

다중접속 무선 LAN 환경에서 효율적인 멀티캐스트 서비스

김철규* 최덕규**
*아주대학교 정보통신전문대학원
**아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과
(chealkyo, dkchoi)@madang.ajou.ac.kr

A Modified Leader-based Protocol for Reliable Multicast in Multi-access Wireless LAN

Cheol-Kyoo Kim* Duk-Kyoo Choi**
*Graduate School of Information and Communications, Ajou University
**Dept. of Information and Computer Engineering, Ajou University

요약

멀티캐스트 서비스는 한 단말이 수신 그룹 내의 여러 단말들에게 같은 내용의 데이터 패킷을 전송하는 방법이다. 본 논문에서는 단일 채널 다중 접속 무선 LAN(Wireless LAN)의 작은 셀 환경을 기반으로 효율적인 멀티캐스트 서비스에 대한 방안을 제안한다. 이 시스템에서 이동 단말들이 동시에 하나 이상의 패킷을 전송하는 경우 패킷 충돌(collision)이 발생하여 수신단말은 정확하게 패킷을 수신할 수 없다. 그러므로 하나의 단말만이 전송을 해야 한다. 이와 같은 문제점 때문에 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 위해서는 단일 채널 다중 접속 방법을 그리고 무선 링크의 높은 에러율을 극복하기 위해서는 재전송 기법(ARQ)을 고려해야 한다. 제안하는 mLBP(modified Leader-Based Protocol)는 멀티캐스트 그룹 내에서 리더(leader)를 선정하고 이 리더가 송신 단말에게 피드백 정보를 대표로 전송하는 역할을 수행한다. 신뢰성 확보를 위해서는 에러가 있는 패킷을 리더 외의 단말들이 수신 했을 경우에 재전송을 유도하기 위해 리더는 긍정응답(ACK) 패킷을 전송하지 않고 침묵한다. 리더 외의 단말이 에러가 있는 패킷을 수신했을 경우 각 단말들은 지체 없이 부정응답(NAK)을 전송하여 이를 수신하는 단말에서 패킷 충돌을 유발시키고 재전송을 유도한다. 기존의 지연응답(delayed feedback) 방법과 확률적 방법을 사용한 기법들을 분석하여 측정된 성능을 비교한 결과 제안하는 mLBP이 다른 두 기법보다 우수한 성능을 나타냄을 보인다.

1. 서론

향후의 무선 네트워크는 셀을 자유롭게 이동하고 많은 수의 이동 단말을 수용함에 따라 셀 내의 여러 단말들은 멀티캐스트 서비스를 요구하게 될 것이다. 멀티캐스트 통신은 무선 링크의 대역폭 사용 효율의 증가를 가져오고 성능을 향상 시킨다는 점에서 효율적인 전송 기법이다.

제안하는 mLBP는 단일채널 다중접속 무선 LAN의 작은 셀로 구성된 환경에서 멀티캐스트 서비스를 고려한다. 무선 환경에서 멀티캐스트 통신은 다수의 수신 단말에 의해 하나의 송신자에 피드백 정보를 전송할 경우 패킷 충돌 현상이 유니캐스트(unicast) 전송보다 많이 발생하는 점과 무선의 높은 에러율로 ARQ에 기반한 에러 회복의 효율성 문제가 대두된다. 에러 복구의 경우 보통 송신자와 수신 단말 사이의 거리가 멀기 때문에 원래의 송신자가 에러 복구 메커니즘을 담당하기 보다는 BS(Base Station)에서 이 기능을 수행하는 것이 패킷 처리율을 향상 시키고 지연과 대역폭의 낭비를 줄일 수 있다. 무선 채널 다중 접속을 시도할 때 피드백 패킷 충돌은 대역폭의 낭비와 지연을 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 지연응답 기법과 확률적 기법이 사용되어 왔지만 비효율적이다.

제안하는 mLBP에서는 멀티캐스트 그룹 내에서 리더를 선출하고 송신 단말에게 피드백 정보를 대표로 전송하는 역할을 수행한다. 에러가 난 패킷을 리더 외의 단말들이 수신 했을 경우에 재전송을 유도하기 위해 리더는 ACK을 전송하지 않고 침묵한다. 리더 외의 단말이 에러가 있는 패킷을 수신했을 경우 각 단말들은 지체 없이 NAK를 전송하여 이를 수신하는 단말에서 패킷 충돌을 유

발시키고 BS에 재전송을 유도한다. 기존의 지연응답 방법과 확률적 방법보다 채널의 효율성과 성능면에서 더 향상 결과를 얻을 수 있었다. 또한 현재의 무선 LAN 표준(IEEE 802.11)에 용이하게 응용할 수 있다.

2. 문제 제기

인터넷 상에서 이동 단말에 대한 멀티캐스트 서비스[8]와 IP multicasting를 이용한 이동성 지원 방법[11]이 제안되었지만 에러 복구와 다중 접속의 문제에 대해서는 언급되어 있지 않다. 다중 접속에 관련한 작업[1], [3], [4], [7]은 점대점(point-to-point) 유니캐스트 통신에 국한되어 있다. 멀티캐스트 어플리케이션(화상회의, 원격교육, 주식시세, 등)은 엄격한 중단간 지연에 대해 일정 수준 이하를 요구한다. 무선 링크의 신뢰성은 시간과 시스템의 자원을 절약한다는 측면에서 중요하다.

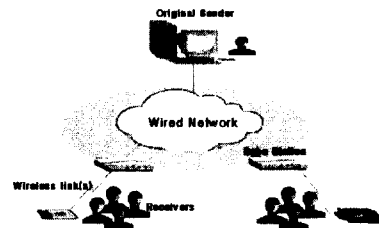


그림 1. 멀티캐스트 네트워크

멀티캐스트 네트워크[그림 1]에서 유선구간에는 애러가 없다고 가정하고 무선 구간을 고려해 볼 때, 멀티캐스트 서비스를 받는 무선 단말의 수가 증가함에 따라 무선 구간의 에어로로 인해 재전송의 회수가 증가한다[12]. 재전송 증가는 송신자에게 불필요한 작업을 수행하게 만들고 멀티캐스트 트리 내의 다른 단말은 중복하여 패킷을 수신하게 되어 전체 성능을 저하 시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 BS의 링크 레벨에서 에러 복구를 하여 무선 링크의 악영향이 송신자에 미치지 못하도록 분리 시키는 것이다. 무선 링크 계층에서 에러 복구 전략은 전송 계층(transport layer)의 에러 복구 전략에 간섭을 줄 수 있지만 링크 레벨에서 에러 복구 지원이 작다면 간섭을 줄여 전송 지연을 최소로 유지 할 수 있다[5].

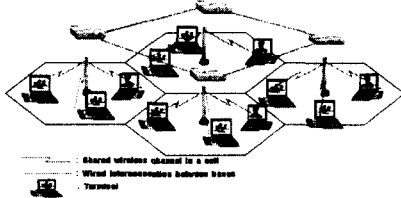


그림 2. 시스템 개관

그림2는 이동 단말을 지원하는 마이크로 셀 환경의 멀티캐스트 통신 시스템이다. 셀은 BS가 관리하는 영역을 의미하고, BS는 셀 내의 이동 단말 그룹과 통신한다. 시간 단위는 슬롯(slot)을 사용한다.

3. 프로토콜

다중 접속 무선 LAN에서 신뢰적인 멀티캐스트 서비스를 위한 일반적인 프로토콜은 리더 단말에 기반한 프로토콜과 임의의 시간 지연, 확률적 방법에 의한 프로토콜이 있다. 이 프로토콜들은 수신단말과 BS 사이의 링크 레벨 멀티캐스트 주소를 사용하며 단말들은 멀티캐스트 그룹에 가입하거나 탈퇴한다.

3.1 mLBP(modified Leader-Based Protocol)

LBP는 멀티캐스트 그룹 내에서 리더를 선출하고 BS에서 전송하는 RTS에 대한 응답으로 CTS, ACK를 전송하는 역할을 수행한다. 리더에 기반한 에러 회복절차는 다음과 같다.

- [Slot 1] Base → Receivers
Send (multicast-RTS.)
 - [Slot 2] Receivers → Base
Leader : if ready to receive data then Send(CTS)
if not ready then do nothing
Other : if ready to receive data then do nothing
if not ready then Send(NCTS)
 - [Slot 3] Base → Receivers
if a CTS was heard in 2 slot then Send(DATA)
if no CTS was heard then Back off & goto first step
- 다음 단계는 slot 3에서 데이터 전송이 이루어진 경우 수행된다.
- [Slot (3 + 1)] Receivers → Base
Leader : if received packet without error then Send(ACK)
if in error then Send(NAK)
 - Other : if received packet without error then do nothing
if in error then Send(NAK)

3.2 DBP (Delayed-Based Protocol)

지연 피드백 기반 프로토콜은 CTS 충돌을 피하기 위해 임의의 시간을 이용한다.

- [A] Base → Receivers
 1. Send (multicast-RTS.)
 2. Start timer (timeout period T)
- [B] Receivers → Base
 1. Upon hearing RTS, start timer with an initial value chosen randomly from {1, 2, ..., L}

- 2. Decrement timer by 1 in each slot
- 3. if a CTS is heard before timer expires, freeze timer
if no CTS the Send(CTS)

[C] Base → Receivers
if no CTS is heard within T then Back off & goto step A
if a CTS is heard within T then Send(DATA)
전송이 끝난 후에 step A로 가서 다음 전송할 패킷을 준비 한다.
다음 단계는 step C에서 데이터 전송이 이루어진 경우 수행된다.

[D] Receivers → Base
if received packet without error, then do nothing
if in error then contend for the channel Send(NAK)

3.3 PBP(Probabilistic Feedback-Based Protocol)
PBP는 DBP와 유사하지만 주요한 차이점이 있다. CTS를 전송하기 위해 임의의 타임 슬롯을 대기하는 대신에 확률에 의거 RTS(T=L)를 전송한다. 여기서 확률 값은 멀티캐스트 그룹 구성원 수에 기초하여 계산된다. PBP도 mLBP처럼 수신할 준비가 안된 단말은 NCTS를 1의 확률로 전송한다.

4. 성능분석

mLBP와 DBP, PBP의 성능분석을 위해 다음과 같이 가정한다. 멀티캐스트 트래픽은 한 셀에서만 고려하고, 제어용 패킷의 손실은 없다. 무선 링크에서의 애러는 없다. 위의 가정하에 각 프로토콜의 채널 점유 시간을 중심으로 성능분석을 수행하였다. 채널의 점유 시간은 멀티캐스트 데이터를 성공적으로 수행할 때까지 걸리는 시간을 의미한다.

4.1 DBP의 성능분석

RTS를 전송하고 T 구간에 CTS를 수신할 확률을 p_h 는 다음 식(1)과 같다.

$$p_h = \frac{N}{L} \sum_{i=1}^T \left(\frac{L-i}{L} \right)^{N-1} \quad (1)$$

여기서 T는 타임 아웃 구간이고, L은 {1, 2, ..., L}에서 랜덤하게 선택되어지는 수이고, N은 수신 단말의 수이다. 그림3은 N, T이 주어 졌을 때 L에 따른 p_h 의 변화를 나타내고 있다. L 값의 선택은 타임 아웃과 단말 수를 고려한 중간치가 된다.

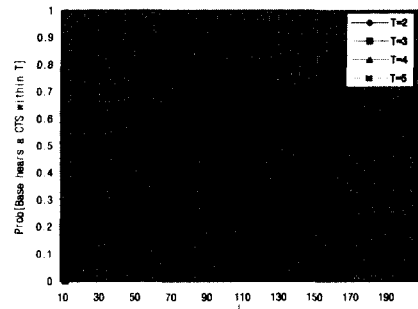


그림 3. L에 따른 p_h 의 변화량 (N과 T값이 고정된 경우)

타임아웃 T 구간에 CTS를 수신하지 못했을 경우 BS는 backoff 하지 않는다는 가정 하에 평균 채널접속 구간의 길이 $E(T_a^{DBP})$ 는 식(2)와 같다.

$$E(T_a^{DBP}) = E(\tau/A) + \frac{(1-p_h)}{p_h} + \frac{1}{p_h} \quad (2)$$

그림4는 L, T값에 따른 $E(T_a^{DBP})$ 의 값을 나타낸다. N=30이고 T가 고정되었을 때 $E(T_a^{DBP})$ 은 처음에는 감소 후에 증가한다.

그림3에서 p_1 의 값이 큰 구간은 그림4에서는 작은 값이 됨을 알 수 있다.

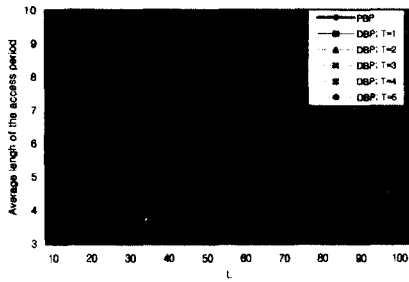


그림 4. DBP와 PBP의 평균 채널 접속 기간 비교

4.2 PBP의 성능분석

PBP의 경우 multicast-RTS를 수신한 단말은 CTS를 다음 슬롯에 확률 p 를 가지고 전송을 시도한다. 정확하게 멀티캐스트 그룹의 한 단말이 CTS를 BS에 전송하고 정확하게 수신을 하면 채널 접속이 완료된다. 채널의 접속 기간은 최소 2 슬롯이다. RTS 전송과 CTS를 전송하는데 각각 사용된다. p_0 는 2 슬롯 내에 접속 완료될 확률을 나타내고 기하 분포를 따른다.

$$p_0 = Np(1-p)^{N-1}$$

채널 접속에 소요되는 평균 시간을 나타내는 $E(T_a^{PBP})$ 는 $2/p_0$ 가 된다. $p = 1/N$ 일 때 접속 시간이 최소가 되므로 평균 접속 시간은 다음과 같이 표현된다.

$$E(T_a^{PBP}) = \frac{2}{(1-\frac{1}{N})^{N-1}} \quad (3)$$

4.3 DBP와 LBP 비용 비교

그림4에서 L, T 이 최적화되면 PBP보다 DBP가 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 따라서 DBP와 mLBP의 비용만을 고려한다. 비용은 채널을 점유하고 전송하는데 걸리는 시간이다. 그림5에서와 같이 DBP의 비용은 $E(T_a^{PBP}) + C$ 이다. 여기서 C 는 데이터 패킷을 전송하는데 드는 비용이다. mLBP의 경우는 $C+3$ 이 되어 DBP의 최적화된 값들 보다 비용이 작다. 즉 $N=50$ 이고 최적화된 T, L 의 값이 2, 26이면 mLBP의 비용은 23이고 DBP의 경우는 25.02가 되어 mLBP가 성능이 더 우수함을 알 수 있다.

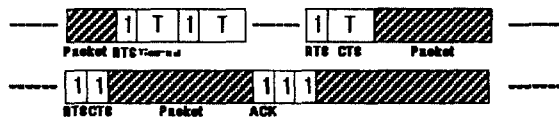


그림 5 Error-free 환경에서의 패킷 패턴

5. 리더의 선출

단말이 그룹에 가입하거나 탈퇴를 시도 할 때 join-group, leave-group 메시지를 BS에 전송한다. BS는 멀티캐스트 그룹에 대한 DB(Data Base)를 유지하고 각 멀티캐스트 그룹에서 리더 주소를 등록하고 관리한다. $g = \{G_1, G_2, \dots, G_L\}$ 는 단말이 가입할 수 있는 멀티캐스트 그룹의 집합이다. 단말이 G_i 에 가입 메시지를 BS에 전송하고 BS는 G_i 에 리더가 선정되어 있는지 테이블을 체크한다. 만약 리더가 없다면 응답 메시지에 리더가 되었음을 알리는 정보를 추가하여 전송

하고 단말은 리더의 역할을 수행한다. 탈퇴하는 단말이 리더일 경우 BS는 테이블에서 관련 정보를 삭제하고 리더가 아닐 경우는 아무런 일도 하지 않는다.

리더가 그룹을 탈퇴하기 위해서 메시지를 전송했는데 어떤 이유로 유실 되었을 경우 BS는 여전히 리더가 있다고 생각하고 패킷을 전송한다. 전송된 패킷에 대한 응답이 없어 타임 아웃이 수 차례 반복되면 테이블에서 리더에 관련된 개체를 삭제하고 패킷 전송을 중지한다. G_i 에 가입되어 있는 나머지 단말들은 궁극적인 타임 아웃이 발생되고 재 등록 절차를 수행한다.

6. 결론

다중 접속 무선 LAN에서 신뢰성 있는 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위해 다중 접속 채널의 점유 문제와 에러 회복 문제에 대해서 새로운 접근을 시도하였다. mLBP는 리더 이외의 단말들의 충돌 가능성에 대해 책임지지 않고 충돌 자체로 재전송의 요구 방법으로 사용한다는 점에서 CTS나 ACK/NAK의 충돌에 대한 효율적인 이용 방안을 제시하였다.

추가적으로, 전통적인 DBP나 PBP의 방법들 보다는 mLBP가 IEEE 802.11 표준에 쉽게 응용될 수 있고 무엇보다도 mLBP가 다른 프로토콜보다 월등한 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 간단한 리더의 선출 방법에 대해서도 제시하였다.

참고문헌

- [1] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker and L. Zhang, *MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LANs*. Proceedings of ACM SIGCOMM Conference, August 1994.
- [2] V. Bharghavan, *A New Protocol for Medium Access in Wireless Networks*. International Technical Report, UIUC, 1998.
- [3] H. Chhaya and S. Gupta, *Performance for Modeling of Asynchronous Data Transfer Methods of IEEE 802.11 MAC Protocol*. Wireless Networks, Vol.3(1997) No.3, August 1997.
- [4] B.P. Crow, I. Widjaja, J.G. Kim and P. Sakai, *Investigation of the IEEE 802.11 Medium Access Control (MAC) Sublayer Functions*. Proceedings of IEEE Informcom April 1997.
- [5] A DeSimone, M.C. Chuah and O.C. Yue, *Throughput Performance of transport layer protocols over wireless LANs*. Proceeding of IEEE Globecom, November 1993.
- [6] W. Fenner, *Internet Group Management Protocol, Version 2*. RFC 2236, November 1997.
- [7] Wireless Medium Access Control and Physical Layer Working Group, *P802.11 IEEE Draft Standard-Wireless LAN*. IEEE Standards Department, D3, January 1996.
- [8] G. Xylomenos and G. C. Polyzos, *IP Multicast for Mobile Hosts*. IEEE Communications Magazine, January 1997.
- [9] Sneha K. Kaseria, Jim Kurose and Don Towsley *Scalable Reliable Multicast Using Multiple Multicast Groups*. Proceedings of ACM Sigmetrics Conference, June 1997.
- [10] Joy Kuri and Sneha K. Kaseria *Reliable Multicast in Multi-access Wireless LANs*. Center for Electronic Design and Technology (CEDT) Tech Report, Indian Institute of Science, January 1999.
- [11] J. Mysore and V. Bharghavan, *A New Multicasting-based Architecture for Internet Host Mobility*. Proceedings of ACM MOBICOM, 1997.
- [12] D. Towsley, J. Kurose and S. Pingali, *A Comparison of Sender-Initiated and Receiver-Initiated Reliable Multicast Protocols*. In IEE JASC, April 1997.