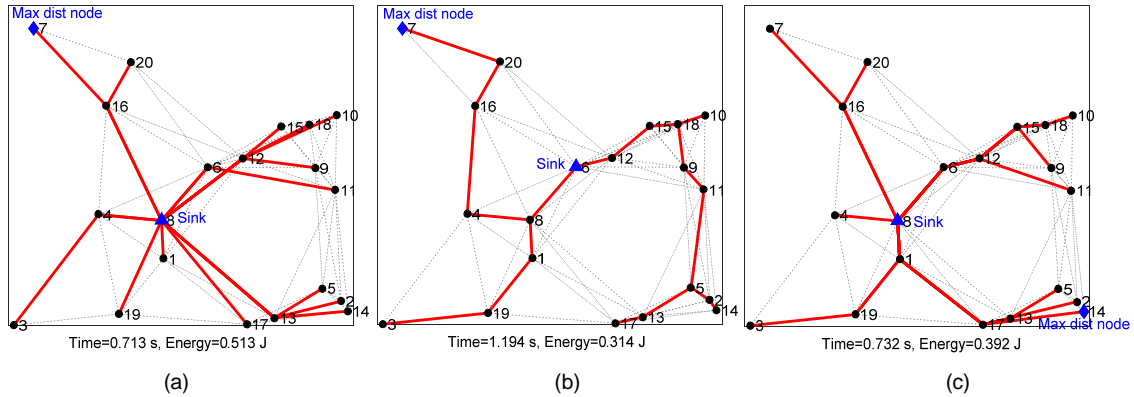


Fig. 1 Example of routing path setup by (a) SPR, (b) MSTR, and (c) the proposed routing scheme

로 트레이드오프 성능을 가짐을 보여준다.

제한하는 라우팅 방식은 각 성능의 최적 라우팅 방식에 해당되는 SPR과 MSTR을 결합 적용한다. 먼저 제안 방안은 정보 수집 시간을 최소화하는 전략을 추구하여 SPR에서 결정된 싱크 노드를 동일하게 사용한다. 이후 정보 수집 시간을 최소화하기 위하여 SPR에서 결정된 최대 거리를 갖는 연결 경로를 초기 경로로 사용한다. 이 초기 토폴로지에 아직 연결되지 않은 노드들을 MSTR의 전략과 같이 최단 링크 비용을 갖도록 연결시키면서 트리를 확장시킨다.

그림 1(c)의 예를 들어 설명하면, 제안 방안은 SPR에서 결정된 싱크 노드 8을 동일하게 싱크 노드로 설정한다. 이후 최대 거리를 갖는 노드 8, 16, 7로 구성된 초기 최장 경로에 싱크 노드와 가까운 순서대로 노드 1, 4, 6이 최소 링크 비용을 갖도록 연결된다. 이 확장된 트리 구조에 다음 단계의 노드 12, 19, 17, 20번이 마찬가지로 최소 링크 비용을 갖도록 연결된다. 이와 같이 점점 트리가 확장되면서 다음 단계의 노드들이 확장된 트리에 최소 링크 비용을 갖도록 연결된다. 하지만 노드 2, 9, 11번과 같은 경우에는 최소 링크 비용을 갖는 가장 가까운 노드와의 연결이 기존의 최대 거리를 증가시키기 때문에 최대 거리를 증가시키지 않는 선에서 링크 비용이 가장 작은 노드에 연결된다. 마지막으로 노드 14번을 추가할 때에는 모든 경우에 최대 거리를 증가시키기 때문에 최대 거리의 증가를 최소화하는 연결을 선택하여 노드 13과 연결된다. 이와 같이 제안 방안은 센서 노드와 싱크 노드의 최대 거리를 최소화하는 전략을 따르면서 각각의 연결 링크 비용을 최소화 하도록 토폴로

지를 구성한다. 이와 같은 전략은 제안 라우팅 방식이 SPR보다는 낮은 에너지 소비량을 가지면서 MSTR보다는 작은 정보 수집 시간을 갖도록 해준다.

Table. 1 Algorithm of the proposed data-centric routing

```

/* Initialization */
01: Find SPR for all sink node  $s \in \{1, 2, \dots, n\}$ 
02: Decide sink node  $s$  that minimize  $D_{is}$  for  $\forall i \neq s$ 
03: Set  $D_{max} = \max\{D_{is}\}$  for  $\forall i \neq s$ 
04: Set  $L = \{i \mid \text{nodes on the path with } D_{max}\}$ 
/* Operation */
05: Sort nodes  $i \notin L$  according to  $D_{is}$  with ascent order
06: for sorted nodes  $i \notin L$ 
07: Find  $\min\{C_{ij}\}$  subject to  $C_{ij} + D_{js} < D_{max}$  for  $\forall j \in L$ 
08: if  $j$  is not found then
09: Find  $\min\{C_{ij} + D_{js}\}$  for  $\forall j \in L$ 
10:  $D_{max} = \min\{C_{ij} + D_{js}\}$ 
11: end if
12: node  $i$ 's next hop =  $j$ 
13:  $L = L \cup \{j\}$ 
14: end for
    
```

제안하는 데이터 중심 라우팅 알고리즘은 표 1에 자세히 기술되어 있다. 제안 알고리즘에서는 먼저 정보 수집 시간인 $\max\{D_{is}\}$ 가 최소화 되도록 싱크 노드를 결정한 후에 $\max\{D_{is}\}$ 를 증가시키지 않으려고 노력하면서 $\sum\{C_{ij}\}$ 를 최소화시킨다. 이를 위하여 아직 연결되지 않은 노드 j 에 대하여 $C_{ij} + D_{js}$ 값을 구하여 이전에 결정된 $\max\{D_{is}\}$ 값을 넘는지 여부를 검사한다. 만약 $\max\{D_{is}\}$ 값을 넘는다면 $C_{ij} + D_{js}$ 가 최소가 되는 노드 j

를 선택하여 $\max\{D_{is}\}$ 와 $\sum\{C_{ij}\}$ 를 최소화하는 방식으로 동작한다. 참고로 제안 알고리즘의 반복 동작은 노드 수(n)만큼의 수행되므로 $O(n)$ 의 낮은 계산 복잡도를 가짐을 알 수 있다.

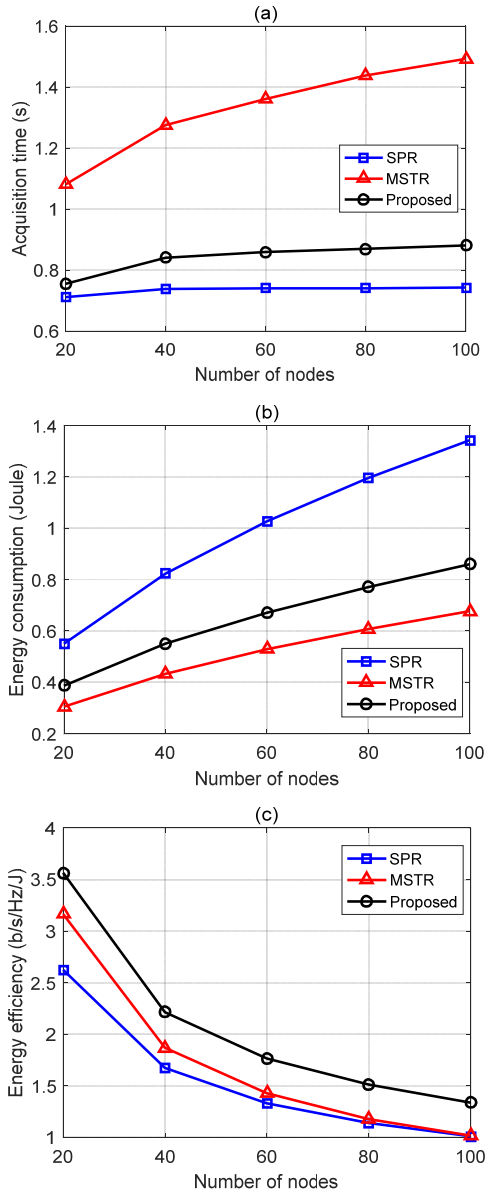


Fig. 2 Performance comparison: (a) acquisition time, (b) energy consumption, and (c) energy efficiency

IV. 결과 및 고찰

모의실험을 위하여 한 번의 길이(W)가 1000 m인 정사각형 영역에 n 개의 노드를 랜덤하게 분포시켰다. 이때, 노드의 통신 반경은 $2W/\sqrt{n}$ 로 결정된다[12]. 모든 노드가 서로 멀티홉 연결이 가능한 토폴로지만을 고려하고, 데이터 병합을 위한 송수신 스케줄링이 완벽하여 충돌 및 전송 에러는 없다고 가정한다. 모든 노드는 주기적으로 100 kbits의 센싱 데이터를 발생시키며, 채널 대역폭은 100 kHz이고, 송수신에 드는 전력은 100 mW로 가정한다[2, 3].

그림 2는 노드 수의 증가에 따라 기존 SPR 및 MSTR과 제안 방식의 센싱 정보 수집 시간, 에너지 소비량, 에너지 효율 성능을 보여준다. 이들 성능 지표는 II장에 정의되어 있다. 정보 수집 시간 측면에서 보면 SPR이 최적 성능을 보이며 제안 라우팅 방식이 SPR에 근접한 낮은 정보 수집 시간을 보여준다. 하지만 MSTR은 상대적으로 긴 정보 수집 시간을 갖는다. 반면, 에너지 소비량 측면에서 보면 MSTR이 최적 성능을 보여주며 제안 라우팅 방식이 MSTR에 근접한 낮은 에너지 소비량을 보여준다. 하지만 SPR은 높은 에너지 소비량을 보인다. 이와 같이 기존 SPR와 MSTR은 정보 수집 시간과 에너지 소비량 사이에서 트레이드오프 관계를 갖지만, 제안한 라우팅 방식은 이 트레이드오프 관계를 넘어 두 성능을 동시에 향상시킴을 볼 수 있다. 따라서 두 성능을 통합한 네트워크 에너지 효율 성능 측면에서 보면 SPR과 MSTR은 노드 수가 증가함에 따라 서로 비슷한 성능을 갖지만, 제안한 라우팅 방식은 기존 두 방식 대비 향상된 에너지 효율을 보여준다.

V. 결론

제안한 데이터 중심 라우팅 방식은 빠른 정보 수집을 위하여 최소 수집 시간을 갖는 SPR을 기반으로 센서 노드와 싱크 노드간 최대 거리의 증가를 최소화하도록 경로를 설정한다. 또한, 에너지 소비를 줄이기 위하여 최소 에너지 소비를 갖는 MSTR의 기법을 적용하여 노드 간 연결 링크 비용을 최소화하도록 경로를 설정한다. 아울러 기존 방식과 차별화하여 라우팅 시에 최적의 싱크 노드를 함께 결정하는 통합 알고리즘을 제안하였다.

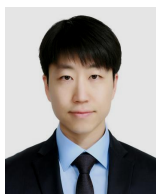
시뮬레이션 결과, 제안하는 라우팅 알고리즘은 짧은 정보 수집 시간과 낮은 에너지 소비량을 가지며, 이로 인하여 네트워크 에너지 효율을 극대화할 수 있었다. 향후 노드 개별적으로 동작하는 분산 알고리즘으로의 확장을 통하여 WSN 환경에서 효과적으로 활용 가능하리라 기대한다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (NRF-2016R1C1B1016261).

REFERENCES

- [1] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, "The impact of data aggregation in wireless sensor networks," in *Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems*, Vienna, Austria, pp. 575-578, July 2002.
- [2] T.W. Kuo, K.C.J. Lin, and M.J. Tsai, "On the construction of data aggregation tree with minimum energy cost in wireless sensor networks: NP-completeness and approximation algorithms," *IEEE Trans. on Computers*, vol. 65, no. 10, pp. 3109-3121, Oct. 2016.
- [3] S. Wan, Y. Zhang, and C. Jia, "On the construction of data aggregation tree with maximizing lifetime in large scale wireless sensor networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 20, pp. 7433-7440, Oct. 2016.
- [4] Z. Ghaffari, T. Jafari, and H. E. Shahraki, "Comparison and Analysis Data-Centric Routing protocols in wireless sensor networks," in *Proceedings of IEEE Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Gwalior, India, pp. 351-355, 2013.
- [5] F. Zabin, et al., "REEP: data-centric, energy-efficient and reliable routing protocol for wireless sensor networks," *IET communications*, vol. 2, no. 8, pp. 995-1008, Aug. 2008.
- [6] T. A. Alkhdour and U. Baroudi, "A generalised energy-aware data centric routing for wireless sensor network," in *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing and Communications*, Dubai, United Arab Emirates, pp. 117-120, 2007.
- [7] H.H. Yen, F.Y.S. Lin, and S.P. Lin, "Efficient data-centric routing in wireless sensor networks," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, Seoul, Korea, pp. 3025-3029, 2005.
- [8] F.Y.S. Lin, et al. "MAC aware energy-efficient data-centric routing in wireless sensor networks," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, Istanbul, Turkey, pp. 3491-3496, 2006.
- [9] H.H. Choi, "Construction of Energy-Efficient Data Aggregation Tree in Wireless Sensor Networks," *The Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 41, no. 9, pp. 1057-1059, Sep. 2016.
- [10] N. V. Doohan, D. K. Mishra, and S. Tokekar, "Shortest Path Routing Protocol (SPRP) for Highly Data Centric Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of Second Asian Himalayas International Conference on Internet*, Kathmandu, Nepal, pp. 1-4, 2011.
- [11] Y. Cui, and H. Qin, "Data Query Protocol Based on Minimum Spanning Tree for Wireless Sensor Network," in *Proceedings of IEEE International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, Shenzhen, China, pp. 798-801, 2010.
- [12] H.H. Choi, J.R. Lee, B. Roh, M. Hoh, and H. Choi, "Bio-Inspired Routing Protocol Based on Pheromone Diffusion in Mobile Ad Hoc Networks," in *Proceedings of 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies*, New York, US, pp. 399-406, 2015.



최현호(Hyun-Ho Choi)

2001년 2월: KAIST 전기및전자공학과 공학사
2003년 2월: KAIST 전기및전자공학과 공학석사
2007년 2월: KAIST 전기및전자공학과 공학박사
2007년 3월 ~ 2011년 2월: 삼성종합기술원 전문연구원
2011년 3월 ~ 현재: 국립한경대학교 전기전자제어공학과 부교수
※관심분야 : 매체접속제어, 분산자원관리, 저전력 프로토콜, 생체모방 알고리즘, 차세대 이동통신 시스템