대규모 무선 센서네트워크에서 네트워크 코딩 기반의 음성 트래픽을 위한 딜레이 감소 방안

김경환*, 조인휘*
*한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
e-mail:iwjoe@hanyang.ac.kr
frog03@naver.com

Network Coding-based Delay Reduction for Voice Traffic in Large-scale Wireless Sensor Networks

Kyoung-Hwan Kim*, In-Whee Joe*
*Dept of Electronics Computer Engineering, Hanyang University

요 약

무선 센서 네트워크 기술이 발전됨에 따라 소규모 무선 센서 네트워크에서 대규모 무선 센서 네트워크로 변하고 있으며, 이로 인하여 대규모 무선 센서 네트워크를 효율적으로 관리하기 위하여 여러 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 대규모 무선 센서 네트워크를 효율적으로 관리하는 클러스터 기법을 사용한다. 또한 음성 정보를 전송하기 위해 네트워크 코딩 기법을 사용하여 수집된 자료를 목표지점까지 전달하는데 걸리는 딜레이 시간을 줄이는 방법을 제안한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크 기술이 발전됨에 따라 기존의 홈 네트워크, 원격기기 제어 서비스와 같은 소규모 무선 센서 네트워크뿐만 아니라 U-city, 산불 감지, 그리고 감시 정찰 서비스를 위한 대규모 센서 네트워크에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 대규모 센서 네트워크를 위한 무선 센서 네트워크 기술은 기존의 에너지 효율적인 측면 외에도 네트워크의 확장성을 향상시키기 위해 센서 네트워크를 클러스터 기반으로 계층 구조화 하는 연구와 Grid 기반으로 계층 구조화 하는 연구가 이루어졌다[1][2].

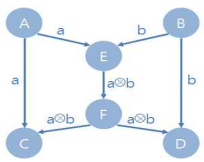
본 논문에서는 대규모 센서네트워크를 위한 클러스터 기반의 계층적 구조와 네트워크 코딩 방식을 접목시켜 데이터의 전송 딜레이를 감소시키는 방안을 제안하였다.

본 논문의 2장에서는 네트워크 코딩과 클러스터 방식의 계층적 구조에 대한 관련 연구를 기술하였고, 3장에서는 네트워크 코딩을 클러스터 기반의 계층 구조에 이용한 딜레이 감소 방안을 상세히 기술하였으며, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 방식의 성능을 평가하였으며, 마지막으로 5장에서는 향후 연구 방향과 결과를 기술하였다.

본 연구는 정보통신산업진흥원(ITRC)의 대학 IT 연구센터 지원사업(NIPA-2010-C1090-1021-0009) 및 지식경제부(MKE) KEIT R&D 지원 프로그램의 연구결과로 수행되었음.

2. 관련연구

2.1 네트워크 코딩



[그림 1] Butterfly Network

네트워크 코딩은 (그림 1)과 같은 나비 모양의 멀티캐스트 유선 네트워크를 가지고 가장 쉽게 설명되고 있다[3]. (그림 1)에서 두 개의 Source 노드 A와 B는 각각 a와 b라는 정보를 C와 D 노드에 전달하고자 한다. 먼저 첫 번째 통신 슬롯에서 A 노드는 a라는 정보를 C 노드와 E 노드에 동시에 전송한다.

그 다음 슬롯에서 B 노드는 b라는 정보를 D 노드와 E 노드에 동시에 전송한다. 세 번째 슬롯에서 E 노드는 a와 b 정보를 결합하게 된다. 이때 a와 b 정보는 eXclusive OR(XOR)을 거쳐서 일종의 압축을 한다. 압축을 한 후 E 노드는 F 노드로 XOR 코딩된 정보를 전송한다. 네 번째 슬롯에서 F노드는 코딩된 정보를 C 와 D 노드에 전달하게 된다. C 노드는 a⊗(a⊗b)를 디코딩하여 b의 정보를 취득하게 되고, 같은 방식으로 D 노드는 b⊗(a⊗b)를 디코딩하여 a의 정보를 취득하게 된다.

이 과정을 살펴보면 a와 b라는 정보가 C와 D에 도착하기까지 네트워크 코딩을 사용할 경우 네 개의 슬롯을 거치게 되는 반면, 네트워크 코딩을 사용하지 않을 경우에는 E 노드는 F 노드에서 각각 한 슬롯씩이 추가로 발생하여, 총 여섯 개의 슬롯이 필요하다는 것을 알 수 있다.

2.2 클러스터 기반의 계층적 구조

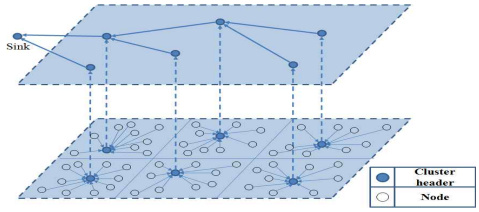
기존 무선 네트워크는 망의 형태의 안정성을 확보하고 라우팅의 오버헤드를 줄이기 위해 클러스터 기반의 토폴로지 구성 및 유지 방법에서 많은 연구가 이루어져 왔다. Baker와 Ephre mides[4]는 클러스터 반경 내에서 가장 낮은 식별자가 클러스터 헤드가 되는 LCA (Linked Cluster Algorithm)를 Gerla와 Parekh[5]은 가장 높은 연결도를 가진 노드가 클러스터 헤드가 되는 클러스터링 알고리즘을 제안하였다.

GAF[6], SPAN[7], ASCENT[8]는 멀티 홉 인프라에 최소의 노드만이 참여할 수 있도록 클러스터 헤드(Cluster Head)를 선정하였다. 이는 나머지 무선 센서 네트워크 노드들은 무선 통신의 전원을 주기적으로 끄도록 설정하여 네트워크의 전체 생존시간(Lifetime)을 연장하기 위함이다.

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[9] 프로토콜에서는 네트워크 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존시간을 최대화하기 위해 분산된 환경의 클러스터 기반의 네트워크 구조로 데이터 전송을 수행하였다.

3. 네트워크 코딩 기반의 딜레이 감소 방안

3.1 클러스터 구성



[그림 2] 전체 네트워크 구성도

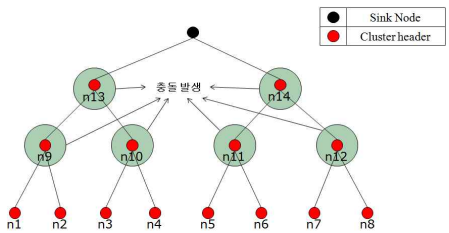
(그림 2)는 클러스터를 활용한 네트워크 구성 형태를 보여준다. 본 논문에서의 네트워크는 대규모 망을 구성하여 센서 데이터를 수집하기 위해 근접 노드들을 클러스터로 묶어 관리하게 된다. 그리고 각각의 클러스터들은 클러스터 헤더를 가지게 되며, 각각의 클러스터 헤더들은 트리구조로 이어져 있다. 본 논문에서는 다음과 같이 가정한다.

Sink는 모든 데이터가 모이는 노드이며, 본 논문에서는 하나의 Sink를 가진다. 각각의 클러스터는 최대 구성원인 10개의 노드로 구성된다.

클러스터 헤더는 각각의 클러스터마다 1개의 노드가 선택되며, 클러스터 헤더를 제외한 노드들은 자신이 속한 클러스터 헤더에게 정보를 전송한다. 본 논문에서는 클러스터 헤더와 각각의 노드와의 거리는 1홉으로 가정하였으며, 클러스터 헤더와 인접 클러스터 헤더와의 거리도 1홉으로 가정하였다.

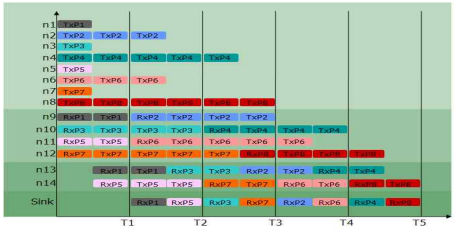
3.2 대규모 망에서의 클러스터 구조의 문제점

(그림 3)은 클러스터 헤더의 트리 구조에서 생기는 혼잡문제를 나타내는 그림이다.



[그림 3] 클러스터 헤더의 트리 구조의 혼잡문제

만약 대규모 망이라고 가정을 한다면, 클러스터 헤더의 트리구조에서 높이(Height)는 점점 증가하게 되며, 이로 인해 혼잡문제가 발생하는 접합부분이 늘어나게 된다. (그림 4)는 (그림 3)에서 최하위단에 존재하는 8개의 클러스터 헤더가 동시에 데이터를 Sink쪽으로 전송 할 때 생기는 전송 딜레이를 간단하게 도식한 그림이다.



[그림 4] 트리구조에서의 딜레이

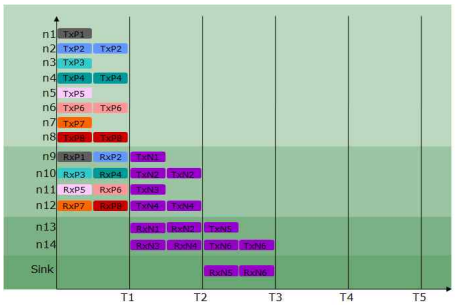
무선 환경에서는 RTS와 CTS를 교환한 후 데이터를 전송하고, 거리에 따른 딜레이도 고려하지만, (그림 4)에서 딜레이를 간략하게 나타내기 위해 다른 딜레이 사항은 생략하였다. Tx는 패킷 송신을 뜻하며, Rx는 패킷 수신을 뜻한다. 가로축의 T1~T5는 임의의 슬롯시간(Slot Time)을 뜻하며, 하나의 슬롯시간동안 패킷 송수신이 완료된다. P1~P8은 전송되는 Packet Data를 뜻한다.

일반적으로 무선 센서 네트워크에서는 싱글 안테나를 사용하기 때문에 (그림 4)에서 n1 클러스터 헤더와 혼잡문제가 야기되는 n9 클러스터 헤더가 1:1 통신을 하는 동안 n2 클러스터 헤더가 n9 클러스터 헤더에게 전송을 시도해도 n9 클러스터 헤더는 알아채지 못한다. 따라서 n2 클러스터 헤더는 n9 클러스터 헤더에게 재전송을 시도하게 된다.

즉 대규모 망에서의 클러스터 구조의 문제점은 클러스터 헤더로 센서 데이터가 모이고, 클러스터 헤더가 모은 센서 데이터를 Sink로 전송할 때 혼잡문제가 발생하여 전송 딜레이가 증가하는 것이다.

3.3 네트워크 코딩을 이용한 딜레이 해결방안

(그림 3)을 보면 n9~n14 부분에서 혼잡문제가 발생되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이 혼잡문제를 해결하기 위해 혼잡문제가 발생하는 곳에 네트워크 코딩기법을 사용해보았다. 예를 들어 n9 클러스터 헤더는 Packet1(P1)과 Packet2(P2)를 받은 후 네트워크 코딩을 한 다음에 코딩된 데이터를 다음 클러스터 헤더로 전송한다. (그림 5)는 네트워크 코딩을 사용할 경우의 전체 네트워크의 딜레이를 나타낸 그림이다. 이 그림을 보면, 각각의 접합부분인 n9, n10, n11, n12에서 네트워크 코딩을 한 후 새로운 패킷인 N1, N2, N3, N4를 전송한다. 같은 방식으로 n13에서 새로운 패킷 N1과 N2를 네트워크 코딩하여 만들어진 N5 패킷을 전송하게 되며, n14에서도 N3와 N4를 네트워크 코딩한 N6 패킷을 전송하여, Sink에서는 최종적으로 N5와 N6 패킷이 도착하게 된다.

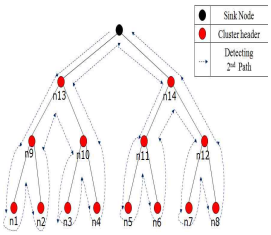


[그림 5] 네트워크 코딩을 사용한 후 딜레이

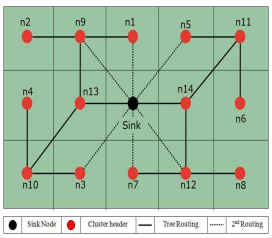
3.4 데이터의 복원 문제

(그림 5)를 보면 Sink에 최종적으로 들어오는 데이터는 N5와 N6만 들어오게 된다. 이 패킷 데이터로는 전체 데이터 복원을 하지 못한다. 전체 데이터로 디코딩하기 위해서는 총 6개의 추가적인 데이터 정보가 필요하게 된다.

이 문제를 해결하기 위하여 클러스터 헤더끼리 트리 라우팅 경로와 지정된 것과는 달리 2nd 라우팅 경로를 지정하는 것으로 해결하려 한다.



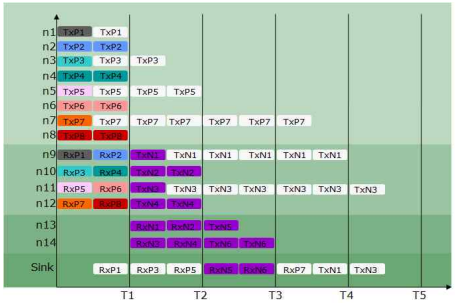
[그림 6] 2nd 라우팅 탐색 경로



[그림 7] 전체 라우팅 경로

(그림 6)에서 보이는 경로처럼 이동을 하면서 Sink 까지의 최소 홉 수를 가지는 경로만을 택하게 되면 최종적으로 (그림 7)에 보이는 형태로 전체 라우팅 경로가 설정된다. (그림 7)에서 실선은 트리구조의 라우팅 경로이며, 점선으로 표시된 부분이 2nd 라우팅 경로이다. (그림 7)에서 n1, n3, n5, n7, n9, n12를 보면, 트리 구조에서는 Sink까지의 거리가 1홉 이상의 거리를 가져도 2nd 라우팅 경로에서는 1홉 거리를 가질 수 있다.

클러스터 헤더는 자신의 Packet 전송이 끝나게 되면 2nd 라우팅 경로의 유무를 판단한다. 그 후, 2nd 라우팅 경로가 있다면, 2nd 라우팅 경로로 Packet을 전송한다. Sink에서는 추가 정보를 2nd 라우팅 경로로 얻게 되므로 모인 정보를 디코딩을 하여 전체 정보를 취득한다. (그림 8)은 2nd 라우팅 경로까지 생각한 딜레이를 도식화하였다.



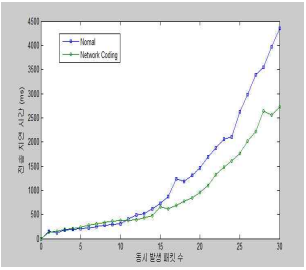
[그림 8] 전체 네트워크 딜레이

(그림 4)와 (그림 8)를 비교하면 네트워크 코딩을 적용하기 전에는 76개의 슬롯 타임을 소모하며, 네트워크 코딩을 적용한 후에는 64개의 슬롯 타임을 소모함을 알 수 있다.

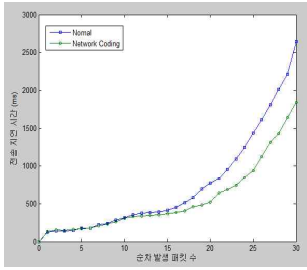
4. 성능 평가

본 논문에서 제안한 네트워크의 성능 평가를 위해 NS-2 시뮬레이터를 사용하였다. 시뮬레이션 모델은 네트워크 영역의 크기를 300x300m로 하였고 Location Base Station의 위치는 (150,150)에 위치시켰으며, 센서 노드의 개수는 300개로 설정하고 그 중에 30개를 클러스터 헤더로 설정하였다. 각 노드의 이동은 없는 것으로 설정하여 100초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 노드의 최대 전송 범위는 50m로 설정하였으며, 패킷 사이즈는 4000bit로 설정하였고 MAC 프로토콜은 802.15.4 MAC 프로토콜을 사용하였다.

(그림 9)는 패킷을 동시에 발생하는 경우이며, (그림 10)은 패킷을 발생 한 후 100ms이 지난 후에 다음 패킷을 발생 하는 경우이다. (그림 9)를 보면 초반에는 전송 지연 시간이 비슷하다가 동시 발생 패킷이 많아지게 되면 혼잡도가 발생하는 부분이 많아지게 되어 네트워크 코딩을 사용한 쪽이 딜레이가 약 17% 줄어든다. (그림 10)을 보면 순차적으로 보내게 될 경우 혼잡 문제가 발생하는 부분이 적어지게 되므로 전체적으로 전송 지연 시간이 줄어드는 것을 알 수 있으며, 발생되는 패킷의 수가 많아질수록 네트워크 코딩을 사용하는 쪽의 전송 지연 시간이 약 12% 감소함을 알 수 있다.



[그림 9] 동시 패킷 발생시



[그림 10] 순차 패킷 발생시

5. 결론

본 논문에서는 대규모 센서 네트워크에서 계층적 구조를 사용할 경우 생기는 혼잡문제로 인해 데이터 전송 딜레이가 생기는 문제를 보완하기 위해 네트워크 코딩 방식을 계층적 구조에 접목시킨 전송 방식을 제안하였다. 혼잡 문제가 야기되는 부분에 네트워크 코딩 방식을 접목시킴으로써 악조건으로 갈수록 데이터 전송 딜레이는 감소함을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

앞으로의 연구과제는 대규모 망의 센서 네트워크에서 음성 전송을 할 때 이 방법을 적용하여, 음성 데이터의 트래픽을 줄여 음성 데이터의 QoS를 높이는 연구를 할 예정이다.

참고문헌

[1] O. Gnawali, B. Greenstein, K. Jang, "The Tenet Architecture for Tiered Sensor Networks", Sensys'06, Nov, 2006.

[2] Sharma. T. P., Joshi. R. C., Misra. M., "GBDD: Grid Based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks", Advanced Computing and Communications, 2208. ADCOM 2008. 16th International Conference on, pp. 234 - 240, Dec, 2008

[3] R. Ahlsede, N. Cai, S. -Y. R. Li and R. W. Yeung, "Network information flow", IEEE Trans. info. Theory, Vol. 46 (4), pp. 1204-1216, 2000.

[4] D. Baker and A. Ephremides, "The Architectural Organization of a Mobile Radio Network via a Distributed Algorithm", IEEE Transactions on Communications, vol. 29, no. 11, pp. 1694 - 1701, Nov, 1981

[5] C. R. Lin, and M. Gerla, "Adaptive clustering for mobile wireless networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 7, pp. 1265 - 1275, Sep, 1997

[6] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin,

"Geography-Informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing", In proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM), Rome, Itary, pp. 70 - 84, July, 2001.

[7] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: an Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks", ACM Wireless Networks, vol. 8, no. 5, Sep 2002.

[8] A. Cerpa and D. Estrin, "ASCENT: Adaptive Self-Configuring Sensor Networks Topologies", in Proceedings of IEEE INFOCOM, New York, June, 2002.

[9] Heinzelman, W.R. Chandrakasan, "A Energy -efficient communication protocol for wireless microsensor networks", Proceedings of International Conference on System Sciences, pp. 1 - 10, 2000.