
무선 멀티캐스트 전송률의 적응적 제어기법

김성원*

Adaptive Rate Control for Wireless Multicast

Sung Won Kim*

이 연구는 2008학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임

요 약

한 번의 전송으로 다수의 단말기에 데이터를 전송할 수 있는 멀티캐스트 전송기법은 무선 네트워크의 효율성을 증대시킨다. 하지만 멀티캐스트의 전송률은 고정되어 있어서 효율성이 최적화 되어 있지 않다. 본 논문에서는 무선 네트워크에서 다중 전송에 사용되는 멀티캐스트의 전송률을 적응적으로 제어하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서 각 단말기는 고유한 서브캐리어를 할당받고, 이 서브캐리어를 사용하여 채널 상태를 송신기에 알려준다. 송신기는 이러한 피드백 정보를 사용하여 최적의 전송률을 사용할 수 있게 된다. 이러한 전송률 제어기법을 사용하면, 시스템 성능 향상을 이룰 수 있게 된다.

ABSTRACT

Multicast can transmit data packet to multiple terminals by using only one transmission and enhances the system performance. However, the multicast transmission rate is fixed and the system performance is not optimized. In this paper, we propose an adaptive multicast rate control method. In the proposed method, orthogonal subcarrier is assigned to each terminal. Each terminal informs the channel status using the allocated subcarrier. Transmitter selects the optimal rate using the feedback information. With the proposed adaptive rate control method, the system performance is enhanced compared with the legacy multicast method.

키워드

멀티캐스트, 전송률 제어, 서브캐리어, 무선 네트워크

I. 서 론

멀티캐스트는 하나의 주소로 인식될 수 있는 다수개의 단말기로 데이터를 전송하는 방법이다. 무선 네트워크에서 멀티캐스트를 사용하면 한 번의 전송으로 다수개의 단말이 데이터를 수신할 수 있게 되므로, 부족한 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있게 해준다. 이러한 효율성으로 인해 그룹단위의 무선 통신에 멀티캐스트가 사용되고 있다. 최근 서비스되고 있는 IPTV도 멀티캐스트의 적용분야이다. 무선 통신이 본격화되기 전에는 유선 통신에서의 멀티캐스트 기법은 많이 연구되었다. 유선 통신에서의 멀티캐스트에 대한 연구는 주로 네트워크 계층에서 이루어 졌다[1]. 유선 네트워크에서 매체접속제어(MAC)계층은 멀티캐스트의 전송 성능에 큰 영향을 미치지 않는다. 또한 채널의 에러가 거의 없는 환경이므로 매우 안정적으로 데이터가 전달된다. 이러한 이유로 유선 네트워크에서의 멀티캐스트 연구는 주로 경로설정을 최적화 하는 문제에 집중되었다.

무선 네트워크에서의 멀티캐스트는 채널이 시간에 따라서 변하는 특성을 가지며, 에러가 자주 발생하므로 목적지까지의 신뢰성 있는 전송을 보장하기가 어려워지게 된다. 그러므로 무선 네트워크에서는 데이터의 에러를 복구하는 방법이 필요하며, MAC 계층이 이러한 에러 복구 기능을 수행하고 있다. MAC 계층에서의 이러한 에러 복구 기능을 통하여 점대점 통신의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 많은 무선 네트워크에서는 멀티캐스트의 에러복구 기능을 제공하지 않고 있다. 왜냐하면 무선 네트워크에서 멀티캐스트에 에러 복구기능을 구현하기 위해서는 많은 오버헤드가 필요하게 되고, 이 오버헤드는 단말기의 수가 증가할수록 더욱 증가하기 때문이다. 무선 네트워크에서 많이 사용되는 IEEE 802.11 표준에서는 RTS, CTS, ACK 등의 제어패킷을 사용하여 유니캐스트에 대한 안정성을 제공하고 있으나, 멀티캐스트에 대해서는 에러 복구 기능을 제공하지 않고 있다. 즉, 가장 낮은 전송률로 멀티캐스트 데이터를 전송하며, 에러의 발생을 감지하거나 재전송하는 기능이 없다. 에러의 발생을 감지하기 위해서는 피드백 채널을 확보하여야 하나, 피드백 채널은 오버헤드를 증가시켜서 시스템 성능을 저하시키게 된다. 피드백 채널이 존재하지 않으므로, 채널을 상태 변화에 대응하여 재전송하거나 전

송률을 변화시키는 동작이 불가능하게 된다. 그러므로 신뢰성 있는 전송을 위해서 전송률은 가장 낮은 속도를 사용하게 된다.

최근에 MAC계층에서 무선 멀티캐스트의 안정성을 제공하는 방법이 주목받고 있다. 피드백 채널을 사용하여 ARQ 재전송 기법을 사용하는 방법이 [2]-[4]에서 제안되었다. 그러나 이 방법들에서도 오버헤드 문제는 여전히 존재한다. 이처럼 멀티캐스트의 안정성을 위해서는 시스템의 처리율을 희생하여야 한다. [5]에서는 OFDMA 기반의 ACK 패킷을 사용하여 이러한 문제를 해결하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 수신 단말기는 사전에 미리 정해진 서브캐리어 위치에 자신의 패킷수신여부를 OFDM 심벌을 통하여 전달하게 된다. 모든 서브캐리어는 서로 직교하므로 하나의 OFDM 심벌 크기 만큼의 오버헤드만을 사용하여 멀티캐스트의 안정성을 보장할 수 있게 된다.

멀티캐스트에서의 데이터 전송률에 대한 연구는 [6][7]에서 이루어졌다. 이러한 연구들은 기지국과 같은 중앙제어기가 있는 네트워크 환경을 가정하고 있다. 또한 중앙기지국이 주기적으로 모든 단말기로 부터 채널 정보를 피드백 받는 것을 가정하고 있다. 이러한 연구결과는 중앙기지국이 없는 에드혹 네트워크에서는 사용될 수 없다. 또한 중앙기지국이 있는 경우라도, 오버헤드로 인하여 시스템 성능이 저하되며, 주기적으로 수집된 채널정보는 최신 정보가 아닐 수 있다. 즉, 가장 정확한 채널정보는 송신하기 바로 직전에 수집된 정보이어야 한다.

본 논문에서는 최근 연구결과 [5]에 기반을 둔 멀티캐스트 데이터 전송률 제어기법을 제안한다. 제안된 방법에서는 몇 개의 추가 OFDM 심벌을 사용한다. 추가된 OFDM 심벌로 인해 오버헤드가 증가하지만, 전송률 제어로 인해서 전체 시스템의 성능은 향상된다.

II. 관련 연구

IEEE 802.11 무선 랜 표준[8]에서는 유니캐스트 통신의 신뢰성 있는 전송방법에 대해서는 정의하고 있으나, 멀티캐스트의 신뢰성에 대해서는 정의하고 있지 않다. 멀티캐스트 통신에서는 다수의 단말기들로 패킷을 전송한 후 수신여부를 확인하지 않기 때문에, 송신

기는 패킷이 정확하게 수신되었는지를 알 수 없게 된다. 즉, 신뢰성 확보를 위해 필요한 RTS, CTS, ACK 제어패킷이 사용되지 않는다. 그러므로, 멀티캐스트 전송의 신뢰성을 확보할 수 없게 된다. 반면에 cdma2000 [9]이나 WiMAX [10]의 경우에는 멀티캐스트의 신뢰성이 제공된다. 여기에서는 패킷 에러를 복구할 수 있는 에러 복구 코드(ECC)를 삽입하거나, 패킷 에러를 줄일 수 있는 공간 다이버시티를 사용한다. 이러한 표준 이외에 기존에 연구되었던 신뢰성 있는 멀티캐스트 방법은 크게 두 가지로 구분해 볼 수 있다. 하나는 리더 기반의 ACK 전송기법이고, 다른 하나는 복수개의 ACK 전송기법이다.

RTS, CTS 전송 없이 데이터와 복수개의 ACK을 사용하는 MMP[3]에서는, 데이터 수신 후, 미리 정해진 순서에 따라서 각 단말기들은 ACK 패킷을 전송하게 된다. 리더기반의 LBP[4]에서는 복수개의 CTS와 ACK을 줄이기 위해서, 리더로 선발된 하나의 단말기만이 CTS와 ACK을 전송한다. 복수개의 ACK 전송에 비해서 오버헤드를 많이 줄일 수 있지만, 리더가 모든 단말기의 수신 상태를 대표할 수 없다는 문제가 있다.

IEEE 802.11의 ACK 패킷에 OFDMA기반의 멀티캐스트 수신정보를 보내는 OMACK 방법이 [5]에서 제안되었다. 각 노드는 멀티캐스트 그룹 내에서 하나의 OFDM 심벌에 대한 배타적인 사용권을 획득한다. 멀티캐스트 패킷을 수신한 노드는, 할당된 OFDM 심벌에 한 비트의 정보를 전송하여 패킷의 성공적인 수신 여부를 알려주게 된다. 각 노드들 간의 OFDM 심벌들은 서로 직교하므로 충돌 없이 전송된다. 송신노드는 OMACK의 각각의 OFDM 심벌을 판독하여, 패킷 전송여부를 확인할 수 있다.

III. 멀티캐스트의 전송률 제어기법

기지국과 단말기 사이에 피드백 채널이 있는 네트워크 환경[7]에서는 대역폭을 효율적으로 사용하기 위한 전송률 제어 기법을 사용하고 있다. 하지만, IEEE 802.11 표준에서는 안정된 멀티캐스트 전송을 위해서 가장 낮은 전송률만을 사용하도록 하고 있다. 즉, IEEE 802.11에서는 채널 상태에 대한 피드백 정보를 얻을 수 없기 때문에, 가장 낮은 전송률보다 높은 전송률을 사

용할 경우, 패킷 전송에러가 발생할 확률이 증가하기 때문이다. 이처럼 기지국에 의해 제어되는 무선네트워크에서는 피드백 채널이 있어서 멀티캐스트의 전송률 제어가 가능하지만, 에드혹과 같은 분산형 무선 네트워크에서는 멀티캐스트의 전송률 제어기법이 제안되지 않고 있다.

본 논문에서는 분산형 무선 네트워크에서 적용가능한 멀티캐스트 전송률 제어기법을 제안한다. 제안하는 방법은 IEEE 802.11a 물리계층을 가정한다. 송신기가 RTS 패킷을 전송하면, 수신기는 신호대잡음비(SNR)를 측정하여 최적의 전송률을 찾아낸다. IEEE 802.11a는 8가지의 전송률이 가능하므로, 3비트를 사용하면 최적의 전송률을 표현할 수 있다. 수신기는 CTS 패킷에 3비트 정보를 3개의 OFDM 심벌에 실어 보낸다. 모든 멀티캐스트 노드들은 CTS의 3개의 OFDM 심벌을 공유하지만, OMACK에서처럼 서로 직교하므로 충돌 없이 전달된다. 송신기는 CTS 패킷을 수신한 후, 각 수신기에 의해서 선택된 전송률중 최저값을 선택하여, 데이터 패킷을 전송하게 된다. 만약, 하나 이상의 수신기에서 최적의 전송률을 보내지 않을 경우에는, 충돌이 발생하거나 채널 환경이 좋지 않은 경우이므로, 백오프 후 RTS 패킷을 재전송하게 된다.

이와 같이 CTS 패킷에 세 개의 추가적인 OFDM 심벌들을 이용하여 전송률을 제어하는 방법은 정확한 전송률 값을 피드백 하는 장점이 있지만, 오버헤드가 증가하는 단점이 있다. 이러한 오버헤드를 줄이기 위하여 하나의 OFDM 심벌만을 사용하는 방법을 제안한다. 이 방법에서 각 수신노드는, 수신된 RTS 패킷의 SNR을 분석한 후, 직전에 사용하였던 전송률보다 증가된 전송률을 사용하는 것이 가능한 경우에는 1 값을, 반대로 감소된 전송률을 사용해야 하는 경우에는 0 값을 OFDM 심벌로 보내게 된다. 송신기는 이렇게 수신된 OFDM 심벌을 분석하여, 각 노드별로 직전에 사용하였던 전송률에서 새로운 전송률 값으로 변경한 후, 최솟값을 선택하게 된다. 이 방법은 오버헤드를 줄이는 장점이 있지만, 전송률의 변화에 빨리 적응하지 못하는 단점이 있다. 실내와 같이 채널 환경이 서서히 변하는 경우에는 하나의 OFDM 심벌을 사용하여도 충분한 성능을 낼 수 있다. 만약 채널 환경이 급격히 또는 자주 변화하는 경우에는 세 개의 OFDM 심벌들을 사용하는 방법을 적용하면 된다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안된 하나의 OFDM 심벌을 사용하는 방법과 세계의 OFDM을 사용하는 방법의 성능을 IEEE 802.11에서 사용하는 멀티캐스트 방법의 성능과 비교하였다. 성능은 시뮬레이터를 사용하여 측정하였고, 채널은 사무실 무선 환경을 가정하였다 [11]. 시뮬레이션은 25개의 노드가 위치하는 셀 크기를 변화시켜 가면서 측정하였다.

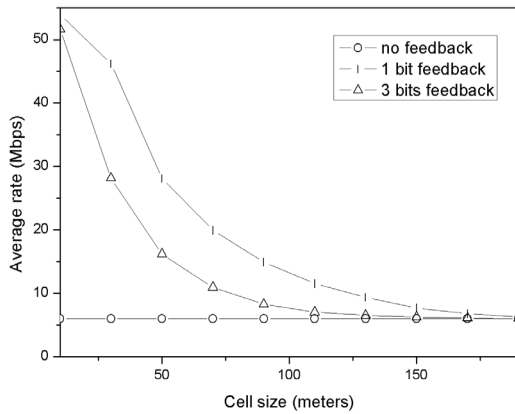


그림 1. 평균 전송률
Fig. 1 Average transmission rate

그림 1은 평균 전송률을 보여준다. 피드백이 없는 IEEE 802.11은 항상 가장 낮은 전송률인 6 Mbps를 사용한다. 1 비트 피드백을 사용하는 경우가 3 비트 피드백을 사용하는 경우보다 평균 전송률이 높은 이유는, 어느 한 노드의 최적 전송률이 갑자기 6 Mbps 이하로 떨어지는 경우, 3 비트 피드백은 데이터 패킷을 전송하지 않고 백오프에 들어가는 반면, 1 비트 피드백은 전송률이 한 단계씩만 변하므로, 최적 전송률보다 높은 전송률을 사용하여 데이터 패킷을 전송하는 경우가 발생하기 때문이다. 즉, 1 비트 피드백은 채널 환경에 느리게 적응하기 때문에, 최적의 전송률보다 평균적으로 과도한 전송률을 사용하게 된다. 이러한 과도한 전송률은 높은 패킷 에러율을 발생시키게 되는데, 이러한 결과는 그림 2에 나타나 있다.

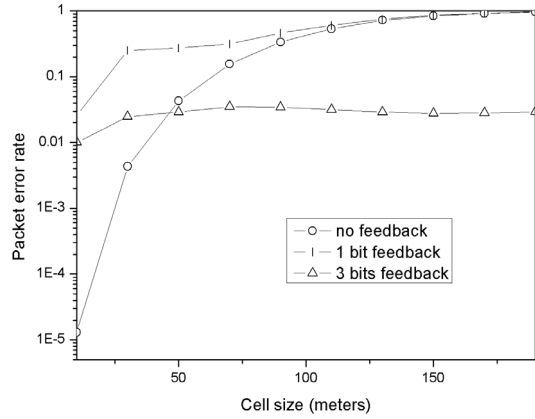


그림 2. 패킷 에러율
Fig. 2 Packet error rate

그림 2에서 피드백이 없는 경우에는 항상 일정한 전송률(6 Mbps)을 사용하지만, 셀 크기가 커질수록 통신하는 거리가 멀어지므로 SNR이 나빠지고 패킷 에러율은 증가하게 된다. 반면, 3 비트 피드백은 통신 채널 변화에 대응하는 적절한 최적의 전송률을 사용하므로, 거의 일정한 패킷 에러율을 나타낸다. 1 비트 피드백은 그림 1에서 설명한 것처럼, 과도한 평균 전송률 사용으로 패킷 에러율이 다른 방법에 비해서 높게 된다.

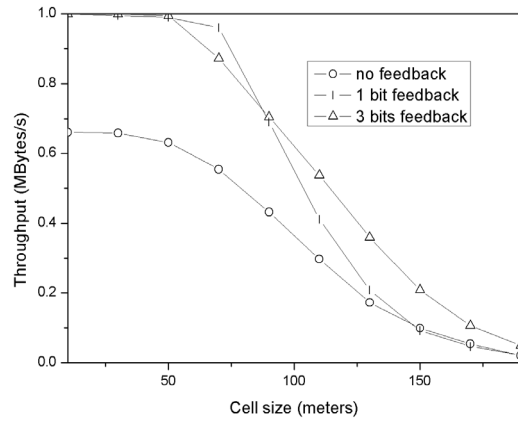


그림 3. 처리율
Fig. 3 Throughput

그림 3의 처리율은 그림 1의 평균 전송률에 직접적인 영향을 받는다. 즉, 전송률이 높을수록 처리율도 높아진다. 셀 크기가 작은 경우에, 1 비트 피드백이 높은 처리율을 보여 준다. 그 이유는, 높은 전송률에 의한 이득이, 높은 패킷 에러율에 의한 감소를 상쇄하기 때문이다. 하지만, 셀 크기가 증가할수록, 패킷 에러율이 증가하고 평균 전송률은 감소하면서, 3 비트 피드백보다 낮은 처리율을 보여준다. 그러므로, 통신 거리가 짧은 환경에서는 1 비트 피드백이 유리하며, 긴 경우에는 3 비트 피드백이 사용하는 것이 처리율 측면에서 유리하다.

IV. 결론

본 논문에서는 무선 멀티캐스트에서 사용할 수 있는 전송률 제어기법을 제안하였다. 제안된 기법은 IEEE 802.11의 CTS 패킷에 작은 오버헤드를 추가 사용하여 피드백 채널을 구성하고, 채널 환경에 대응하는 전송률을 찾아서 사용하도록 하고 있다. 논문에서는 1 비트 또는 3 비트를 사용하는 두 가지 방법을 제안하고, 각각의 성능을 기존의 멀티캐스트 방법과 비교하였다. 제안된 방법은 피드백을 사용하지 않는 기존의 방법보다 우수한 처리율과 높은 전송률을 사용할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 보였다.

참고문헌

- [1] A. El-Sayed, V. Roca, and L. Mathy, "A survey of proposals for an alternative group communication service," *IEEE Network*, vol. 17, pp. 46-51, Jan/Feb. 2003.
- [2] C.-W. Bao and W. Liao, "Performance analysis of reliable MAC-layer multicast for IEEE 802.11 wireless LANs," in *Proc. ICC'05*, May 2005, vol. 2, pp. 1378-1382.
- [3] H. Gossain, N. Nandiraju, K. Anand, and D. P. Agrawal, "Supporting MAC layer multicast in IEEE 802.11 based MANET's: Issues and solutions," in *Proc. IEEE LCN'04*, Nov. 2004, pp. 172-179.
- [4] J. Kuri and S. K. Kasera, "Reliable multicast in multi-access wireless LANs," *ACM/Kluwer Wireless Networks Journal*, vol. 7, no. 4, pp. 359-369, Aug. 2001.
- [5] Byung-Seo Kim, Sung Won Kim, and Randy Ekl, "OFDMA-based Reliable Multicasting MAC protocol for WLANs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 57, No. 5, September 2008
- [6] J. Kim and D.-H. Cho, "Enhanced Adaptive Modulation and Coding Schemes Based on Multiple Channel Reportings for Wireless Multicast Systems," *Proc. VTC'05*, vol. 2, pp. 725-729, Sept. 2005.
- [7] H. Wang, H. P. Schwefel, and T. S. Toftegaard, "The Optimal Joint power and rate adaptation for Mobile Multicast: A Theoretical Approach," In *Proc. IEEE Sarnoff Symposium*, pp. 1-6, April 28~30 2008.
- [8] IEEE 802.11 WG, Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems -LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS), IEEE 802.11e/D13.0, Jan. 2005.
- [9] J. Wang, R. Sinnarajah, T. Chen, Y. Wei, and E. Tiedemann, "Broadcast and Multicast Service in cdma2000," *IEEE Commun. Magazine*, pp. 76-82, February 2004.
- [10] IEEE 802.16 WG, Part 16: Air interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands," *IEEE P802.16e/D9*, June 2005.
- [11] F. A. Tobagi, A. K. Vyas, S. Ha, and O. Awoniyi, "Interactions between the physical layer and upper layers in wireless networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 5, issue 8, pp.1208-1219, Nov. 2007.

저자소개



김성원 (Sung Won Kim)

1990년 서울대학교 제어계측공학과
공학사

1992년 서울대학교 제어계측공학과
공학석사

2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사

2005년 ~ 현재 영남대학교 전자정보공학부 부교수

※관심분야 : 무선 네트워크, 모바일 네트워크, 임베디드 시스템