
OFDM 기반 무선 네트워크의 전송률 제어 기법

김성원*

Rate Control for OFDM-based Wireless Networks

Sung Won Kim*

요 약

OFDM 기반 무선 네트워크 시스템에서 서브캐리어(subcarrier) 단위로 전송률을 제어하는 기법을 제안한다. 제안된 프로토콜은 IEEE 802.11 표준에 정의된 CTS 프레임에 하나의 OFDM 심벌을 추가하여 구현된다. 수신기는 RTS 프레임을 수신한 후 해당 서브캐리어에 적절한 전송률을 결정하고, 이 결과를 CTS에 추가된 OFDM 심벌을 통하여 전달한다. 송신기와 수신기 사이의 전송률을 일치시키기 위한 에러 복구 방법도 제안한다. 제안된 기법을 통하여 무선 네트워크 시스템의 성능 향상이 이루어짐을 보인다.

ABSTRACT

A protocol is proposed to control the rate of each subcarrier in OFDM-based wireless network systems. The proposed protocol adds an OFDM symbol in CTS frame defined in IEEE 802.11 standard. A receiver determines the rate of its subcarrier after it receives the RTS frame. The determined rate is added to OFDM symbol in CTS frame. In order to synchronize the rate information between the sender and the receiver, error recovery process is proposed. The performance improvement of the proposed method is shown by numerical results.

키워드

전송률 제어, 매체접속제어, IEEE 802.11, OFDM, 무선 네트워크

I. 서론

IEEE 802.11a 표준[1]-[3]을 따르는 OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) 기반의 무선 네트워크 시스템들은 모든 서브캐리어(subcarrier)에 대하여 동일한 전송률과 전력을 사용한다. 그러나 각 서브캐리어는 무선 채널을 거치면서 주파수 선택적인 페이딩(frequency selective fading) 환경을 통과하게 되므로, 각 서브캐리어에 적합한 전송률을 할당해 줌으로써 더욱 효율적인 대역폭 사용이 가능하게 된다. 각 서브캐리어에 서로 다른 전송률을 할당하는 것은 유선 네트워크 시

스템에서는 많이 사용되어지고 있다. 하지만 무선 네트워크 시스템에서는 채널 환경이 급격히 변화하므로, 전송률 제어를 구현하기 위해서는 과도한 오버헤드가 필요하게 된다. 과도한 오버헤드는 시스템 성능을 저하시키게 된다.

셀룰러 통신과 같은 중앙집중형 네트워크에서는 모든 단말기가 기지국과 주기적으로 통신을 하기 때문에, 이러한 오버헤드 문제가 치명적이지 않다. 또한 단말기와 기지국과의 통신 채널만 파악하면 되므로, 오버헤드의 양도 크지 않다. 그러나 에드혹(ad-hoc)과 같은 분산형 네트워크에서는 모든 단말기는 서로간의 채널 환경

을 모두 파악해야 하므로, 많은 양의 오버헤드가 필요하게 된다. 또한 오버헤드 전송이 기지국에 의해 제어되지 않으므로 충돌이 자주 발생하게 된다. 또한 서브캐리어의 수가 증가하면 오버헤드 양도 같이 증가하게 된다. 그러므로 무선 에드혹 네트워크에서 서브캐리어 단위의 전송률 제어를 하기 위해서는, 오버헤드를 최소화시키는 기법이 필요하다.

이 분야의 관련 연구들[4]-[6]은 채널정보를 수신기에서 송신기로 어떻게 피드백(feedback)할 것인지의 문제를 해결하지 못하고 있다. 기존 연구들은 채널정보를 미리 알고 있다는 가정 하에서 전송률을 할당하는 기법들을 제안하고 있다. [7]에서 제안된 기법은 미리 설정된 전송률 이상으로 보낼 수 있는 서브캐리어만을 선택하여 전송한다. 이 방법은 모든 서브캐리어를 사용하지 않으므로 효율이 낮은 문제가 있다. 또한 선택된 서브캐리어 중에서 설정된 전송률을 사용하기에는 채널 상태가 좋지 않은 경우도 발생할 수 있다.

본 논문에서는 무선 네트워크에서 최소의 오버헤드를 사용하여 모든 서브캐리어의 전송률을 제어할 수 있는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 하나의 OFDM 심벌만을 추가하여, 시스템 성능을 향상시킨다.

II. 제안된 기법

제안된 기법은 IEEE 802.11 [8]에 정의된 RTS/CTS/DATA/ACK 전송순서에 기반을 둔다. 모든 단말기는 상대 단말기와 통신(전송하거나 수신)할 때 사용한 전송률을 기억하고 있다. 먼저 송신기는 RTS를 송신한다. 수신기는 RTS를 수신한 후, 각 서브캐리어의 채널 상태를 파악하고 적절한 전송률을 결정한다. 결정된 전송률을 CTS를 통하여 송신기로 알려준다. 송신기는 CTS를 통하여 새롭게 결정된 전송률을 알게 된다.

이러한 서브캐리어 채널 피드백 정보를 담기 위하여, CTS 프레임에는 하나의 OFDM 심벌이 추가된다. OFDM 심벌에는 48개의 데이터 서브캐리어와 4개의 패리티(parity) 서브캐리어가 있다. 패리티 서브캐리어 하나가 12개의 데이터 서브캐리어를 담당한다. 각 데이터 서브캐리어는 BPSK 심벌값 1이나 -1로 설정된다. DATA 프레임 PLCP 헤더의 reserved 서브필드(subfield)를 전송률에 대한 확인용으로 사용한다. 즉, CTS 프레임을

으로 전송된 전송률을 사용하는 경우 송신기는 reserved 서브필드에 1을 전송한다. 그렇지 않은 경우에는 0을 전송한다. 이렇게 함으로써, 수신기가 CTS로 보낸 전송률을 사용할 것인지 여부를, 송신기가 DATA 프레임의 reserved 서브필드로 확인해 주게 된다.

각 서브캐리어의 전송률을 변화시키는 자세한 과정은 다음과 같다. 먼저 수신기는 RTS 프레임을 통하여 서브캐리어의 신호 대 잡음비(SNR)를 측정한다. 측정된 신호 대 잡음비에 적절한 전송률을 결정한다. 전송률의 결정은 미리 정의된 문턱값(threshold)에 의해서 결정된다 [1]-[3]. 결정된 전송률을 직전에 사용된 전송률과 비교한다. 결정된 전송률이 직전 전송률보다 높은 경우, OFDM 심벌에 1을 보낸다. 반대로, 결정된 전송률이 직전 전송률보다 낮은 경우에는 -1을 보낸다. 결정된 전송률과 직전 전송률이 같은 경우에는 직전에 보냈던 값과 다른 값을 보낸다. 이렇게 생성된 OFDM 심벌 값이 두 번 연속해서 1인 경우 송신기와 수신기는 전송률을 한 단계 높인다. 반대로 두 번 연속해서 -1인 경우에는 전송률을 한 단계 낮춘다. 연속된 두개의 OFDM 심벌 값이 다른 경우(1 과 -1)에는 현재의 전송률을 유지하게 된다.

CTS 프레임에는 각 서브캐리어의 전송률 제어 정보를 가진 OFDM 심벌이 포함된다. 송신기는 CTS 프레임을 수신한 후 전송률을 결정하게 된다. 새로운 전송률로 데이터 프레임을 전송한 후

ACK 프레임을 받지 못하는 경우에는, 전에 사용하여 성공하였던 전송률로 재전송하게 된다. 만약 데이터 프레임을 수신하지 못하거나, CTS 프레임 전송이 실패한 경우에도, 전에 사용하여 성공하였던 전송률로 바꾸게 된다. 이렇게 함으로써, 통신에러가 발생한 경우에도 송신기와 수신기 사이의 전송률을 동기화시킬 수 있다.

III. 성능 평가

하나의 AP (Access Point)와 N개의 단말기가 있는 무선랜(WLAN) 시스템에서 제안된 프로토콜을 시뮬레이션 한다. 물리계층은 IEEE 802.11a 표준을 사용한다[9]. 물리계층에서 사용되는 변조방식은 표 1과 같다.

채널은 Ricean 페이딩 모델을 사용한다. 모든 단말기는 지름 100 미터 원안에 랜덤하게 분포하고 있으며, 1 m/sec의 속도로 랜덤한 방향으로 움직인다. AP는 원의

중심에 위치하고 있으며 움직이지 않는다. 각 단말기에서 발생하는 트래픽 부하는 포화되어 있으며, 데이터 프레임 길이는 1024 바이트이다.

제안된 방법은 [7]에서 제안된 방법과 [2][3], [10]-[11]에서 제안된 방법과 비교한다. [7]에서 제안된 기법은 미리 설정된 전송률 이상으로 보낼 수 있는 서브캐리어만을 선택하여 전송하는 것으로 본 논문에서는 "Ordered"라고 부른다. [2][3], [10]-[11]에서 제안된 방법은 채널 상태에 맞도록 변경하되, 모든 서브캐리어에 같은 전송률을 사용하는 것으로, 본 논문에서는 "All" 이라고 부른다. "All" 기법에서는 전체 서브캐리어 중에서 가장 나쁜 채널환경을 가진 서브캐리어에 맞는 전송률을 사용하게 된다. 모든 기법은 IEEE 802.11에서 정의된 RTS/CTS/DATA/ACK 순서에 의한 프레임 전송을 따른다. Ordered와 All에서는 오버헤드 크기에 대한 언급이 없으므로, 모두 같은 환경인 한 개의 OFDM 심벌만큼의 오버헤드가 있는 것으로 가정한다.

표 1. IEEE 802.11a 물리계층 변조방식
Table 1. Modulation of IEEE 802.11a

mode	modulation	code rate	data rate (Mbps)	minimum sensitivity (dBm)
1	BPSK	1/2	6	-82
2	BPSK	3/4	9	-81
3	QPSK	1/2	12	-79
4	QPSK	3/4	18	-77
5	16-QAM	1/2	24	-74
6	16-QAM	3/4	36	-70
7	64-QAM	2/3	48	-66
8	64-QAM	3/4	54	-65

그림 1은 제안된 기법에서 시간이 흐름에 따라 동적으로 변하는 채널 상태, BPSK로 전해지는 피드백 정보, 전송률을 보여준다. 이 실험 결과는 하나의 서브캐리어만을 보여주며, 다른 모든 서브캐리어도 같은 과정을 거쳐서 전송률이 변화하게 된다. 수신 신호는 채널 페이딩에 의하여 동적으로 변하고 있다. 수신 신호 강도에 따라서 수신기는 앞 절에서 설명한 대로, 1 또는 -1의 값을 BPSK 신호로 변조하여 송신기로 피드백 한다. 피드백 되는 정보에 따라서 전송률도 동적으로 변하게 된다. 그림에서 전송률은 채널 상태에 따라서 변하는 것을 볼 수 있다. 하

지만, 전송률은 채널 상태를 항상 정확히 반영하지는 못하는데, 그 이유는 피드백 정보가 항상 전달되지는 않기 때문이다. 즉, 단말기는 프레임을 전송하기 위해서 다른 단말기와 채널을 경쟁하여야 하며, 이러한 경쟁으로 인하여 프레임 전송 지연시간이 발생하기 때문이다.

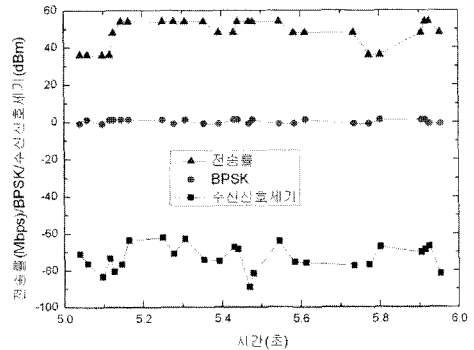


그림 1. 피드백 신호에 따른 동적 전송률 할당
Fig. 1. Dynamic rate allocation by feedback signal

그림 2는 제안된 방법과 두 가지 비교대상 방법들의 처리율(throughput)을 보여준다. 제안된 방법은 다른 두 방법과 비교할 때, 향상된 처리율을 보인다. 제안된 방법은 모든 서브캐리어를 사용하므로, 일부의 서브캐리어만을 사용하는 Ordered에 비해서 향상된 성능을 보인다. 또한 제안된 방법은 각각의 서브캐리어가 채널환경에 맞는 전송률을 사용하므로, 모든 서브캐리어가 같은 전송률을 사용하는 All에 비해서도 향상된 성능을 보인다. Ordered에서는 미리 설정된 전송률을 54 Mbps로 했을 때, 8가지 모드 중에서 가장 좋은 성능을 보인다.

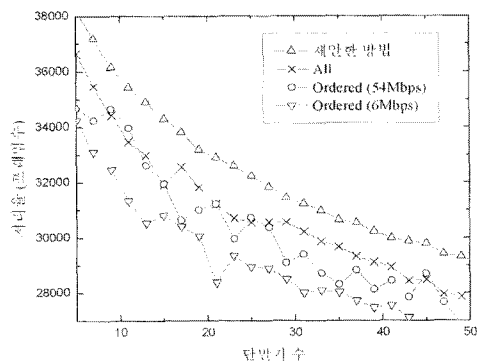


그림 2. 단말기 수에 따른 처리율
Fig. 2. Throughput versus number of nodes

그림 3은 단말기 수에 따른 전송지연시간을 보여준다. 그림 2에서와 마찬가지로 제안된 방법이 다른 두 방법보다 향상된 성능을 보인다. 이러한 성능향상이 이루어진 이유는, 제안된 방법에서 각 서브캐리어 단위로 최적의 전송률을 찾는 기법이 적용되었기 때문이다. 서브캐리어 단위로 전송률을 변경하는 기법들의 가장 큰 어려움인 과도한 오버헤드 문제가, 제안된 방법에서는 시스템 성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

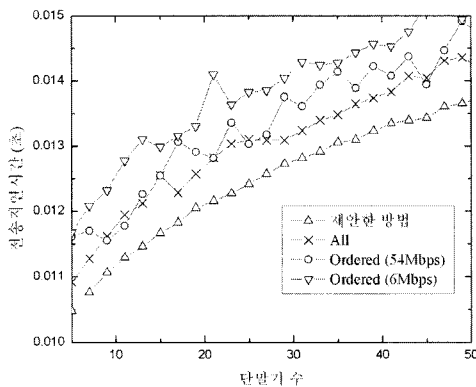


그림 3. 단말기 수에 따른 전송지연시간
Fig. 3. Transmission delay versus number of nodes

IV. 결론

본 논문에서는 OFDM 기반의 무선 네트워크 시스템에 사용할 수 있는 전송률 제어가 가능한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 방법에서는 서브캐리어 단위로 전송률을 제어하기 위하여 서브채널 정보를 최소의 오버헤드로 피드백 시킨다. 이처럼 오버헤드를 최소화하기 위하여 하나의 OFDM 심벌을 CTS 프레임에 추가하였다. 추가된 OFDM 심벌과 송신기와 수신기 간의 전송률 동기화를 통해서 각 서브캐리어 전송률을 채널 상태에 맞게 적응적으로 변화시킬 수 있다. 채널 에러가 있는 무선 통신환경에서 송신기와 수신기 간의 전송률 동기화를 위해서, 에러 복구 방법이 제안되었다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제안된 방법이 시스템 성능을 향상시킴을 보였다. 이러한 시스템 성능 향상은 각 서브캐리어 단위로 최적의 전송률을 사용함으로써 이루어진다. CTS 프레임에 하나의 OFDM 심벌을 추가하였지만, 이러한 추가 오버헤드는 전체 프레임 크기와 비교하였을

때, 아주 작은 것으로 시스템 성능에 미치는 영향이 매우 적다. 그러므로 제안된 방법에서는 오버헤드로 인한 성능저하보다는 서브캐리어 단위의 전송률 제어로 인한 성능 향상이 더 크다.

참고문헌

- [1] P. Chevillat, J. Jelitto, A. N. Barreto, and H. L. Truong, "A dynamic link adaptation algorithm for IEEE 802.11a wireless LANs," Proc. ICC'03, vol. 2, pp. 1141-1145, May 2003.
- [2] D. Qiao, and S. Choi, "Goodput enhancement of IEEE 802.11a wireless LAN via link adaptation," Proc. IEEE ICC'01, vol.7, pp. 1995-2000, June 2001.
- [3] D. Qiao, S. Choi, and K. G. Shin, "Goodput analysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 1, pp. 278-291, December 2002.
- [4] R. Grunheid, E. Bolinthe and H. Rohling, "A blockwise loading algorithm for the adaptive modulation technique in OFDM systems," IEEE VTC 2001 FALL, Vol. 2, pp.948-951, Oct. 2001.
- [5] A. G. Armada, "A simple multiuser bit loading algorithm for a multicarrier WLAN," IEEE ICC 2001, Vol. 4, pp. 1168-1171, June 2001.
- [6] A. G. Armada, "SNR Gap Approximation for M-PSK-Based Bit Loading," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 5, No. 1, pp. 57-60, January 2006
- [7] D. dardari, "Ordered subcarrier selection algorithm for OFDM-based high-speed WLANs," IEEE Trans. Wireless Communi. vol. 3, no. 5, September 2004.
- [8] IEEE 802.11 WG, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specifications, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999.
- [9] IEEE 802.11 WG, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, ANSI/IEEE Std 802.11a/b, 1999, Supplement to ANSI/IEEE 802.11 Std 802.11, 1999 Edition.

- [10] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC Protocol for wireless networks," Proc. ACM MOBICOM'01, pp. 236-251, July 2001.
- [11] B.-S. Kim, Y. Fang, T. F. Wong, and Y. Kwon, "Throughput Enhancement through Dynamic Fragmentation with Rate-Adaptation in Wireless LANs," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, no. 4, July 2005.

저자소개



김성원 (Sung Won Kim)

1990년 서울대학교 제어계측공학과
공학사

1992년 서울대학교 제어계측공학과
공학석사

2002년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사

2005년 ~ 현재 영남대학교 전자정보공학부 조교수

※ 관심분야: 무선 네트워크, 모바일 네트워크, 임베디드 시스템