

데이터 병합을 이용한 센서 네트워크 라우팅 (Sensor Network Routing using Data Aggregation)

김영균(Young-kyun Kim) 1)

요 약

무선 센서 네트워크에서는 네트워크 부하를 줄이기 위해 다수의 소스 노드가 전송한 데이터를 중간 노드에서 병합하여 전송하는 라우팅 기법을 사용한다. 기존의 DD-G(Directed Diffusion-Greedy) 데이터병합 라우팅 기법은 데이터 병합 노드의 에너지 효율을 고려하여 단일 경로를 구축함으로써 에너지 소모를 줄일 수 있었다. 하지만 싱크 노드에 근접할수록 에너지 소모가 집중되거나 통신 지연이 증가하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 부하 분산을 고려하여 다중 데이터 병합 경로를 구축하는 새로운 데이터 병합 라우팅 기법을 제안한다. 이 기법은 싱크 노드 주변의 네트워크 부하 집중을 분산시키고, 데이터 손실에 대한 재전송 비용을 감소시키기 위해 다중 경로를 이용한다.

ABSTRACT

In this paper we investigate the benefits of a data aggregation to prolong the lifetime of wireless sensor networks. To reduce the overload of messages from source node to sink node, data aggregation technique is generally used at intermediate node in path. The DD-G(Directed Diffusion-Greedy) can diminish the consumption of node energy by establishing energy effective single path from source to destination. In this case, the nodes near sink node have some problems, i) overly concentration of energy consumption, ii) increase of message delay time. To solve these problems, we propose a new data aggregation method which consider distribution of network overload, especially at the nodes close to sink node. The result shows that it can save energy and network delay time.

논문접수 : 2007. 8. 27.

심사완료 : 2007. 9. 10.

1) 안산1대학 인터넷정보과 교수

1. 서론

최근 무선통신, 임베디드 기술 등의 발전으로 저가의 초소형 센서 노드의 개발이 가능해졌다. 센서 노드는 센서와 프로세서, 메모리, 무선 통신 모듈 등으로 구성되며, 배터리와 같은 매우 제한된 에너지를 사용한다. 그리고 센서 노드는 데이터 처리 보다 통신할 때 에너지 소모가 많기 때문에 무선 센서 네트워크의 성능 향상을 위해서 에너지 효율이 높은 통신 프로토콜이 필요하다[1-2].

무선 센서 네트워크의 성능 향상을 위한 하나의 방법은 데이터를 병합하여 전송함으로써 통신비용을 줄이는 것이다. 즉, 다수의 소스 노드가 전송한 데이터를 중간 노드에서 병합하여 전송하는 데이터 병합 기법은 데이터 전송 횟수와 데이터 크기를 줄일 수 있기 때문에 센서 네트워크의 전체 에너지 소모를 줄일 수 있다. 데이터 병합 기법은 데이터 병합 지점과 지연, 시스템의 MTU(maximum transmission unit) 등을 고려하여 데이터 병합 효과를 높일 수 있다[3-6]. 기존의 데이터 병합 기법으로는 GIT(greedy incremental tree)를 이용한 DD-G(directed diffusion-greedy) 기법이 있다[7]. 이 기법은 전체 네트워크 트래픽을 단일 GIT[8]를 이용하여 전송한다. 따라서 소스 노드의 수가 증가할수록 데이터 병합 지연과 병합된 데이터의 크기가 증가한다.

특히 선형 데이터 병합 모델(linear aggregation model)의 경우 병합된 데이터의 크기가 시스템의 MTU를 초과하여 전송 비용 증가 및 데이터 병합의 효율이

떨어질 수 있다. 그리고 싱크(sink) 노드에 가까워 질수록 에너지 소모가 집중되기 때문에 네트워크 분할이 발생할 수 있다. 또한 병합된 데이터에 정보가 집중되므로 패킷 손실로 인한 재전송 비용이 증가하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 DD-G 기법의 문제점을 해결하기 위해 다중 병합 경로를 이용한 라우팅 기법을 제안한다. 이 기법은 시스템이 허용하는 최대 전송 지연과 MTU등을 고려하여 네트워크 크기에 따른 적절한 수준의 다중 병합 경로를 구축하기 때문에 데이터 병합의 대기시간을 줄일 수 있다. 그리고 싱크 노드 주변에서 발생하는 에너지 소모 및 네트워크 트래픽의 집중을 분산시킬 수 있다. 또한 패킷 손실로 인한 재전송 비용을 감소시킬 수 있다.

2. 관련 연구동향

2.1 DD(Directed Diffusion) 라우팅

DD 라우팅은 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 기법이다. DD 기반의 무선 센서 네트워크는 소스 노드, 싱크 노드, 중간 노드로 구성된다. 소스 노드는 특정 현상을 탐지하는 기능을 하고, 싱크 노드는 사용자의 요구를 소스 노드에게 전달하고 데이터를 수집하는 기능을 한다. 그리고 중간 노드는 소스 노드와 싱크 노드 간의 데이터 전달 기능을 한다. 싱크 노드는 사용자가 원하는 정보에 대한 질의 메시지를 센서 네트워크에 전파한다. 질의 메시지 전달 과정에서 질의를 받은 노드는 그 질의 메시지를 송신한 노드 방향으로 경로를 설정한다. 이 과정은 싱크

노드의 질의 메시지가 소스 노드에 전달 될 때까지 반복된다. 질의 메시지를 수신한 소스 노드는 질의 메시지 전달 과정에서 설정된 모든 경로들을 이용하여 초기 데이터를 싱크 노드로 전달한다. 초기 데이터를 수신한 싱크 노드는 네트워크 지연이 가장 낮은 경로를 선택하기 위해 지연이 가장 낮은 경로로 강화(reinforcement) 메시지를 보낸다. 싱크 노드의 강화 메시지가 소스 노드에 도착한 후 소스 노드는 강화 메시지가 전달된 경로로 데이터를 송신하게 된다[9].

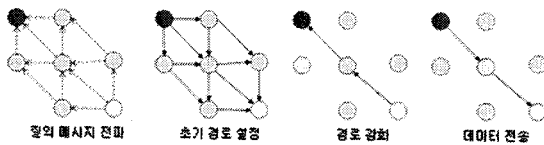


그림 1 Directed Diffusion

2.2 데이터 병합

데이터 병합은 다수의 센서 노드에서 수집된 데이터를 통신 경로상의 특정 노드에서 하나의 패킷으로 통합하는 것이다. 데이터 병합은 무선 센서 네트워크에서 불필요한 패킷 전송을 억제하고, 네트워크의 전체 데이터 크기를 감소시킬 수 있기 때문에 전체 네트워크의 통신 에너지 소모를 줄일 수 있다[3-6].

데이터 병합 기법은 병합된 데이터의 크기에 따라 최적병합(perfect aggregation) 모델과 선형 병합(linear aggregation) 모델로 분류할 수 있다. 최적 병합의 경우 병합된 패킷의 크기는 입력된 데이터 패킷의 크기와 동일하다. 병합 패킷의 크기($L_{Aggregated_packet}$)는 식 (1)과 같이 구한다.

$$L_{Aggregated_packet} = L_{Header} + L_{Payload} \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 L_{Header} 는 패킷 헤더의 크기이고 $L_{Payload}$ 는 병합된 데이터의 크기이다.

선형 병합 모델의 경우 병합된 패킷의 크기는 입력된 패킷의 수에 비례하여 증가된다. 식(2)에서 병합된 데이터의 크기는 $N*L_{Payload}$ 이다. 여기서 N 은 입력된 패킷의 수이다.

$$L_{Aggregated_packet} = L_{Header} + (N*L_{Payload})\dots\dots(2)$$

2.3 DD-G(Directed Diffusion Greedy) 라우팅

DD-G[7] 라우팅은 DD에 기반한 데이터 병합 라우팅 기법이다. 이 기법은 최적 데이터 병합 모델을 가정하고 GIT[8]를 이용한 데이터 병합 경로를 구축한다. 또한 DD 기법 보다 많은 데이터 병합 기회를 제공하고 에너지 효율적인 데이터 병합 지점을 생성하기 때문에 무선 센서 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있다.

DD-G는 데이터 병합 지점을 설정하기 위해 소스 노드와 기존 경로간의 최단 지점을 찾는다. 이때 에너지 비용(E)과 확장(incremental)비용(C)을 사용한다. E는 소스 노드와 현재 노드간의 홉 수이고, C는 소스 노드와 기존 경로간의 홉 수이다. GIT를 이용한 데이터 병합 경로 구축 과정은 그림 2와 같다.

1. DD 기법을 이용하여 첫 번째 소스 노드와 싱크 노드간의 경로를 설정한다.
2. 다른 소스 노드가 송신한 초기 데이터를 기존 경로상의 소스 노드가 수신할 경우, 확장비용(C) 메시지를 싱크 노드로 전송한다.
3. 싱크 노드가 확장비용 메시지를 받은 후 강화 메시지를 전파한다.
4. C=E인 노드가 데이터 병합 지점이 된다.

그림 2 GIT를 이용한 데이터 병합 경로 구축 과정

그림 3은 DD-G의 데이터 병합 경로 설정 예제이다.

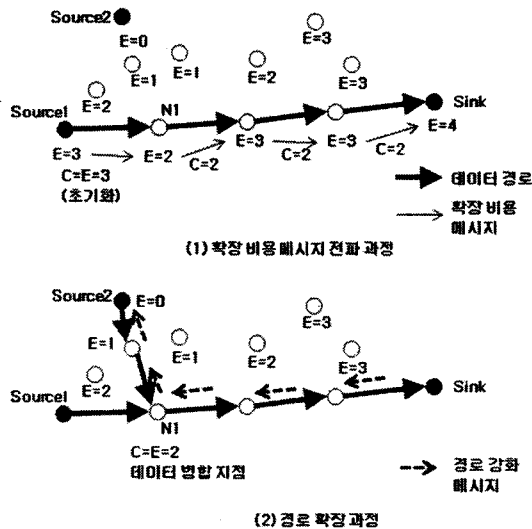


그림 3 DD-G 라우팅 경로 구축 예제

그림 3에서 Source1과 Sink의 경로가 존재하고, source2는 초기 데이터를

네트워크에 전파한다. source1이 데이터를 수신한 후 그에 대한 확장 메시지를 Sink에게 전송한다. 경로상의 각 노드는 $E < C$ 일 경우 $C = E$ 로 업데이트 한다. sink 노드가 확장 메시지를 수신한 후 source2에 대한 강화 메시지를 현재 경로로 전송한다. N1 노드의 경우 $E = C$ 인 노드이므로 source2의 방향으로 강화 메시지를 전달한다. 그 결과source2는 기존 경로의 가장 가까운 지점에 연결된다.

DD-G에 의해 구축된 경로는 전체 네트워크를 단일 GIT에 의해 연결한다. 또한 생성된 데이터 병합 지점은 소스 노드에 인접한 노드들로 구성된다. 따라서 싱크 노드에 근접 할수록 패킷 손실에 따른 데이터 재전송 비용이 증가하고 에너지 소모도 집중된다. 그리고 선형 데이터 병합 모델을 적용할 경우 소스 노드의 수에 비례하여 병합된 데이터의 크기가 증가하기 때문에 병합된 데이터를 한번에 전송할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 다중 병합 경로를 이용한 새로운 데이터 병합 라우팅 기법을 제안한다.

3. MPRS(Multi Path Routing Scheme)

본 논문에서는 다중 경로를 사용한 새로운 데이터 병합 라우팅 기법으로 MPRS(Multi Path Routing Scheme) 기법을 제안한다. 이 기법에서는 다중 경로를 구축하기 위해 각 경로의 루트 노드를 선정한다. 그리고 각 루트 노드에 대한 경로를 구축함으로써 독립적인 다중 경로

를 구축한다. 마지막으로 생성된 각 경로에서 독립적인 데이터 병합 경로 설정 단계를 수행함으로써 전체 네트워크의 경로 구축을 완료한다. 또한 제안한 기법에서는 다양한 무선 센서 네트워크 응용을 고려하여 선형 데이터 병합 모델을 가정한다.

3.1 다중 경로 구축

MPRS 기법에서는 독립적인 각 경로에서 루트 노드를 선정한다. 전체 네트워크의 다중 경로 수는 루트 노드의 수로 결정한다. 루트 노드의 수와 소스 노드의 수가 같을 경우, 모든 소스 노드의 경로가 독립적으로 구축되기 때문에 데이터를 병합하지 않는 경로를 구축한다. 루트 노드의 수가 1인 경우, 기존의 GIT와 유사한 경로를 구축한다. 따라서 적절한 수의 루트 노드를 결정하는 것이 중요하다. MPRS 기법의 루트 노드 선정 방법은 식(3)과 같다.

$$N_{root} = N_{source} / N_{source/path} \dots\dots\dots (3)$$

루트 노드의 수(N_{root})는 전체 네트워크의 소스 노드 수(N_{source})와 각 경로의 최대 소스 노드 수($N_{source/path}$)에 의해 결정된다. 또한, 각 경로의 최대 소스 노드 수는 시스템의 MTU를 고려하여 결정한다.

$$L_{Aggregated_data} \leq (MTU - L_{Header}) \dots\dots\dots (4)$$

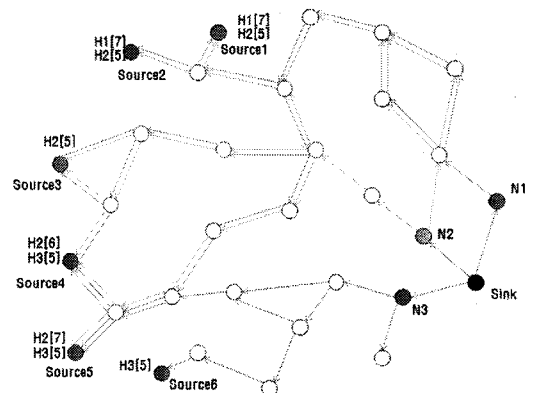
식(4)와 같이 병합된 데이터 ($L_{Aggregated_data}$)는 시스템의 최대 전송 데

이터 크기($MTU - L_{Header}$)를 초과할 수 없다. 루트 노드는 식(3)에 의해 싱크 노드의 이웃 노드들 중 잔여 에너지가 많은 노드로 결정된다. 각 루트 노드는 루트 노드의 ID를 포함한 데이터 요구 메시지를 네트워크에 전파한다.

각 루트 노드에 의한 다중 경로 구축 방법은 그림 4와 같다.

1. 각 루트 노드들은 자신의 ID가 추가된 데이터 요구 메시지를 전체 네트워크에 전파한다. 다른 루트 노드들로부터 수신된 데이터 요구 메시지는 무시한다.
2. 소스 노드들은 수신된 데이터 요구 메시지 중 가장 홉 수가 적은 루트 노드로 초기 데이터를 전송한다.
3. 최대 소스 노드 수를 가지는 루트 노드는 전체 네트워크로 full 메시지를 전파한다.
4. 소스 노드가 full 메시지를 수신한 경우 다음으로 홉 수가 적은 루트 노드로 초기 데이터를 전송한다.

그림 4 루트 노드에 의한 다중 경로 구축 방법



(1) 질의 메시지 전파 과정

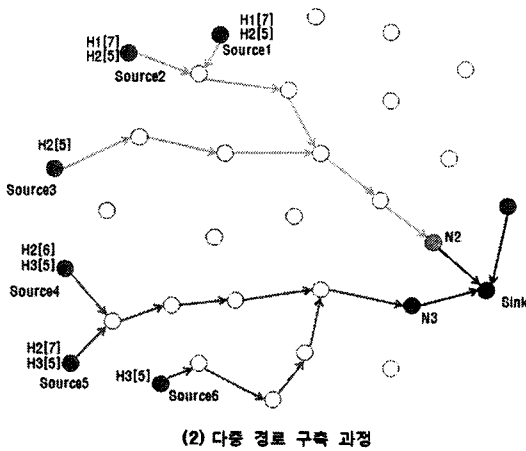


그림 5 다중 경로 구축 과정의 예

MPRS 기법은 그림 5를 이용하여 자세히 설명한다. 그림 5의 (1)질의 메시지 전파 과정에서 N1~N3는 Sink에 의해 루트 노드가 되고 각 루트 노드의 ID가 추가된 질의 메시지는 여러 중간 노드를 경유하여 source1~6에 전달된다. 질의 메시지의 홉 수는 중간 노드들을 경유하면서 증가한다. H2[5]의 경우, 2는 루트 노드의 ID를 나타내고 [5]는 홉 수를 나타낸다. (2) 다중 경로 구축 과정에서 각 source들은 수신된 질의 메시지의 홉 수(H)를 비교하여 최소의 홉 수를 가진 루트 노드와 독립적인 경로를 구축하고, 초기 데이터를 전송한다.

3.2 데이터 병합 경로 구축

데이터 병합 경로 구축은 기존의 DD-G 기법[7]과 유사한 방법으로 이루어진다. DD-G 기법에서는 현재 소스 노드와 기존의 경로간 가장 가까운 노드에 경로를 연결한다. 하지만 제안한 MPRS 기법의

경우, 현재 소스 노드는 반드시 자신의 루트 노드를 포함한 경로에 연결해야 한다. 예를 들어, 그림 5에서 N3의 경로보다 Source6과 더 가까운 경로가 존재하더라도 source6의 루트 노드는 N3이기 때문에 N3의 경로에 연결된다.

4. 성능 평가 및 결과 분석

본 논문에서는 DD-G 기법과 제안한 MPRS 기법의 성능을 비교 평가한다. DD-G와 MPRS 기법의 성능평가는 선형 데이터 병합 모델로 가정한다. 성능 평가 요소는 데이터 손실률, 병합된 데이터 크기, 그리고 소스 주변 노드의 에너지 소모율이다. 성능 평가를 위한 네트워크 설정은 표 1과 같다

표 1 네트워크 설정

병합된 패킷 손실률	20 %
소스 노드 수	9 개
시스템의 MTU	36 byte
L _{header}	16 byte
L _{payload}	2 byte

주어진 네트워크 설정에서 다중 경로의 수를 구하기 위해 각 경로의 최대 소스 노드 수와 루트 노드 수를 다음과 같이 계산한다. 병합된 데이터의 최대 크기는 식 (4)에 의해 계산하면 20 바이트이다. 그리고 각 경로의 최대 소스 노드 수는 10 이 된다. 식 (3)에 의해 전체 네트워크의 루트 노드 수는 3 이 된다. 각 경로의 소스 노드 수는 동일하게 할당된다고 가정한다.

4.1 데이터 손실률

각 경로에서 병합된 패킷의 손실률은 20%이고 전체 네트워크의 소스 노드 수는 9이다. DD-G의 경우 단일 경로를 통해 전송되는 병합된 데이터의 크기는 18 byte이다. 제안한 기법의 경우 각 경로당 3개의 소스 노드가 연결되고 6 byte의 병합된 데이터가 각각 전송된다.

DD-G의 경우 병합된 전체 데이터가 단일 경로를 통해 전송되므로 손실될 확률은 20%이다. 제안한 기법의 경우 각 경로당 3개의 소스 노드들에 데이터가 분산되어 전송되므로 전체 데이터가 손실될 확률은 다음과 같다.

$$E_{total_data} = E^n_{Aggregated_data} \quad (n: \text{루트노드}) \dots (5)$$

식 (5)에서, E_{total_data} 는 모든 소스 노드의 데이터가 손실될 확률이고 $E_{Aggregated_data}$ 는 하나의 병합된 데이터가 손실될 확률이다. 식(5)에 의해 제안한 기법의 전체 데이터가 손실될 확률은 0.8%이다. 따라서 병합된 패킷 손실로 인한 데이터 재전송 비용이 감소한다.

4.2 네트워크 부하 분산

DD-G 기법에서는 최적 데이터 병합 모델을 가정한다. 따라서 각 소스 노드로부터 데이터 병합 노드로 전송된 데이터의 수가 증가하더라도 병합된 데이터의 크기는 증가하지 않는다. 그러나 선형 데이터 병합 모델을 사용할 경우 소스 노드 수에 비례하여 병합된 데이터의 크기가 증가한다. 이때 병합된 데이터의 크기가 시스템

의 MTU를 초과할 수 있으므로 식 (4)의 조건을 만족시키지 못한다. 즉, 수신된 모든 데이터를 하나로 병합하여 전송하지 못하기 때문에 전송 횟수를 줄이지 못한다. 그리고 소스 노드에 근접 할수록 노드당 전송하는 데이터가 증가하기 때문에 전송에 따른 에너지 소모가 많아진다. 또한 소스 노드 수에 비례하여 데이터 병합 지연이 증가하므로 전체 네트워크의 전송 지연도 증가한다.

하지만 MPRS 기법에서는 다중 경로를 통해 각 경로에서 병합된 데이터를 한번에 전송할 수 있기 때문에 데이터 전송에 따른 에너지 소모가 줄어든다. 또한 각 노드의 에너지 소모가 분산되므로 전체 네트워크의 성능이 향상된다.

5. 결론

기존의 DD-G (Directed Diffusion-Greedy) 데이터 병합 라우팅 기법은 데이터 병합 노드의 에너지 효율을 고려하여 단일 경로를 구축함으로써 에너지 소모를 줄일 수 있었다. 하지만 단일 경로를 통하여 데이터 전송이 이루어지기 때문에 패킷 손실에 따른 재전송 비용이 증가하고, 싱크 노드에 근접 할수록 네트워크 부하가 집중되어 전체 네트워크의 성능이 저하된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 다중 경로를 이용한 새로운 데이터 병합 라우팅 기법을 제안하였다. 이 기법은 다중 데이터 병합 경로를 구축하여 전체 네트워크의 부하 분산 및 재전송 비용을 줄일 수 있었다. 그리고 전체 네트워크를 구성하는 각 노드의 생존 시간

(life-time)을 연장함으로써 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있었다.

향후 연구 과제로는 다양한 네트워크 모델에 본 논문에서 제안한 MPRS기법을 적용하여 성능을 검증하는 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

[1] Akyildiz, I.F., Weilian Su Sankarasubramaniam and Y. Cayirci E. "A Survey on Sensor Networks," Communication Magazine, Vol. 40, pp.102-114, Aug. 2002.

[2] H.Takahashi, W.Kaiser, "Wireless Sensor Networks," Communication of the ACM, Vol. 43(5), pp.51-58, May 2000.

[3] B. Krishnamachari, D.Estrif, and S. Wicker, "Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks," IEEE INFOCOM, Jun. 2002.

[4] Xiaohua Dai, Feng Xia, Zhi Wang, and Youxian Sun, "An Energy-Efficient In-Network Aggregation Query Algorithm for Wireless Sensor Networks," Innovative Computing, Information and Control, 2006. ICICIC'06, First International Conference, Vol. 3, pp.255-258, Aug. 2006.

[5] I. Solis, K. Obraczka, "In-Network Aggregation Trade-offs for Data Collection in Wireless Sensor Networks," International Journal of Sensor Networks, Vol. 1, No.3/4,

pp.200-212, 2006.

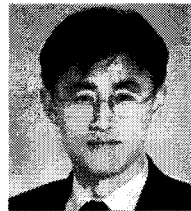
[6] Hong Luo, Yonghe Liu and Sajal K. Das, "Routing Correlated Data with Fusion Cost in Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 5, No. 11, pp.1620-1632, Nov. 2006.

[7] C. Intanagonwiwat, D. Estrin, R. Govindan and J. Heidemann, "Impact of Network Density on Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," Distributed Computing Systems, 22nd International Conference, pp.457-458, Jul. 2002.

[8] H.Takahashi and A.Matsuyama, "An Approximate Solution for Steiner Problem in Graphs," Math.Japonica, Vol. 24(6), pp.573-577, 1980.

[9] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, No. 1, pp.2-16, Feb. 2003.

김 영 균



1998년 ~ 현재 안산1대 학 인터넷정보과 부교수
관심분야 : 임베디드 시스템, 컴퓨터 네트워크, 센서 네트워크

서 네트워크