

채널부하 측정에 기반한 센서네트워크 혼잡감지 기법

신수정^o, 차호정
 연세대학교 컴퓨터과학과
 {acid^o, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

Congestion Detection based on the Channel Loading in Wireless Sensor Networks

Sujeong Shin^o and Hojung Cha
 Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

네트워크에서 발생하는 혼잡상황은 패킷손실이나 지연을 일으키는 등 네트워크의 QoS를 떨어뜨리는 결과를 가져온다. 혼잡상황을 감지하는 기법 중에 채널부하도에 기반한 기법은 네트워크의 혼잡 상황을 정확하게 반영할 수 있는 장점이 있다. 일반적인 센서 네트워크에서는 sink 노드 주변은 다른 노드들보다 트래픽이 빈번하게 몰리기 때문에 채널부하도가 평균적으로 높고 편차도 심하다. 특정 임계값을 기준으로 혼잡 상황을 파악하는 것은 센서 네트워크의 특성을 제대로 반영하지 못하는 결과를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 노드마다 다른 양상을 보이는 채널부하도를 적절히 반영할 수 있는 혼잡감지 기법을 제안하고 이를 검증한다.

1. 서론

센서 네트워크는 일반적으로 네트워크에 존재하는 노드의 개수가 많고 사용자가 요구하는 이벤트에 대한 데이터를 sink 노드에게 빈번하게 전송을 하기 때문에 혼잡상황이 발생하기 쉽다. 혼잡상황이 발생하면 충돌로 인한 패킷의 손실이 일어나거나, 노드의 전송 큐에서 대기해야 하는 지연이 발생한다[1]. 그로 인해 sink 노드까지 패킷이 도달하지 못하게 되고 신뢰도를 저하하는 결과를 가져온다. 그리고 패킷이 손실되어 재전송을 할 경우에는 패킷 전송을 위한 에너지를 더 소모하게 되어 낭비를 가져와 에너지 자원이 제한적인 센서 네트워크에서 치명적인 문제를 가져올 수 있다. 그래서 혼잡상황을 감지하고 이를 적절히 조절하는 것이 중요하다. 혼잡상황을 판별하는 기준은 여러 가지가 있다[2]. 먼저 패킷 손실 비율을 들 수 있다. 일정 기간 동안 노드에 도착한 패킷과 포워딩에 실패한 패킷의 비율을 계산하여 이 비율이 임계값을 넘을 경우 혼잡상황이라고 간주한다. 또한 버퍼 레벨을 기준으로 삼을 수 있다. 특정 지역에 트래픽이 몰리는 상황에서는 전송대기지연으로 인해서 전송 대기 버퍼에 패킷이 쌓이게 된다. 패킷을 수신할 때마다 버퍼를 모니터링하여 버퍼가 특정 레벨 이상 패킷이 쌓이는 경우에 노드 주변에서 혼잡상황이 발생했다고 판단한다. 그러나 버퍼 레벨에 기반한 혼잡감지 기법은 전송실패에 따른 재전송 정책이 없을 경우 패킷이 버퍼에서 대기할 기회가 줄어들기 때문에 혼잡상황 감지의 정확성이 떨어진다. 마지막으로 채널부하는 주기적으로 채널의 상태를 체크하여 채널의 부하정도를 측정하는 방식이다. 채널 부하가 심해질 경우 패킷 충돌이나 채널 경쟁의 발생확률이 높아지므로 이것을 혼잡상황이라고 간주할 수 있다. 채널의 실제 상태를 반영하는 감지기법이므로 다른 기법에 비해 정확하게 혼잡상황을 감지할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 기존 연구에서 채널부하값 측정에 기반한 혼잡상황 감지의 문제점에 대하여 지적하고 센서 네트워크에 적합한 혼잡감지기법을 제안한다.

2. 채널 부하 측정 기법

기본적인 채널 부하 측정 방법은 주기적으로 채널의 상태를 샘플링하는 것이다. 채널이 사용 중이면 1, 그렇지 않으면 0으로 값을 측정하고 지수가중이동평균(Exponentially Weighted Moving Average: EWMA)방식으로 채널 부하의 평균 $\bar{\phi}$ 을 계산한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{\phi}_{n+1} = (1 - \alpha) \bar{\phi}_n + \alpha \phi_{n+1}, \{0 \leq \alpha \leq 1\} \quad (1)$$

이 방식은 정확한 채널 부하도를 실시간으로 계산할 수 있는 장점이 있으나, 샘플링할 때마다 매번 평균을 계산해야하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 CODA[3]에서는 하나의 센싱 epoch 동안 샘플링한 특정 채널 상태를 계수하여 이를 N번 반복하면서 지수가중이동평균방식으로 채널 부하의 평균을 백분율 형태로 계산하는 기법을 제안한다. 한편, Kang[2]은 Lazy measurement 기법을 제안한다. 이 기법은 매 샘플링 시 채널 부하도를 계산하는 것이 아니라, 채널이 busy 혹은 idle 상태가 유지되는 동안의 샘플링 횟수를 계수하다가 채널의 상태가 변하는 시점에서 채널 부하도를 계산하는 방식이다. 채널 부하도는 다음과 같이 계산한다.

$$\bar{\phi}_n = \begin{cases} (1 - \alpha)^n \bar{\phi}_0 & (\text{idle 상태}) \\ (1 - \alpha)^n (\bar{\phi}_0 - 1) + 1 & (\text{busy 상태}) \end{cases} \quad (2)$$

$\bar{\phi}_0$ 는 특정 채널 상태가 유지되기 시작할 때의 채널 부하도를 나타내고, n은 채널 상태가 유지되는 기간의 샘플링 횟수를 의미한다. 채널 상태가 오래 지속되는 경우 현재의 실제 채널 부하도를 재빨리 반영하지 못하는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 타이머를 두어 타이머가 종료되는 시점에는 특정 채널 상태가 계속 유지되더라도 채널 부하도를 계산하고 다시 샘플링을 시작한다. 이 방식은 채널 부하도를 비교적 정확하게 계

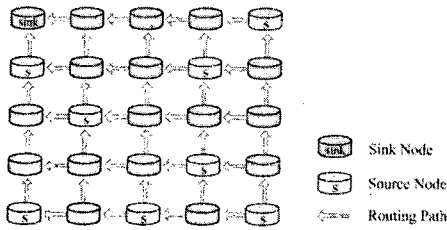


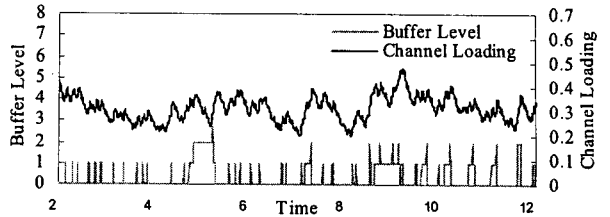
그림 1 simulation topology

산함과 동시에 계산에 필요한 에너지를 절약할 수 있는 장점이 있다. 단점으로는 집계하는 동안은 채널부하도 값을 갱신하지 않기 때문에 실제 채널부하도 상황을 반영하는데 약간의 시간 차가 존재한다.

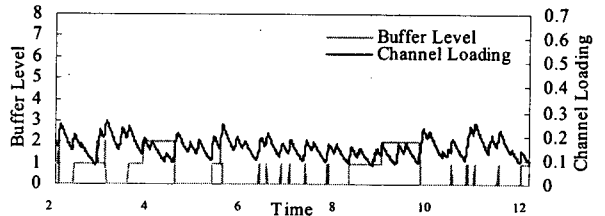
3. 동적 임계값 적용에 기반한 혼잡감지 기법

먼저 앞 절에서 기술한 기법에 따라 측정된 채널 부하도의 특성을 관찰하기 위해 실험을 수행하였다. 실험은 TinyOS[4]에서 제공하는 TOSSIM[5]을 기반으로 시뮬레이션으로 진행하였고, 그림 1과 같이 25개의 센서노드가 12m 간격의 격자 형태로 배치된 상태에서 전체 노드의 30%를 차지하는 8개의 노드들이 분산 배치되어 500ms마다 주기적으로 패킷을 생성하여 sink 노드에게 전송한다. 라우팅은 GPSR에 기반하여 임의로 매번 새로운 경로를 선택하는 정책을 사용한다. TinyOS에서 제공하는 시뮬레이션용 데이터링크 레이어를 구현한 소스를 수정하여 B-MAC[6]을 사용했다. B-MAC에서 얻은 ACK 정보를 이용하여 패킷 전송 후 ACK를 받을 때까지 패킷 재전송을 시도한다. 또한 fixed rated sampling 방식의 채널부하측정을 위한 코드를 추가하였다. 채널부하 측정을 위한 파라미터는 (sampling rate=400μs, α=0.03)로 정한다.

그림 2는 sink 주변에 있는 노드와 멀리 떨어져있는 노드의 채널 부하도와 전송 큐의 레벨의 변화를 나타내는 그래프이다. 그림 2.a)에서 볼 수 있듯이 sink의 주변노드는 채널부하도가 평균적으로 높고 편차가 심하다. 반대로 sink 노드로부터 멀리 떨어져있는 노드의 경우는 그림 2.b)와 같이 상대적으로 평균값이 낮고 편차도 적은 편이다. 센서 네트워크에서 발생하는 모든 데이터는 사용자와 연결된 sink 노드로 전달되는데, 일반적으로 데이터를 전송받는 sink 노드는 하나 또는 소수이다. 따라서 sink 노드에 근접할수록 네트워크 전체에서 생성된 패킷이 몰리고 그로 인해 다른 노드들에 비해 패킷 손실율, 대기 지연 시간이 높아지는 현상을 관찰할 수 있다. 채널부하도 역시 sink 노드에 근접한 노드는 다른 노드에게 전송받은 패킷을 sink 로 전송하는 일이 훨씬 더 빈번하기 때문에 채널부하도가 높은 경향을 보인다. sink 노드로의 패킷 전송을 위해 주변 노드의 높은 채널부하는 어느 정도 감수해야 할 필요가 있기 때문에 혼잡상황을 판단하는데 있어서 이 점을 고려해야 한다. 하지만 기존 연구 [2],[3],[7]에서는 이러한 특성을 간과하고 네트워크의 모든 노드에게 동일한 임계값을 적용하는 한계를 보여주었다. 이렇게 하면 sink 주변에서는 더 많은 혼잡상황이 감지되고, 혼잡상황을 해소시키기 위해 rate limiting 등의 혼잡제어 기법을 적용을 하면 패킷 전송 지연시간과 같은 QoS를 오히려 감소시키는 결과를 가져 올 수 있다. 따라서 목적 노드가 패킷 생성 노드보다 현저히 적어서 생기는 현상을 반영하기 위해 기존의 방법에서 벗어나 채널 부하도의 동적 임계값을 조절하고 혼잡상황을 감지하는 기법을 제안하고자 한다.



a) sink 주변노드



b) sink로부터 떨어진 노드

그림 2 노드의 위치에 따른 채널부하도의 변화

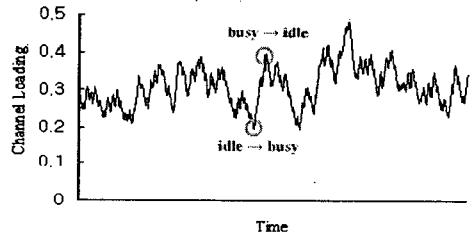


그림 3 채널상태의 변화에 따른 채널부하도의 변화

채널부하도를 계산하기 위해 Kang[2]이 제안한 Lazy measurement 기법을 사용한다. 2절에서 기술한 바와 같이 이 기법에서는 채널의 상태가 변하는 시점에 채널부하도를 계산한다. 그림 3에서 보듯이 채널이 busy에서 idle 상태로 변할 경우 그래프의 위로 꺾인 점을 그리고, 반대로 채널이 idle에서 busy 상태로 변하는 경우 그래프에서 아래로 꺾인 점을 그린다. 따라서 채널 상태가 idle-busy로 변하는 시점과 busy-idle로 변하는 시점의 채널부하도 값을 각각 이용하면 채널부하도의 변화 양상을 파악할 수 있다. 채널부하도 변화의 상한선과 하한선 값을 계산하기 위해, FIFO 큐 두 개를 사용한다. 하나의 큐는 busy-idle로의 상태 변화 시점에서의 채널부하도 값을 저장하고, 다른 하나에는 idle-busy로의 상태 변화 시점에서의 채널 부하도 값을 저장한다. 그리고 busy-idle 큐의 최대값의 지수가 중이동평균값과 idle-busy 큐의 최소값의 지수가중이동평균값을 구한다. 이렇게 구한 상한선과 하한선 값으로 특정노드의 일반적인 채널부하도 경향 파악하고, 특히 상한선 값은 혼잡감지를 위한 임계값으로 사용할 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{upper, i+1} &= (1 - \alpha)C_{upper, i} + \alpha \max(Queue_{busy-idle}) \\ C_{lower, i+1} &= (1 - \alpha)C_{lower, i} + \alpha \min(Queue_{idle-busy}) \end{aligned} \quad (3)$$

α 는 지수가중이동평균의 가중치를 의미한다. 임계값보다 채널 부하도가 이보다 현저히 높아질 경우를 혼잡 상황이라 정의할 수 있다. 혼잡 상황을 감지하기 위해 다음과 같은 정책을 적용한다. 채널부하도 ϕ_i 가 상한선 C_{upper} 를 넘을 경우 채널부하도의 변화량 계산을 시작한다. 변화량의 비율이 τ 보다 높아지는 순간을 혼잡 상황이라고 정의한다. 혼잡 상황이 발생한 이후에 채널부하도 ϕ_i 가 하한선 C_{lower} 이하로 내려갈 경우에 혼잡상황이 완전히 해소되었다고 판단할 수 있다. τ 은 혼잡 상황 판단의 기준값이다. τ 이 작으면 상한선 값보다 커진 채널부하도값의 작은 변화에도 혼잡상황이라 판단하여 혼잡감지의 빈도가 높아진다. 혼잡상황의 정의를 도식화하면 다음과 같다.

$$\frac{\phi - C_{upper}}{C_{upper} - C_{lower}} \geq \tau, \{ \phi \geq C_{upper} \} \quad (4)$$

4. 실험

본 논문에서 제시하는 혼잡감지 기법을 구현하고 3 절의 실험과 동일한 환경에서 실험을 진행하였다. 큐의 크기는 10으로 설정하고 지수가중이동평균 파라미터는 $\alpha = \{ 0.001, 0.03, 0.1 \}$ 으로 변화시켜가며 상하한선 측정을 관찰하였다. α 가 커질수록 상하한선 지수가중이동평균값이 채널부하 값의 변화에 많은 영향을 받아 상한선과 하한선 평균값 간의 편차도 커진다. 반대로 α 가 작을수록 평균값의 변화가 적고 상하한선의 차도 적어지는데, α 가 지나치게 작은 경우는 실제 채널부하의 상하한선 값을 제대로 반영하지 못한다. 과거의 상하한선 평균값에 더 많은 비중을 두어 현재 측정된 채널부하 값이 평균값에 거의 영향을 미치지 못하기 때문이다. 그림 4는 α 가 0.03 일 때 채널부하와 상하한선의 관계를 나타내는 그래프이다. 채널부하도의 변화에 따라 채널부하도의 상하한선 평균값도 조금씩 변화하면서 전체적인 채널부하도의 값이 채널부하도 상하한선 범위 안에 포함되는 것을 보여주고 있다. 본 실험에서는 α 가 0.03일 때 제한한 채널부하도의 상하한선이 전체 채널부하도 값의 변화를 잘 반영하고 임계값으로서의 역할을 원활히 수행하였다. 그림 5는 τ 값에 따라서 혼잡감지를 얼마나 빈번하게 하는지 나타내는 그래프이다. 계산된 전체 채널부하도 값 중에 상한선

C_{upper} 의 과도값과 채널부하도 값의 범위간의 비율이 τ 를 넘는, 즉 채널부하도 ϕ 이 식(4)를 만족하는 빈도수를 계산하였다. 이를 통해 τ 가 작을수록 혼잡상황을 자주 감지하는 것을 확인할 수 있다. sink 주변 노드의 경우 상한선 값도 높고 상한선과 하한선의 편차가 크기 때문에 다른 노드들보다 채널부하도의 증가폭이 커야 혼잡 상황이라 판단한다. 이는 sink 주변 노드에 대해서는 혼잡감지 기준을 완화하겠다는 본 논문에서 제안하는 기법의 의도를 반영한다. 지수가중이동평균 파라미터 뿐만 아니라 큐의 크기도 상하한선을 결정하는데 중요한 요소가 될 수 있다. 큐의 크기가 달라지면 채널부하의 최대값과 최소값을 선택하는 기간의 범위도 달라진다. 따라서 큐의 크기가 작을 때는 상하한선 값이 채널부하도의 변화에 민감해진다.

5. 결론

본 논문에서는 채널부하도를 이용한 혼잡감지 기법에 대한 기존 연구의 문제점을 지적하고 이를 극복하기 위한 새로운 혼잡감지 기법을 제시하였다. 일반적으로 sink 주변노드들은 센서 네트워크의 특성상 채널부하도가 다른 노드에 비해서 상대적으로

로 높다. 이러한 특성을 고려해 채널부하도를 기준으로 혼잡상

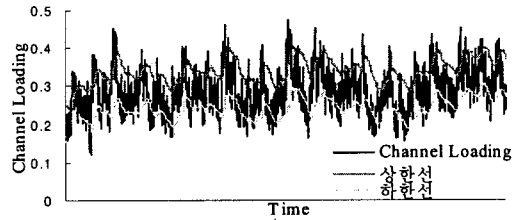


그림 4 채널부하도와 동적임계값의 변화

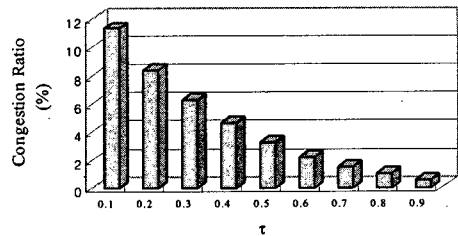


그림 5 τ 값에 따른 혼잡감지빈도의 변화

황을 감지하려면 네트워크에 존재하는 모든 노드에게 동일한 기준을 적용하는 것보다 노드마다 각기 알맞은 기준을 적용하는 것이 더 적절하다. 노드별로 동적으로 임계값을 정하기 위해 채널부하도의 변화에 대한 양상을 관찰한다. 채널부하도를 두 개의 FIFO 큐를 이용하여 지수가중이동평균 방식으로 계산한 후 이 중 상한선 값을 임계값으로 사용한다. 상한선을 넘은 채널부하도 값의 증가량이 일정수준 이상 넘을 경우 이를 혼잡 상황이라 판단한다. 시뮬레이션에 기반한 실험을 통해서 제시한 기법이 노드의 채널부하도 변화 양상을 감지할 수 있음을 검증하였다. 향후에는 본 논문에서 제시한 혼잡감지 기법을 기반으로 혼잡제어 효과를 가져올 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안할 계획이다.

참고문헌

- [1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, "Infrastructure tradeoffs for sensor networks," *In Proc. of WSNA 2002*, pp. 49-58, Atlanta, September, 2002.
- [2] J. Kang, Y. Zhang, and B. Nath, "Accurate and Energy-efficient Congestion Level Measurement in Ad Hoc Networks," *In Proc. of WCNC 2004*, New Orleans, March, 2004.
- [3] C. Wan, S. Eisenman, and An. Campbell, "CODA: Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks," *In Proc. of SenSys 2003*, Los Angeles, November, 2003.
- [4] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister, "System Architecture Directions for Network Sensors," *In Proc. of ASPLOS 2000*, Cambridge, November, 2000.
- [5] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, "TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications," *In Proc. of SenSys 2003*, Los Angeles, November, 2003.
- [6] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," *In Proc. of SenSys 2004*, Baltimore, November, 2004.
- [7] B. Hull, K. Jamieson, and H. Balakrishnan, "Mitigating Congestion in Wireless Sensor Networks," *In Proc. of SenSys 2004*, Baltimore, November, 2004.