

센서네트워크에서 이벤트 별 신뢰도 보장을 위한 전송 기법

정원우^o 차호정
 연세대학교 컴퓨터학과
 {wwjung^o, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

A Fairness-Providing Reliable Transport Mechanism in Sensor Networks

Won-woo Jung^o Hojung Cha
 Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

센서네트워크에서의 신뢰도를 다룬 기존 연구들은 필요 없는 오버헤드가 크거나, 네트워크 내의 모든 노드들에 일괄적인 정책을 수행하여 다수의 이벤트가 동시에 발생하였을 경우 각각에 대한 fairness를 보장하지 못하는 문제점을 갖는다. 따라서 data-centric의 관점에서 노드 각각이 아닌 이벤트들 간의 fairness를 보장하는 전송기법이 필요하다. 본 논문에서는 기존 연구에서 신뢰도 관리 기법을 이벤트 별로 분산시켜 독립적으로 수행함으로써 이벤트 간의 fairness를 함께 고려한 신뢰도 있는 전송 기법을 제안한다. 싱크는 사용자의 요구에 따라 현재 발생한 이벤트들에 대하여 독립적인 전송량을 결정하며, 이를 기준으로 각각의 이벤트의 대표 노드인 이벤트헤드는 자신과 같은 이벤트를 보고하는 다른 노드들의 reporting rate을 결정한다. 이와 같은 기법에 의한 이벤트 간 fairness의 향상을 실험을 통하여 검증한다.

1. 서론

센서네트워크는 넓은 지역에서 사용자가 원하는 정보를 다수의 센서 노드들에서 수집하여 처리 한 후, 한 개 혹은 소수의 싱크를 통해 사용자에게 전달하는 기술이다. 센서네트워크에서는 다수의 송신자와 소수의 수신자가 일반적이며, 각 노드들은 멀리 떨어진 싱크로의 자료 전송을 위해 멀티홉 방식의 라우팅 기법을 사용하게 된다. 이러한 특징들로 인해 센서네트워크에서는 기존의 네트워크 기법들을 그대로 적용하기 힘들다.

일반적으로 센서네트워크는 한 가지 이벤트에 대한 정보가 중복적이므로 노드의 수가 충분히 많다면 해당 정보의 올바른 전달에 대한 신뢰도(reliability)는 문제가 되지 않을 것이라는 예상할 수 있다. 하지만, Tilak 등[1]이 지적한 바와 같이 동일한 정보에 대한 노드들의 과도한 전송은 혼잡(congestion)을 발생시키게 되며, 이는 결과적으로 신뢰도의 저하를 가져오게 된다.

센서네트워크에서 신뢰도 문제를 해결하기 위한 연구로는 PSFQ[2], RMST[3], ESRT[4] 등이 있다. PSFQ와 RMST는 네트워크의 불량에 의한 패킷 손실(packet loss)과 이로 인한 신뢰도 저하의 문제를 해결하기 위한 기법으로, NACK 메시지에 기반한 노드들 사이의 재전송을 통하여 신뢰도를 보장하는 기법이다. ESRT는 혼잡 발생에 의한 패킷 손실과 이로 인한 신뢰도 저하를 해결하고자 하는 시도이다. 이 기법은 센서네트워크 응용에 있어서 특정 시간 내에 사용자가 원하는 적절한 패킷 수가 있다는 가정 하에, 센서 필드 상의 센서 노드들의 reporting rate을 싱크에서 일괄적으로 조정하게 된다.

기존의 네트워크와는 달리 data-centric의 패러다임을 갖는 센서네트워크는 노드 각각의 fairness는 무시하여도 좋은 것으로 알려져 있다[3]. 하지만 노드가 아닌 이벤트에 있어서 fairness는 보장되어야 한다. 즉, 한 센서 필드 내에 여러 종류의 이벤트가 존재할 경우, 각각의 이벤트들에 대한 fairness는 보장되어야 한다. data-centric의 패러다임은 fairness 자체를 무시하는 것이 아니라, fairness의 대상이 각 노드에서 이벤트로

옮겨졌다고 보는 것이다. 이러한 이벤트 간 fairness 문제는 기존의 연구에서는 간과되었던 부분이다.

본 논문에서는 이벤트에서 싱크로의 데이터 전송 시, 신뢰도를 보장하기 위한 기존 연구들의 한계점을 지적하고, fairness에 대한 한계를 극복하기 위한 방안으로 이벤트 별로 reporting rate을 조절하는 기법을 제안한다.

2. Background

PSFQ와 RMST는 NACK 메시지에 기반 하여 전송 계층(transport layer)에서의 재전송을 요구하는 기법이다. 기존 네트워크에서의 기법들과의 차이점은 end-to-end 방식의 재전송이 아닌, 가능한 자신과 가장 가까운 노드에서 잃어버린 packet의 재전송을 요구하는 hop-by-hop 방식을 사용한다는 점이다. 이는 전송되는 모든 패킷에 대하여 높은 신뢰도를 보장하며, 에너지 측면에서도 end-to-end 방식에 비해 효율적이다. 하지만 재전송 기법은 이벤트에 대한 정보를 싱크에 전송하는 경우에는 적당하지 않다. 이와 같은 기법은 각각의 노드들이 전송하려는 모든 패킷에 대하여 높은 신뢰도를 보장하는데, data-centric 패러다임에서 볼 때, 이는 불필요하다. 즉, 이벤트에서 싱크로의 전송은 노드 하나하나의 모든 패킷이 아닌 해당 이벤트에 대한 정확한 전송에 있어서의 신뢰도만 보장되면 된다.

event-to-sink 방향의 데이터 전송에 있어서 ESRT는 보다 적절한 해결책을 제시한다. ESRT는 이벤트에 대한 신뢰도를 보장하기 위한 기법이다. 사용자는 센서네트워크 응용에 있어서 적절한 수준의 신뢰도를 싱크에서 전송 받는 패킷의 개수로 지정을 하게 되며, 이를 위해 싱크가 중앙 집중적으로 센서 필드 내 각 노드들의 reporting rate을 주기적으로 조절하여 지정한 수준의 패킷만을 전달 받는다. ESRT에서는 싱크에서 전달받은 패킷의 수를 신뢰도로 정의한다. 하지만, 이는 전체 노드들에 대한 reporting rate을 일괄적으로 조정하므로, 보다 다양한 상황에서 적절치 못하다. 하나의 이벤트가 발생한 상황에서 ESRT는 그들이 정의한 신뢰도를 보장하는 것이 가능하다. 하지만, 여러 종류의 이벤트가 동시에 발생한 경우, ESRT는 센서

본 논문은 대학 IT 연구센터 육성 지원 사업의 연구 결과임.

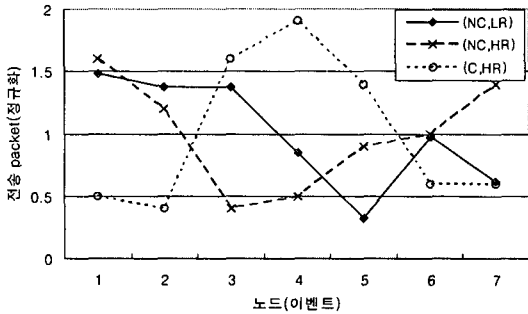


그림 1. ESRT에 의한 최적 reporting rate 결정 후, 이벤트 별 fairness 문제

필드 전체에서의 신뢰도(싱크에서 받은 패킷 수)만 보장하므로, 각각의 이벤트에 대해서 균등한 신뢰도를 보장할 수 없다. 즉, 다수의 이벤트가 발생한 상황에서도 싱크는 사용자가 지정한 수만큼의 패킷을 받지만, 이 패킷들이 모든 이벤트들에 걸쳐 균등하게 도착한 것이라는 보장은 할 수 없다. 그림 1은 MICA2 Mote[5]를 사용하여 TinyOS[6]상에서 ESRT를 구현한 실험에서, 최적 reporting rate이 결정된 이후 각 이벤트 간 fairness의 결과이다. 각 노드와 싱크는 최대값으로 데이터를 송수신도록 설정하였으며, 이론적으로 각 노드는 초당 약 43개의 패킷을 전송하거나 수신할 수 있다.[5] 본 실험에서는 7개의 노드들이 각각 다른 종류의 이벤트를 싱크로 보고하고 있다고 가정하였다. 즉, 실험에 사용된 각 노드는 각각 하나의 이벤트 종류를 의미한다. y값은 각각의 이벤트에서 싱크로 전송된 패킷 수를, 전체 노드들에서 fairness가 보장되었을 때 싱크가 전송받을 것으로 기대되는 패킷 수로 나누어 정규화한 것이다. 따라서 fairness가 보장되는 경우라면 모든 노드들의 y값은 1에 근접하여 변동이 작아야하며, 그래프의 변화폭이 클수록 fairness 문제가 심각하게 발생하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 그림 1의 결과는 ESRT가 여러 종류의 이벤트 간의 fairness를 보장하지 못하고 있음을 나타낸다.

3. 이벤트 별 신뢰도 보장 기법

본 논문에서는 기존 연구들의 한계점을 극복하기 위한 방안으로 ESRT 알고리즘에 기반을 둔 이벤트 별 신뢰도 보장 기법을 제안한다. 이 기법은 그림 2와 같이 다수의 이벤트가 동시에 발생한 경우, 각 이벤트 별로 신뢰도를 보장하며, 이를 보장하기 위한 정책 수행을 싱크에서 센서 노드로 분산시킨다. 이를 통해 실제 센서네트워크에서의 구현을 고려한 효율적인 정책 전파를 기대할 수 있다.

3.1. fairness 보장 알고리즘

제안하는 기법에서의 정책 수행은 하나의 싱크와 다수의 이벤트 헤드들로 분산되어 수행된다. 이벤트헤드는 정책 결정에 있어서 싱크로부터 자신이 속한 이벤트의 신뢰도를 전송받아 이를 기준으로 해당 이벤트에 대한 데이터를 전송하는 다른 노드들을 위한 정책을 결정하는 역할을 수행하는 노드이다. ESRT에서는 싱크의 능력을 무한한 것으로 가정하는데, 보통의 노드와 같은 노드를 싱크로 사용하는 경우, 각 노드의 송신량과 싱크의 수신량은 같으며, 전력을 제외하면 연산 능력 등 기타 사용 가능 자원도 보통의 노드와 동일하다. 따라서 이와 같은 경우 싱크에서만 복잡한 연산을 요구하는 알고리즘을 수행하는 것은 타당성이 적다. 실제로 본 논문의 ESRT 구현에 사용한 센서 노드의 경우, 대부분의 전력이 데이터의 송수신에서

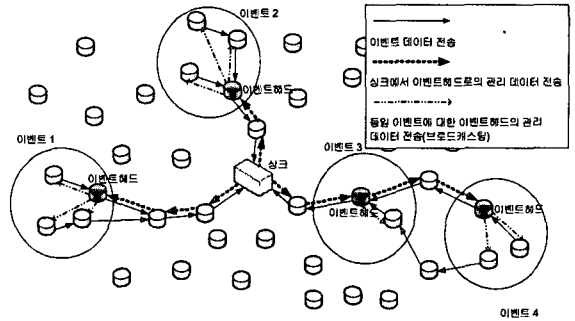


그림 2. 여러 종류의 이벤트 발생 상황

소모되며[5], 각 주기마다 reporting rate을 재조정해주기 위한 브로드캐스팅도 일반적인 flooding 방식을 사용한다면, 싱크뿐만 아니라 전체 센서 노드들의 관여가 있어야 가능하다. 이러한 브로드캐스팅의 경우, 네트워크 규모가 클수록 동일한 데이터에 대한 중복성이 높아지는 문제가 발생하게 된다[7]. 따라서 가능하다면 센서 필드 상의 노드들이 reporting rate 재조정에 대한 알고리즘 수행을 나누어 수행하여 reporting rate 재조정이 필요한 일부 노드들에 대해서만 이를 전달하는 것이 싱크에서의 중앙 집중식 관리 기법보다 효율적이라고 생각할 수 있다. 정책 수행을 위해 각 단계에서의 동작은 다음과 같다.

사용자는 현재 응용에 대해 싱크에서 수신 받기를 원하는 전체 패킷 수(R)와 전체 N 개의 이벤트에 대하여 n 번째 이벤트 각각에 대한 priority(P)를 지정한다. 싱크에서 수신 받기를 원하는 전체 패킷 수는 여러 이벤트를 포함하는 하나의 응용에서 동일하며, 이는 ESRT에서 정의한 신뢰도와 동일한 개념이다. 이벤트에 대한 priority는 응용 전체에서의 수신 요구 패킷 수에서 각각의 이벤트에 대한 패킷이 차지하는 비율로, 중요한 이벤트일수록 높은 수를 갖게 된다.

싱크는 이벤트 발생 시, 해당 이벤트의 이벤트헤드를 결정하며, 사용자가 요구한 전체 수신 요구 패킷 수와 발생한 이벤트의 priority를 고려하여 해당 이벤트의 주기 당 전송 패킷 수를 결정 후, 이벤트헤드에 이를 요구한다. 싱크는 특정 이벤트가 발생하였을 때, 해당 데이터를 가장 먼저 전송한 노드를 이벤트헤드로 결정한다. 이는 해당 노드가 싱크와의 통신에 있어서, 가장 좋은 링크 퀄리티(link quality)를 가지고 있다는 가정에 의해서이다. 전체 N 개의 이벤트 중 현재 n 개의 이벤트가 발생하고 있다면, 싱크는 n 번째 이벤트에 대해 주기마다 R_i 의 패킷을 전송해야함을 알린다. R_i 는 식(1)에 의해 구해진다.

$$R_i = R_i \times \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

각각의 이벤트에 대해 해당 이벤트가 끝나지 않은 상태에서 새로운 이벤트가 발생한 경우, 싱크는 이 이벤트를 포함하여 R_i 를 다시 지정한다. 또 한 주기 이상 특정 이벤트에 대한 데이터가 전송되지 않으면, 해당 이벤트가 끝난 것으로 간주하여 남은 이벤트들의 R_i 를 다시 지정한다. 이후 각 이벤트 별로 전송된 패킷수를 새어 이를 다시 해당 이벤트헤드에 전송한다. 이와 같은 방법을 통해 이벤트마다 사용자가 지정한 기대치를 기준으로 한 fairness를 기대할 수 있다.

이벤트헤드는 싱크로부터 해당 이벤트의 주기 당 전송 패킷 수(R_i)를 지정받는다. 이를 만족하기 위하여 각 주기마다 싱크로 실제 전송된 이벤트 별 패킷 수(r_i)를 기준으로 같은 이벤트

에 대한 데이터를 전송하는 모든 노드들의 reporting rate을 조절하여 이를 해당 이벤트에 관여하는 노드들에게 전송한다. 각 이벤트들에 전송하는 패킷은 해당 이벤트 아이디를 포함하며, 각 이벤트 노드들은 이 패킷이 자신이 관여하는 이벤트의 아이디를 가지고 있을 경우 지정한 값으로 reporting rate을 조정한다. 이벤트 아이디는 각 센서 노드들에서 싱크로 전송되는 패킷에도 포함되어, 싱크가 각 이벤트의 발생과 소멸을 판단하거나, 각 이벤트 별로 전송된 패킷의 수를 셀 때도 사용된다.

3.2. fairness 평가

총 n 개의 이벤트가 존재할 때, reporting rate이 최적화된 후 각 η_i 값들의 표준편차를 이용하여 fairness를 평가할 수 있다. 이때, η_i 는 사용자의 기대하는 R_i 를 기준으로 실제 해당 주기의 i 번째 이벤트에서 도착한 패킷의 수인 r_i 를 정규화한 값이다. 즉, 다음 식으로 복수의 이벤트가 발생한 상황에서 응용의 fairness를 측정할 수 있다.

$$f = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - \eta_i)^2} \quad (\text{단, } \eta_i = \frac{r_i}{R_i}) \quad (2)$$

f 는 각 이벤트들에 대한 신뢰도의 표준편차이므로 이 값은 늘 1보다 작으며 이상적인 상황에서 0이 된다. 즉, f 가 작을수록 높은 수준의 fairness를 의미한다.

4. 성능평가

2절에서와 동일한 환경에서 구현을 하여 실험을 진행하였다. 각 실험은 [4]에서 정의한 3개의 초기 상태에 해당하는 reporting rate을 아무 정책도 사용하지 않은 전송 실험을 통해 결정하여 시행되었다. (NC, LR)의 경우 2000ms/report, (NC, HR)의 경우 100ms/report (C, HR)의 경우 30ms/report이 초기 reporting rate이다. (C, LR)의 경우 본 실험에서는 적은 수의 노드만을 사용하였으므로 그 영향이 뚜렷하지 않아 생략하였다. 각 노드는 초기 값으로 위의 값들을 동일하게 사용하며, 각 이벤트의 priority는 모든 이벤트에서 같다고 가정하였다. 이러한 가정은 정책을 적용하지 않은 경우와의 공정한 비교를 위해서이다.

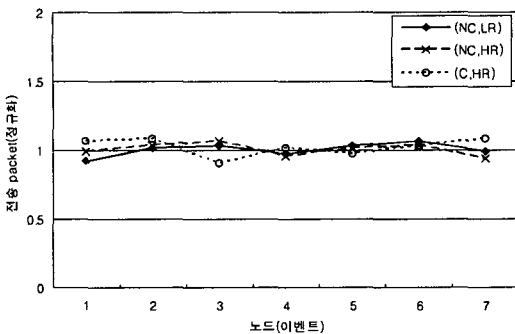


그림 3. 정책 적용 결과

그림 3은 3.1절의 정책을 적용한 후의 결과로 그림 1과 비교하였을 때, 각 이벤트마다 싱크로의 전송 패킷의 양이 일정해진 경향을 관찰할 수 있다. 그림 1의 실험과 마찬가지로 각 노드는 서로 다른 이벤트를 싱크로 전송하고 있다고 가정하였다. 각 노드들은 서로 다른 이벤트 아이디로 구분되어진다. 본 구현에서는 한 이벤트에 하나의 노드만 사용이 되므로 이벤트헤

드에서의 동일 이벤트 노드로의 브로드캐스팅은 실제로는 일어나지 않는다. 하지만, 이벤트 간 fairness의 보장은 본 실험만으로도 증명 가능하다. 싱크가 아닌 이벤트헤드에서의 브로드캐스팅에 의한 이익은 향후 과제로 미루도록 한다. 이는 보다 많은 수의 센서 노드를 이용하여 증명 가능할 것으로 예상할 수 있다.

3.2의 식 (2)를 이용한 fairness는 기존의 ESRT만을 적용한 경우(그림 1), 평균 0.45였으며, 3장의 정책을 적용한 경우(그림 3), 평균 0.05였다. 즉, 새로운 정책을 추가하였을 경우 그렇지 않은 경우와 비교하여 fairness 면에서 많은 성능 향상을 보인다고 해석할 수 있다. 실험에 의하면 특정 event에서 최적화되지 않은 reporting rate을 나타내는 경우가 흔하게 발생하였는데, 이는 네트워크 상태의 불량에 의한 갑작스러운 전송률 저하에 의한 것으로 추측되어진다. 본 논문에서는 네트워크 상태의 불량에 의한 패킷 손실은 고려하지 않았으므로 그림 3은 모든 이벤트에서 최적화된 reporting rate을 보여주는 경우에 대한 결과만을 분석하였다. 하지만 실험에서와 같이 이러한 상황은 무선을 이용하는 실제 센서네트워크에서 드물지 않게 일어나는 현상이므로, 네트워크 상태의 불량에 의한 패킷 손실은 향후 다시 고려할 필요가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 센서네트워크에서 신뢰도를 보장하려는 기존의 연구에서 데이터의 fairness 문제점을 지적하고, 이를 극복하기 위한 정책을 제시하였다. data-centric의 관점에서 노드 각각의 fairness는 무시될 수 있으나, 동시에 복수의 이벤트가 발생할 경우 이벤트 각각의 fairness는 보장되어야 한다. 기존 연구에서의 fairness 문제는 싱크에서의 중앙 집중적인 기존의 관리 방식을 일반 노드로 일부를 분산시켜 각각의 이벤트에 대하여 독립된 정책을 적용하는 방식에 의해 개선될 수 있다. 이러한 정책에 의한 fairness면에서의 향상은 본 논문에서는 적은 수의 센서 노드들을 이용한 한정된 실험을 통해 각 이벤트의 신뢰도에 대한 표준편차 값을 이용하여 검증되었다. 실험 결과, 모든 이벤트의 reporting rate이 최적화된 상태에서 새로운 정책을 적용하였을 경우가 그렇지 않은 경우보다 이벤트 별 fairness 면에서 성능 향상을 보여주었다. 향후 과제로는 보다 많은 수의 노드를 이용한 이벤트헤드에서의 브로드캐스팅의 효과에 대한 검증과 네트워크 상태 불량에 의한 패킷 손실을 고려한 정책이 있다.

참고문헌

- [1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, "Infrastructure tradeoffs for sensor networks," *In Proc. of WSN 2002*, pp. 49-58, Atlanta, September, 2002.
- [2] C.-Y. Wan, A. T. Campbell, and L. Krishnamurthy, "PSFQ: A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks," *In Proc. WSN 2002*, pp. 1-11, Atlanta, September 2002.
- [3] F. Stann and J. Heidemann, "RMST: Reliable Data Transport in Sensor Networks," *In Proceedings of the First International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications (SNPA '03)*, Alaska, April, 2003.
- [4] Y. Sankarasubramaniam, O. B. Akan, and I. F. Akyildiz, "ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks," *In Proc. of Mobihoc '03*, Annapolis, Maryland, June 2003.
- [5] <http://www.xbow.com/>
- [6] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, K. Pister, "System architecture directions for network sensors," *In Proc. of ASPLOS 2000*, Cambridge, November 2000.
- [7] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen and J. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *In Proc. of MobiComm '99*, pp. 151-162, Seattle, USA, August, 1999.