

무선 센서네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 수집을 위한 위치 기반 k-독립경로 라우팅 알고리즘*

백장운*, 정승완*, 남영진**, 서대화*

*경북대학교 전자전기컴퓨터학부

**대구대학교 컴퓨터·IT공학부

e-mail: {kutc, tmdrod, dwseo}@ee.knu.ac.kr **yjnam@daegu.ac.kr

Position-Based k-Disjoint Path Routing Algorithm for Reliable Data Gathering in Wireless Sensor Networks

Jang Woon Baek*, Seung Wan Jung*, Young Jin Nam**, Dae-Wha Seo*

*School of Electrical Engineering & Computer Science, KNU

**School of Computer & Information Technology, Daegu University

요 약

본 논문에서는 센서 노드의 고장에도 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 위치 기반 k-독립경로 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 라우팅 알고리즘은 센서 노드의 랜덤 고장률을 고려하여 독립경로의 수(k)를 결정하고, 구역고장으로 인한 데이터 전달률의 저하를 최소화하기 위해 노드의 위치를 바탕으로 k-독립경로를 지리적으로 분산하여 생성한다. 데이터 변동률을 이용하여 중요이벤트의 발생유무를 판단하고, 중요이벤트 발생시에는 k-독립경로를 통해 메시지를 전송함으로써 데이터 전달률을 높이고, 보통이벤트일 때는 단일경로로 메시지를 전송함으로써 에너지 소모를 줄인다. 성능평가를 통해 제안하는 위치기반의 k-독립경로 라우팅 알고리즘은 에너지 효율이 높고, 중요이벤트의 데이터 전달률이 높음을 알 수 있었다. 특히, 구역 고장에 대해 다른 라우팅 알고리즘에 비해 훨씬 높은 견고함을 보였다.

1. 서 론

MEMS, 통신 및 전자 기술의 발달로 무선 센서네트워크를 이용한 응용분야가 확대되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 다수의 센서노드와 하나 이상의 싱크노드(베이스 스테이션)로 구성된다. 센서노드는 물리적 환경 정보를 센싱하고 처리할 수 있으며, 멀티-홉(multi-hop) 통신을 통하여 싱크노드로 데이터를 전송할 수 있다[1]. 센서노드는 제한된 배터리를 사용하기 때문에, 에너지를 효율적으로 사용하여 센서노드의 수명을 늘리는 것이 중요하다.

또한, 센서노드는 배터리 소진, 외부 충격 등에 의해 고장이 발생하기 쉽기 때문에 신뢰성 있는 데이터 전송이 중요하다[2]. 센서 네트워크에서 노드의 고장은 랜덤고장(random failure)와 구역고장(area failure)으로 나뉘어진다[3]. 랜덤고장은 배터리 소진이나 내부 문제 등에 의한 노드 고장으로 발생률이 비슷하다. 구역고장은 센서가 배포된 지역에 폭발이나 지역적 충격에 의한 고장으로 특정 구역내의 모든 노드가 제대로 동작하지 않는다.

무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전달을 위해 제안된 라우팅 알고리즘은 두 부류로 나누어진다. 첫 번째 방법은 복수의 독립경로를 통해서 메시지를 전달하는 다중 경로 라우팅 알고리즘이다[4-6]. 다중 경로 라우

팅 알고리즘은 메시지 전달률은 높일 수 있지만, 많은 노드가 메시지 전송에 참여하기 때문에 전체적인 트래픽이 증가하고 에너지 소모가 단일 경로 라우팅에 비해 상대적으로 크다. 두 번째 방법은 단일 경로를 통해 메시지를 전송하고 노드 고장이 있을 경우에 다른 노드를 찾아 경로를 복구하여 메시지를 전송하는 경로 복구 알고리즘이다[7,8]. 경로 복구 알고리즘은 대안 경로를 찾는 데 추가적인 에너지와 지연이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이전 연구에서 k-독립경로 라우팅 알고리즘을 제안하였다. k-독립경로 라우팅 알고리즘은 평소에는 단일 경로를 유지함으로써 에너지 소모를 줄이고, 중요이벤트 발생시 싱크노드로부터의 거리와 랜덤 노드 고장률을 고려하여 적응적으로 k개의 독립경로를 통해 데이터를 전송함으로써 중요이벤트 데이터 전송률을 높였다. 하지만, k-독립경로 라우팅 알고리즘은 단일노드고장(random node failure)에 비해 구역고장(area failure) 발생시 데이터 전송 신뢰도가 떨어지는 단점이 있다. 기존의 다른 멀티패스 라우팅 알고리즘 또한 센서 노드의 지리적 위치를 고려하지 않고 경로를 생성하기 때문에 구역고장에 대한 전송 신뢰도가 떨어진다[9].

2. 제안 라우팅 알고리즘

본 논문에서는 간단한 홉수 기반의 위치 시스템을 적용한 k-독립경로를 지리적으로 펼쳐서 경로를 생성하여 메시지를 전송하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는

* "본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 2009년도 ITRC 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2009-C1090-0902-0045)

라우팅 알고리즘은 특징은 다음과 같다. 첫째, 데이터 변동률을 이용하여 중요이벤트의 발생유무를 판단하고, 보통 이벤트일 때는 단일경로를 통해 데이터 전송률을 전송함으로써 에너지 효율을 높인다. 둘째, 싱크노드로부터의 홉수와 노드의 랜덤고장률을 고려하여 메시지 전송을 위한 독립경로의 수(k)을 결정함으로써 데이터 전송 신뢰도를 높인다. 셋째, 구역고장에 의한 데이터 전달률 저하를 줄이기 위해 위치기반의 지리적으로 분산된 k -독립경로를 생성한다.

독립경로를 지리적으로 펼치기 위해서는 각 노드의 위치를 알아야한다. 위치 시스템으로는 GPS(Global Positioning System)가 널리 사용되고 있다. GPS 수신기의 가격과 크기는 센서 네트워크의 많은 응용분야에 맞지 않는다. 그리고 센서 네트워크의 많은 응용프로그램은 정확한 노드의 위치를 요구하는 것은 아니다. 위치 기반의 라우팅 프로토콜의 경우에는 센서 노드의 상대적인 위치를 알면 충분하다. GPS 없이 노드에 가상 좌표를 할당하는 여러 가지 기법이 있다. 그 중에서 TDOA (Time Difference Of Arrival), AOA (Angle Of Arrival), TOA(Time Of Arrival)를 이용한 위치 시스템은 대체로 정확한 좌표를 제공하지만, 센서 노드의 기능에 많은 요구사항을 가질 뿐만 아니라 매우 복잡하고 상당한 계산을 요구한다. 이에 비해 홉수 기반의 위치 시스템은 간단하면서도 상대적인 노드의 위치를 알 수 있으므로 위치 기반의 라우팅 알고리즘에 적합하다[10]. 본 논문에서는 홉수기반의 위치시스템을 적용한다. 홉수기간 위치시스템은 간단한 삼각화 알고리즘을 이용하여, 홉수를 결합하여 거리로 변환한다. 세 개의 랜드마크 노드($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)에서 전송한 DDP(distance discovery packet)을 받은 각 노드는 세 개의 랜드마크 노드로부터의 홉간거리를 알게 되고, 이 세 개의 홉간거리를 삼각화 알고리즘에 대입하여 좌표 값(x, y)을 간단히 계산한다.

제안 알고리즘은 쿼리 플러딩, k -독립경로 생성, 그리고 데이터 전송의 세 가지 단계로 나누어진다.

3.1 쿼리 플러딩

쿼리 플러딩에서 각 센서 노드는 베이스 스테이션에서 브로드캐스팅한 쿼리를 부모노드들로부터 받으면 타겟전송률(a), 기준 변동률(DV)을 초기화한다. 그리고 홉수(h)를 하나 증가시키고 쿼리를 다시 브로드캐스팅 한다. 홉수(h)와 타겟 전송률(a)을 이용하여 중요이벤트 발생시 요구되는 독립경로의 수(k_h)를 계산한다. 이 때, 독립경로의 수(k_h)는

$$k_h' = \log(1-a)/\log(1-(1-f)^h) \quad \text{이다}[9].$$

그리고 독립경로가 지리적으로 분산되어 생성되도록 홉수기반의 위치시스템을 이용하여 k_h '개의 부모노드를 선택한다. 이때, 첫 번째 부모노드(P_1)는 BS로부터의 홉수가 가장 작은 노드를 선택한다. 두 번째 부모노드(P_2)는 P_1 로부터 가장 먼 노드, 세 번째 노드(P_3)는 P_2 에서 가장 먼

노드를 선택한다. 같은 방식으로 k_h '개의 부모노드를 선택한다. 그리고 선택된 노드들에게 k -독립경로생성 요청 메시지(REQ_KPATH)를 보낸다. REQ_KPATH는 요청아이디(req_id), 소스ID($source_id$), 송신자($sender_id$) 등을 포함한다.

Algorithm 1: Query Flooding Mechanism

```

 $P_n$  : the parent list of node $_n$ 
 $a$ : target-delivery ratio
 $DV$ : data variation threshold to detect critical events
 $h$ : hop counts of QUERY
if ( QUERY received from  $P_n$ ) then
  initialize  $a, DV$  from QUERY;
  increase  $h$  and rebroadcast QUERY; //  $h \leftarrow h + 1$ 
  compute the number of disjoint path  $k_h'$ ;
  //  $k_h' = \log(1-a)/\log(1-(1-f)^h$ )
  select  $k_h'$  nodes among  $P_n$  considering node position;
  send REQ_KPATH messages to the selected nodes;
endif

```

Algorithm 2: k-disjoint Path Constructing Mechanism

```

if (REQ_KPATH received) then
  if (sink node) then
    send RESP_KPATH to the sender;
  else //intermediating node
    if (same  $req\_id$  exists) then
      send NACK_KPATH message to the sender;
    else
      insert the sender into the routing table as a previous hop;
      send REQ_KPATH to a node among parent list;
    endif
  endif
endif
if (NACK_KPATH received) then
  retransmit REQ_PATH to an alternative node among parent list;
endif
if (RESP_KPATH) then
  if (source node) then
    insert the sender into the routing table as a next hop;
    drop the message;
  else //intermediating node
    insert the sender into the routing table as a next hop;
    send the RESP_KPATH to a previous hop;
  endif
endif

```

3.2 k -독립경로 생성

k -독립경로를 생성하는 과정은 다음과 같다. 싱크 노드가 k -독립경로생성 요청 메시지(REQ_KPATH)를 받으면 독립경로가 생성되었음을 소스노드에게 알리는 응답메시지(RESP_KPATH)를 보낸다. 중계 노드가 동일 요청아이디(req_id)의 REQ_KPATH를 받으면 NACK_KPATH를 보내어 경로의 중복을 방지한다. 새로운 요청아이디를 가지면 송신자를 이전 홉 노드로 라우팅 테이블에 저장하고 REQ_KPATH를 부모 노드 중 하나로 보낸다. NACK_KPATH를 받으면 다른 부모노드로 REQ_KPATH를 재전송한다. 소스 노드가 RESP_KPATH를 받으면 송신자를 다음 홉 노드로 라우팅 테이블에 저장하고

RESP_PATH 메시지를 버린다. 중계노드의 경우에는 송신자를 다음 노드로 저장하고 그 메시지를 이전 홉 노드로 전송한다.

3.3 데이터 전송

기준 데이터 변동률(DV)의 조건을 검사한다. 데이터 변동률(dv)이 DV보다 작을 때, 즉, 중요 이벤트의 발생이 없을 경우에는 주 부모노드(단일 경로 라우팅)로 메시지를 전송한다. 데이터 변동률이 DV보다 크면, 즉 중요 이벤트가 발생했을 경우에는 부모 리스트 중에서 k개의 부모노드(k-독립경로 라우팅)로 메시지를 전송한다.

Algorithm 3: Data Forwarding Mechanism

```

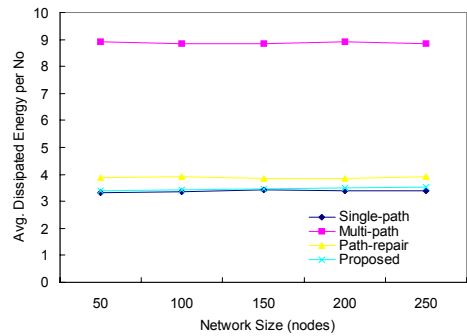
data : Data which is locally sensed or received from child nodes
prev_data: Data locally sensed at previous period
dv: data variation at node
if (data received) then
  if (data from child nodes) then
    forward data to the next hop node;
  else //data locally sensed
    compute dv using data & prev_data;
    if (dv ≤ DV) then
      //non-critical events
      send data to the next hop node;
    else
      //critical events
      send data to each of the ki' parents;
    endif
  prev_data ← data
endif
    
```

4. 성능 평가

본 절에서는 시뮬레이션을 통해서 제안 알고리즘의 성능을 평가한다. 제안한 k-독립경로 라우팅 알고리즘을 NS-2 네트워크 시뮬레이터에 구현하였다[11]. 센서노드는 센싱 지역 내에 랜덤하게 배치되고 고정되어있다. 센서노드의 라디오 전파 범위는 20미터이고, 물리 링크의 대역폭은 250kbps이다. MAC 프로토콜은 무선 센서 네트워크의 특성을 고려한 저전력 MAC 프로토콜인 S-MAC을 사용하였다[12]. 전송 및 수신 파워는 각각 14.88, 12.50mW로 설정하였다. 그리고 대기모드와 슬립모드에서 소모되는 파워는 각각 12.36, 0.016mW이다. 센서 네트워크로부터 수집된 데이터는 매 초마다 주기적으로 싱크노드로 전송된다. 중요 이벤트는 임의의 지역에서 10²초 동안 100회 발생하고, 기준 데이터 변동률은 5퍼센트로 설정했다. 네트워크 사이즈(N), 랜덤고장률(f), 그리고 구역고장반경(R)을 변경하면서 실험하였다.

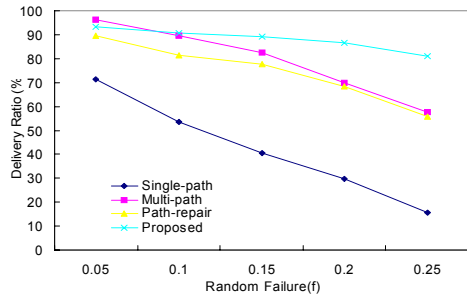
(그림 1)은 평균소모에너지를 비교한 것이다. 중요이벤트가 자주 발생하기 않기 때문에 제안 기법은 에너지 소모가 단일경로라우팅 보다 약간 크고 다중경로라우팅과 비해 훨씬 작다. 노드의 위치 좌표를 얻기 위한 메시지 교환으로 인해 에너지 소모는 무시할 수 있으므로 k-독립경

로와의 비교는 하지 않았다.



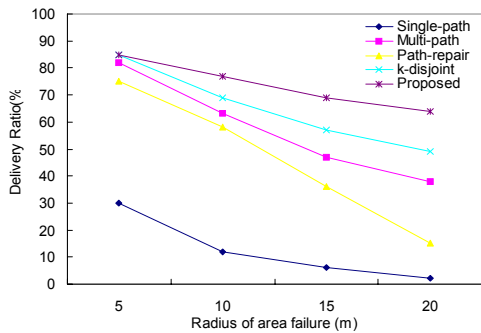
(그림 1) 평균에너지 소모, f=0.1.

(그림 2)는 랜덤고장에 대해 중요이벤트 발생시 데이터 전달률을 비교한 것이다. 랜덤고장에 대해 제안기법과 k-독립경로라우팅의 동작이 동일하기 때문에 성능비교를 하지 않았다. 제안 기법은 노드의 고장률을 고려하여 독립경로의 수(k)를 결정하기 때문에 높은 데이터 전송률이 유지된다.



(그림 2) 랜덤고장시 데이터 전달률, N=100.

(그림 3)은 구역고장 발생시 중요이벤트의 데이터 전달률을 비교한 것이다. 구역고장지역의 반경 내의 모든 노드의 파워를 다운시켜 시뮬레이션 하였다. 구역고장의 반경이 클수록 데이터 전달률이 떨어짐을 알 수 있다. 하지만, 제안 기법은 다른 라우팅 알고리즘에 비해 구역고장에 대해 훨씬 견고함을 보여준다.



(그림 3) 구역고장시 데이터 전달률, N=100, f=0.1.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 센서 노드의 고장에도 신뢰성있는 데이터 전송을 위해 위치 기반 k-독립경로 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 라우팅 알고리즘은 센서 노드의 랜덤 고장률을 고려하여 독립경로의 수(k)를 결정하고, 구역고장으로 인한 데이터 전달률의 저하를 최소화하기 위해 노드의 위치를 바탕으로 k-독립경로를 지리적으로 분산하여 생성한다. 데이터 변동률을 이용하여 중요이벤트의 발생유무를 판단하고, 중요이벤트 발생 시에는 k-독립경로를 통해 메시지를 전송함으로써 데이터 전달률을 높이고, 보통 이벤트일 때는 단일경로로 메시지를 전송함으로써 에너지 소모를 줄인다. 성능평가를 통해 제안하는 위치기반의 k-독립경로 라우팅 알고리즘은 에너지 효율이 높고, 중요이벤트의 데이터 전달률이 높음을 알 수 있었다. 특히, 구역고장에 대해 다른 라우팅 알고리즘에 비해 훨씬 높은 견고함을 보였다.

참고 문헌

- [1] P. Levis, S. Madden, D. Gay, J. Polastre, R. Szewczyk, A. Woo, E. Brewer, and D. Culler, "The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS," Proc. USENIX/ACM Symp. Networked Systems Design and Implementation, 2004.
- [2] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," Computer Networks, Vol. 38, 2002.
- [3] J. Deng, R. Han, and S. Mishra, "A Robust and Light-Weight Routing Mechanism for Wireless Sensor Networks," Workshop on Dependability Issues in Wireless Ad Hoc Networks and Sensor Networks, 2004.
- [4] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "GRAdient Broadcast: A Robust Data Delivery Protocol for Large Scale Sensor Networks," Wireless Networks, 2005.
- [5] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin, "Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," Mobile Computing and Communication Review, Vol 4, No. 5, 2001.
- [6] C. Karlof, Y. Li, and J. Polastre, "ARRIVE: Algorithm for Robust Routing in Volatile Environments," Report No. UCB//CSD-03-1233, Mar. 2003.
- [7] M. Ortolani, L. Gatani, and G. Re, "Robust Data Gathering for Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE International Conference on Networks, Nov. 2005.
- [8] D. Tian and N. Georganas, "Energy Efficient Routing with Guaranteed Delivery in Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Mar. 2003.
- [9] 백장운, 남영진, 서대화 "무선 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적인 메시지 전송 신뢰도 보장 라우팅 알고리즘", 한국통신학회논문지, 2007.
- [10] F. Benbadis, T. Friedman, M. Amorim, and S. Fdida, "GPS-Free-Free Positioning System for Wireless Sensor Networks," Proc. Wireless and Optical Communications Networks, Mar. 2005.
- [11] VINT, "The Network Simulator NS-2," <http://www.isi.edu/nsnam>, 2005.
- [12] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," Proc. IEEE Conf. Computer Communications, Jun. 2002.