

# 센서네트워크 응용 특성을 반영하는 적응적 라우팅 기법

성열탁<sup>o</sup> 차호정

연세대학교 컴퓨터과학과

{uniare1<sup>o</sup>, hjchal}@cs.yonsei.ac.kr

## Application-centric Routing Protocol for Wireless Sensor Networks

Yeultak Sung<sup>o</sup>, Hojung Cha

Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 많은 라우팅 프로토콜이 연구되고 있음에도 불구하고 다양한 응용 프로그램의 요구사항을 만족할 수 있는 최적의 방법은 없다. 본 논문에서는 응용 프로그램들이 요구하는 라우팅 프로토콜의 중요한 영역 인자인 시간성 신뢰성 그리고 에너지 상태를 모두 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅은 해당 가지 영역에 대해 각 노드의 라우팅 cost를 계산하며 해당 영역의 인자를 기준으로 절충한 결과를 이용하여 다음 노드를 선택한다 따라서 각 패킷은 적절한 서비스를 받을 뿐만 아니라 인접 노드의 정보만을 사용하므로 Scalable 하다. 실험 결과는 각 영역에 대한 단일 요구에 대해서는 best-effort service를 하며 복합적 요구에 대해서는 절충 알고리즘을 거쳐 적합한 서비스를 제공함을 보인다.

### 1. 서 론

WSN에서의 응용 프로그램은 다양하며 라우팅 프로토콜에 요구하는 사항이 각각 다르다. Object Tracking 응용 프로그램은 움직이는 물체를 지속적으로 모니터링 해야 하지만 몇 개의 패킷이 유실 되어도 상관없는 실시간성이 강조된 라우팅 프로토콜을 필요로 하며 Structural Monitoring[1]같은 응용 프로그램은 건축물의 결함이라는 중요한 정보를 다루어야 하므로 보다 신뢰성 있는 통신을 요구한다. 또한 넓은 지역에 임의로 설치되어 장시간동안 운용되어야 하는 Environment Monitoring 응용 프로그램을 지원하기 위해 네트워크의 Life 시간을 고려해야 한다.

이러한 응용 프로그램의 요구사항을 만족시키기 위해 [2,3,4,5,6]같은 연구들이 진행되었다. 시간성과 관련된 것으로 SPEED[2]는 다음 노드에서 목적 노드까지의 거리와 현재 노드에서 목적 노드까지의 거리, 그리고 다음 노드로의 패킷 지연으로 패킷의 전달 속도를 가늠하여 가장 빠른 노드를 선택한다. 신뢰성 있는 라우팅을 위해서는 Alec Woo et al.의 연구[3]가 있다. 그들의 연구는 신뢰성 있는 Link를 선택하기 위해 일정시간 t동안 받은 패킷으로 WEWMA를 이용하여 평균 패킷 성공률을 계산한다. 에너지를 고려한 라우팅은 전체 네트워크의 Life 시간을 최대화 하는 것을 주목적으로 한다. Chang[4]은 전송 에너지와 초기 에너지로 정규화 시킨 남은 에너지와의 곱을 cost로 삼아 Bellman-Ford 알고리즘을 이용하여 Path를 설정한다. 하나의 영역에 대해 고려한 위의 연구들은 모두 차별화된 서비스를 제공하지 못한다. 즉 다양한 응용 프로그램의 요구에 적합하지 않다. MMSPEED[5]와 같은 프로토콜은 실시간성과 신뢰성 그 두 가지를 고려한 것으로 다른 연구와 차별화된 것이다. 기존의 SPEED[2]와 ReinForM[6]을 조합하여 이론 결과이나 에너지를 고려하지 않았으며 해당 논문에서는 실제 센서에 구현 하지 않았다.

하지만 지금까지 위의 라우팅 프로토콜들은 일부 영역만 고려하여 다양한 응용 프로그램의 요구에 응하지 못했다. 이렇게 단일 영역에 대한 연구결과는 해당 영역에 대한 요구만을 만족하므로 응용 프로그램에 따라 라우팅 프로토콜을 선정하고 센서 노드에 적재 시켜야 한다. 즉, 응용 프로그램 개발자에게 라우팅 프로토콜에 대한 이해를 필요로 하며 최악의 경우 직접 라우팅 프로토콜을 개발해야 하는 문제를 가진다. 따라서 응용 프로그램이 필요로 하는 요구에 대응할 수 있는 라우팅 프로토콜과 이를 간편하게 이용할 수 있는 직관적인 API가 필요하다.

본 논문이 제안하는 라우팅은 응용 프로그램이 일반적으로 요구하며 지금까지 단일 영역으로 연구되어 왔던 시간, 신뢰성 그리고 에너지 영역에 대해 cost를 계산한다. 만약 다중 요구사항에 대해서는 절충 알고리즘을 이용하여 적절한 서비스를 제공한다. 따라서 단일 라우팅 모듈로써 다양한 응용 프로그램을 지원할 수 있다. 따라서 응용 프로그램이 변경되더라도 OS와 함께 라우팅 모듈이 수정될 필요가 없으며, 응용 프로그램에게는 간단한 API를 통해 편의를 제공한다.

### 2. 적응적 라우팅 프로토콜

적응적 라우팅은 그림1과 같이 시간성, 신뢰성, 에너지의 계산 Component와 Geographic Routing을 위한 Greedy Algorithm Component, Neighbor Table 그리고 이러한 Component를 이용하여 다음 노드를 결정하는 절충 알고리즘 Component로 이루어진다. 신뢰성을 고려하는 Component는 Link의 품질과 노드의 전달 성공률을 이용한다. Link의 품질을 가늠하는 척도로 Link Quality Indicator와 노드 내부의 Relay의 성공률. 즉, (전달한 패킷의 수 / 전달을 위해 받은 패킷의 수)이며 따라서 이 두 값의 곱은  $Cost_{tr}(node)$ 로 표현되고 신뢰할 수 있을만한 Medium을 선별하는 기준이 된다. 에너지를 고려한 Component는 배터리 소비 비율을 이용하여 패킷을 노드의 배터리 상황에 따라 분배시켜 네트워크의 Life 시간을 향상시킨다. 배터리의 소비 속도를 이용하여 Cutoff 전압의 도달 시간을 예측하는  $Cost_e(node)$ 는 현재 전압과 Cutoff전압의 차와

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 국가지정연구실사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2005-01352)

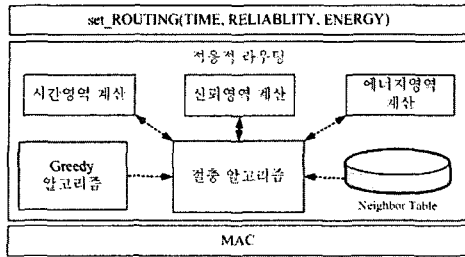


그림1. 적응적 라우팅의 구조

일정 시간에 따른 전압의 변화량의 역의 곱으로 나타낼 수 있다. 시간성을 고려하는 Component는 SPEED[4]를 이용한다. 패킷이 전달되는 속도를 계산하기 위해 후보 노드에서 패킷을 전달하는데 걸리는 Delay 시간당 거리는 보내는 노드에서 목적 노드까지의 거리에서 후보 노드에서 목적지 노드까지의 거리를 뺀 것이  $Cost_T(node)$ 로 나타낸다.

응용 프로그램은 이 세 가지의 인자를 가지고 자신이 보내는 패킷이 어떠한 방법으로 전달되는 지 결정한다. 응용 프로그램 API는  $set\_ROUTING(int\ time, int\ reliability, int\ energy)$  와 같은 형태로 정의된다. 인자는 SET, CLEAR 두 가지로 구분하며 Geographic Forwarding[7] 알고리즘을 통해 얻어진 후보 노드들 중에서 SET가 설정된 영역의 상태가 좋은 노드를 다음 노드로 하여 라우팅이 진행된다. 반면 CLEAR가 설정된 영역은 다음 노드를 선택함에 있어서 고려되지 않음을 뜻한다.

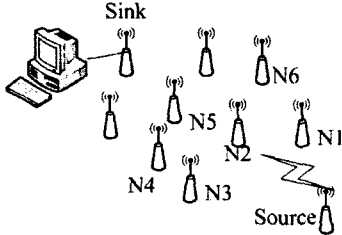


그림2. 다음 노드의 선택

그림 2에서 시간성과 신뢰성 영역에 대해 SET로 표시된 패킷을 전달할 경우, 사용자는 두 가지 영역에 대해 그 어떤 우선순위를 둔 것이 아니다. 만약 N1은 시간성 8ms, 신뢰도 100%, 에너지 30분이고 N2는 4ms, 70%, 20분이며 N3는 5ms, 90%, 28분일 경우 우선 시간성을 고려하여 N2와 N3를 선택하고 다음으로 신뢰성을 고려하여 N3를 선택하는 것은 이미 각 영역에 대해 우선순위를 정한 것과 같다. 신뢰성을 먼저 고려해 N1과 N2를 먼저 선택한 후 시간성을 고려하면 N2가 최종 선택되기 때문이다. 이것은 사용자가 원하는 것과 다르다. 이러한 오류는 세 가지 영역에 대한 각각의 기준을 가지고 있기 때문이다.

각 영역의 라우팅  $Cost_{int}$ ,  $Cost_R$  그리고  $Cost_E$  가지고 절충을 수행하기 위해서 각 영역의 최대 Cost에 대한 비율을 계산하여 성능 비율로 표현하는 것으로 절충을 위한 단일 기준을 실현한다. 즉, 후보 노드들 중에서 가장 수치가 높은 것을 선택하고 이것을 기준으로 하여 각 노드에 대하여 최대 성능에 대한 비율 P를 계산한다. 이것은 식(1)로 표현된다.

$$P_{domain}(node) = \frac{Cost_{domain}(node)}{Max(Cost_{domain}(\forall node))} \quad (1)$$

사용자가 2개 이상의 영역에 대해 SET를 선택하면 해당 영

역의 성능을 모두 만족시키고 싶다는 의미이다. 하지만 모든 영역에 대해서 최고의 성능을 보장하는 노드를 찾을 수는 없다. 그리고 각 영역에 대한 비중은 동일하게 취급되어야 한다. 절충을 통해 weight가 가장 높은 노드를 선택한다.

$$S(next\_node) = \sum_{iedomain} P_i(next\_node) \quad (2)$$

따라서 동일한 기준으로 각 영역의 성능비가 취급되므로 식 (2)처럼 SET로 설정된 영역의 P의 합은 성능이 높은 후보 노드를 찾는 것이다. 즉, 고려되어야 할 영역의 합이 높은 것은 보다 좋은 성능을 가지는 것을 뜻한다.

$$D(next\_node) = \frac{\sum P_{V_{domain}}(next\_node) - P_{V_{domain}}(next\_node)}{2} \quad (3)$$

하지만 단순히 각 영역간의 합이 사용자가 원하는 요구사항을 만족시키는 것은 아니다. 그것은 노드의 전반적인 성능을 나타내는 것일 뿐 각 요소의 성능이 얼마나 적절한 요구사항을 가지는지를 판단하지 못하기 때문이다. 식(3)의  $D(next\_node)$ 는 SET로 설정된 모든 영역에 대한 성능 비율의 차로 나타낸다. 이것은 성능비 영역간의 차가 큰 노드는 사용자의 여러 가지 영역에 대한 요구사항을 만족하기 어렵다는 것을 뜻한다.

$$W(next\_node) = D(next\_node) - P(next\_node) \quad (4)$$

높은 성능을 가지면서도 각 영역의 성능차가 적은 것은 앞서 언급했듯 응용 프로그램의 요구사항을 반영한 것이라고 하겠다. 이것은 식(4)로 나타낼 수 있으며 성능이 높은 노드에서 각 영역의 차가 큰 노드에게 불이익을 가한 결과이며 후보 노드를 최종 선택하기 위한 W로 표현된다. 또한 각 영역의 우선순위가 반영되지 않도록 하여 영역 간 동등한 평가를 수행 한다. 후보 노드들 중에서 W가 가장 높은 노드들 중에서 임의로 선택하여 패킷을 전달 받을 다음 노드를 결정한다.

### 3. 실험

적용적 라우팅은 Moteiv사의 Tmote Sky에 본 연구실에서 개발 중인 Loadable Module을 지원하는 OS인 RETOS[8]위에 구현하였다. 실험을 위한 응용 프로그램은 매 초마다 인자를 바꾸어가며 패킷을 전송하였으며 cut-off 전압은 2V로 설정하였다. (3,2)노드는 2.36V, (2,3)노드는 2.69V, (4,3)노드는 2.78V 그리고 (4,4)노드는 3.00V의 전압을 가진다. Topology는 5x5의 정사각형에 임의형태로 배치하였으며 한 변의 길이는 150cm이며 RF의 도달 거리는 약 1.2m이다.

혼재된 요구사항을 만족시키기 위한 적응적 라우팅의 실험 결과를 각 영역에 대하여 분석하고 절충에 따른 효과를 분석한다. 그림2에서 보듯이 실험은 하나의 네트워크에서 총 4가지의 요구사항을 가지는 패킷이 (5,5)노드에서 (0,0)노드로 향한다. 여기서 (5,5)는 모든 패킷을 보냈으므로 100%이고 (0,0)노드가 받은 패킷의 비율을 나타내며 중간의 노드들은 (0,0)노드가 받은 것에 대한 비율을 나타낸다.

그림3 (a)는 시간성을 중시 여기는 패킷의 경로를 보여준다. Sender에서 가장 먼 노드는 2, 3번 노드이다. 따라서 대부분의 경우 해당 노드로 패킷이 전달된다. 또한 (0,0)노드가 성공적으로 패킷을 받은 비율이 다른 경우에 비해 상대적으로 낮은 것을 볼 수 있다. 그림3 (b)는 신뢰도를 중시 여기는 패킷의 경로를 보여준다. 실험에서 노드내의 전달 성공률이 100%이었으므로 cost를 결정하는 요소는 LQI이다. 그림4에서 120초 이전에는 다소 불안정 했던 Link의 Quality가 이후 안정세로 접어들어 각 노드들의 LQI가 가장 큰 노드가 번갈아 가며 바뀌어 전반적으로 고르게 다음 노드를 선택하였다.

그림3 (c)는 배터리의 잔량을 고려한 라우팅의 경로를 보여준다. (4,4)노드가 3.00V로 다른 노드들에 비해서 높은 배터리

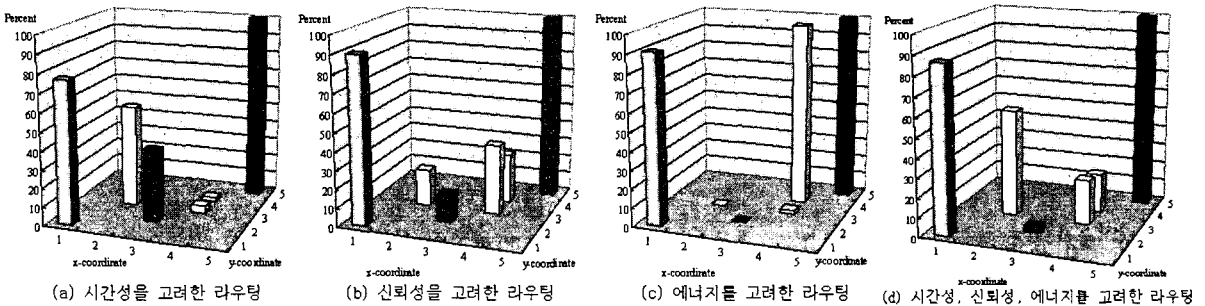


그림3. 시간성, 신뢰성, 에너지를 고려한 라우팅의 노드 간 전송 비율

잔량을 가지므로 대부분의 패킷이 (4,4)번 노드로 전송되었다. 즉, 배터리 잔량이 많은 노드를 선택하여 노드들 간의 배터리 잔량의 밸런스를 맞출 수 있을 것으로 기대한다.

그림3 (d)는 모든 영역에 대하여 SET를 설정한 경우이다. 그림3 (b)에서 Reliability만 SET로 했을 때보다 신뢰도가 떨어졌으나 그림5에서 보듯 평균 전달 시간이 적으며 거리가 먼 node(2,3)을 주로 이용한 것을 볼 수 있으며, 그림3 (d)에서 볼 수 있듯이 배터리 전압이 2.36V로 가장 적은 잔량을 가진 (3,2)노드를 회피한 것은 에너지를 고려한 라우팅이 수행 것을 나타낸다.

를 제공하고 복합적 요구에 대해서는 절충 알고리즘을 통한 서비스를 제공한다. 따라서 응용 프로그램 개발자에게는 라우팅 프로토콜에 대한 부담을 줄일 수 있다. 실험은 H/W에 직접 구현하였으며 주변 노드들의 상황을 인지하고 시간성을 중요하게 여기는 패킷은 보다 빠르게, 신뢰성을 중요하게 여기는 패킷은 보다 높은 전송 성공률로, 에너지를 고려해야 하는 패킷은 배터리 잔량이 많은 노드를 선택하여 싱크에 도착하였으며 모든 영역에 대해 고려할 것을 요구한 패킷은 세 가지 영역에 대해 적절한 수준의 서비스를 제공한 것을 볼 수 있었다.

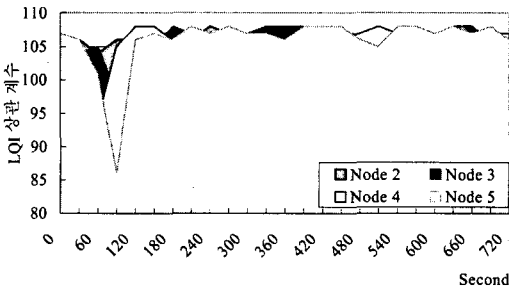


그림4. 시간에 따른 LQI 상관계수

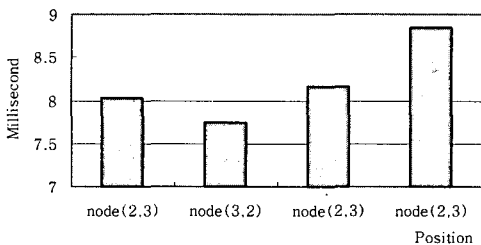


그림5. 인접 노드의 평균 전달 시간

참고 문헌

- [1] N. Xu, S. Rangwala, K. K. Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan, and D. Estrin. A wireless sensor network for structural monitoring, in proc. of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys), 2004
- [2] T. He et al.: SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks, in Proc. Of the International Conference on Distributed Computing Systems, Providence, RI, 2003
- [3] Alec Woo , Terence Tong , David Culler:Taming the underlying challenges of reliable multihop routing in sensor networks, in proc. of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems, Los Angeles, California, USA, 2003
- [4] J.-H. Chang and L. Tassiulas: Maximum Lifetime routing in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Networking VOL. 12, NO. 4 2004
- [5] E. Felemban, C.-G. Lee, E. Ekici, R. Boder, and S. Vural: Probabilistic QoS Guarantee in Reliability and Timeliness Domains in Wireless Sensor Networks, in proc. of IEEE INFOCOM 2005, Miami, FL, USA, 2005
- [6]. B. Deb, S. Bhatnagar, and B. Nath.: ReInForM: Reliable Information Forwarding Using Multiple Paths in Sensor Networks, Proceedings of IEEE International Conference on Local Computer Networks, pp. 406 - 415, 2003
- [7] B. Karp and H. Kung: GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In Mobile Computing and Networking, pages 243-254, 2000
- [8] H. Kim and H. Cha: Towards a Resilient Operating System for Wireless Sensor Networks, Proceedings of the 2006 USENIX Annual Technical Conference, Boston, NY, USA, 2006

4. 결론

적응적 라우팅은 응용 프로그램이 일반적으로 요구하는 시간성, 신뢰성과 에너지 영역에 대해 각각의 Cost를 계산한다. 이것을 통해 패킷의 단일 요구에 대해서는 Best-effort service