

논문 2009-46TC-5-7

무선 데이터 망에서 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능 분석

(Performance Analysis of the IEEE 802.11 Broadcast Scheme in a
Wireless Data Network)

박재성*, 임유진*, 안상현**

(Jaesung Park, Yujin Lim, and Sanghyun Ahn)

요약

IEEE 802.11 표준은 무선랜, 애드 호크 망 및 차량간 통신 망 등 무선 데이터 망에 광범위하게 이용되고 있다. 이에 따라 망 성능 최적화 및 효과적인 망 자원 관리 기법의 개발을 위해 IEEE 802.11의 성능 분석이 광범위하게 이루어져 왔으나 대부분의 성능 분석 연구들은 데이터 평면에서 유니캐스트 전송 기법의 성능에 관한 것들이었다. 그러나 무선 데이터 망에서는 망 형상 관리, 노드 사이의 경로 관리 및 데이터 전송 방법으로 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법을 이용하고 있다. 따라서 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능에 대한 정확한 이해는 무선 데이터 망 설계를 위해 매우 중요하다. 이에 따라 본 논문에서는 노드의 전송 범위, 데이터 전송율, 최소 경합 윈도우의 크기와 같은 IEEE 802.11 시스템 파라미터 뿐만 아니라 노드의 수, 망의 부하, 전파 전송 환경과 같은 망 운용 환경을 모두 고려하여 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능을 송신 노드와의 거리에 따른 브로드캐스트 프레임 수신 확률 측면에서 분석한다. 제안된 분석 프레임은 망 환경과 관련된 모든 파라미터들을 고려하기 때문에 동적인 무선 데이터 망 환경을 위한 적용성 있는 제어 기법 개발에 이용될 것으로 기대된다.

Abstract

The IEEE 802.11 standard has been used for wireless data networks such as wireless LAN, ad-hoc network, and vehicular ad-hoc network. Thus, the performance analysis of the IEEE 802.11 specification has been one of the hottest issues for network optimization and resource management. Most of the analysis studies were performed in a data plane of the IEEE 802.11 unicast. However, IEEE 802.11 broadcast is widely used for topology management, path management, and data dissemination. Thus, it is important to understand the performance of the broadcast scheme for the design of efficient wireless data network. In this context, we analyze the IEEE 802.11 broadcast scheme in terms of the broadcast frame reception probability according to the distance from a sending node. Unlike the other works, our analysis framework includes not only the system parameters of the IEEE 802.11 specification such as transmission range, data rate, minimum contention window but also the networking environments such as the number of nodes, network load, and the radio propagation environments. Therefore, our analysis framework is expected to be used for the development of protocols and algorithms in a dynamic wireless data network.

Keywords: IEEE 802.11, broadcast, performance analysis, frame reception probability.

I. 서론

IEEE 802.11 WG (working group)은 무선 데이터 통신 망의 구성을 위해 다양한 표준 문서를 제정하고 있다. IEEE 802.11 MAC은 CSMA/CA (Carrier Sense

* 정회원, 수원대학교
(University of Suwon)

* 정회원, 서울시립대학교
(University of Seoul)

※ 본 연구는 2008년 산학협동재단 학술연구비 지원 사업의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2009년2월9일, 수정완료일: 2009년4월15일

Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 동작하여 무선 노드 사이의 통신 링크를 제공하므로 802.11 MAC은 무선 데이터 망의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소가 된다. 이에 따라 무선 데이터 망의 효율적 설치, 운영 및 효과적인 제어 기법의 개발을 위해 IEEE 802.11 표준에 대한 성능 평가는 광범위하게 이루어져 왔다. 이들은 대부분 802.11 MAC을 서버로 모델링한 후 큐잉 모델에 근거하여 유니캐스트 기법의 서비스 시간 분포를 분석하였다^[1~3]. Bianchi는 마르코프 체인 (Markov Chain)을 이용하여 노드가 포화된 (saturated) 경우 충돌 확률을 계산하였다^[1]. 포화된 MAC의 경우 시스템은 안정적으로 동작하지 못하므로 Malone은 유니캐스트 망에서 포화되지 않은 MAC 큐에 대한 충돌 확률을 분석하였다^[4]. Zheng과 Tickoo는 서비스 시간에 대한 확률 발생 분포를 유도하였다^[2~3]. 그러나 확률 발생 분포는 수치적으로만 확률 밀도 함수로 변환되기 때문에 실제 통계적 자원 할당 등에 이용될 수 없다.

무선 데이터 망에서 노드와 노드 사이의 데이터 전송은 주로 유니캐스트를 통해 이루어진다. 그러나 MANET에서 망 형상 정보 획득^[5, 15], 노드 사이의 경로 관리^[6~7, 16], 센서 망에서 싱크가 센서 노드에게 질의 (Query)^[8] 하는 방법과 같이 무선 데이터 망에서 망 운용 및 제어를 위한 메시지는 대부분 브로드캐스트 된다. 또한 최근 들어 차량간 통신에서는 도로 안전 서비스를 위해 데이터 프레임을 브로드캐스트해야^[9] 하므로 무선 데이터 망에서 브로드캐스트 기법의 성능 분석에 관한 관심이 고조되고 있다. 이에 따라 최근들어 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능 분석에 관한 연구들이 이루어지고 있다. Choi는 통신 채널을 2-상태 마르코프 체인으로 모델링하여 브로드캐스트 전송과 관련된 처리율을 분석했다^[10]. Ma는 이상적인 채널에서 망 내 노드 수에 따른 브로드캐스트 기법의 처리율, 패킷 전달 지연, 패킷 전달 비율을 분석하였다^[11~12]. 이들은 무선 전파 환경이 패킷 수신율에 미치는 영향을 배제하고 MAC 계층에서 브로드캐스트 기법의 성능을 분석하였다. 또한 이들 연구에서는 브로드캐스트 기법의 성능을 처리율과 전달 지연 측면에서 분석하고 있다. 그러나 IEEE 802.11 브로드캐스트 프레임은 유니캐스트 프레임과 달리 전송 신뢰성 확보를 위한 재전송이 없으므로 송신된 브로드캐스트 프레임의 수신 확률에 대한 이해가 필요하다. 특히, 송신 프레임의 전력은 송신 노드와

의 거리에 비례하여 감소하고, 송신 노드의 히든 노드의 수는 송신 노드로부터 멀어질수록 증가하므로 송신 노드와의 거리에 따른 프레임 수신 확률에 대한 이해는 무선 데이터 망에서 효과적인 자원 관리 기법 개발을 위해 선행되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 송신 노드와의 거리에 따른 프레임 수신 확률 측면에서 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능을 분석한다. 프레임 수신 확률은 매체를 경험하는 노드의 전송 범위, 최대 데이터 전송율, 최소 경합 윈도우, 타임 슬롯의 크기 등과 같은 IEEE 802.11 표준의 시스템 파라미터뿐만 아니라 노드의 수, 망의 부하, 전파 전송 환경과 같은 망 환경에 의해 영향을 받는다. 기존의 연구들이 IEEE 802.11 시스템 파라미터의 일부와 망 운용 환경의 일부만을 고려하여 성능 분석을 한 것에 비해 본 논문에서 제안하는 분석 기법은 이들 모두를 고려한 노드의 프레임 수신 확률을 제시한다. 특히, 본 논문에서 제안하는 분석 기법은 노드의 프레임 수신 확률을 송신 노드와의 거리에 따라 확률적으로 분석함으로써 거리에 따른 딜레이 노드 선정이나 송신 전력 제어와 같은 무선 자원 할당 기법에 직접 이용될 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법을 유니캐스트 기법과 비교하여 설명한다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 분석 기법을 설명하고 이에 따른 노드의 브로드캐스트 프레임 수신 확률을 제시한다. IV장에서는 정량적 성능 평가를 수행하여 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능에 주된 영향을 미치는 요소를 찾아내고 이를 통해 향후 무선 데이터 망에서의 연구 방향을 제시한 후 V장에서 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.11 브로드캐스트

IEEE 802.11 표준을 따르는 송신 노드는 다음의 절차를 따라 프레임을 브로드캐스트한다. 상위 계층에서 프레임 전송을 요청받은 송신 노드는 0과 경합 윈도우 (contention window: CW) 사이에서 균등 (uniform)하게 값을 임의로 선택하여 초기 백오프 (backoff) 타이머를 설정한후 채널 상태에 따라 백오프 타이머가 만료될 때 프레임을 브로드캐스트 한다. 백오프 타이머의 감소 여부는 채널의 사용 여부에 의해 결정된다. 송신 노드는 매 타임 슬롯 (slot) 마다 채널의 사용 여부를 감시

하며 만일 채널이 사용되고 있지 않으면 설정된 백오프 타이머를 하나씩 감소시킨다. 그러나 채널이 사용 중이면 채널이 다시 사용되지 않을 때까지 백오프 타이머를 중지시킨다 (freeze). 즉, 채널이 사용되는 동안에 송신 노드의 백오프 타이머는 멈추어지며 채널이 DIFS (DCF Inter-Frame Space) 시간 동안 사용되지 않으면 송신 노드는 다시 타임 슬롯 시작마다 채널 사용여부를 판단하여 채널이 사용되지 않으면 백오프 타이머를 매 슬롯 타임마다 하나씩 감소시킨다. 유니캐스트의 경우 프레임의 전송 실패가 감지되면 CW는 2의 지수 형태로 증가하여 MAC 계층에서의 충돌을 방지하려 하지만 브로드캐스트의 경우 프레임의 전송 성공 여부를 판단하지 않으므로 CW는 일반적으로 표준에서 정의한 최소 CW (CW_{min})으로 고정된다.

이와 같은 IEEE 802.11 브로드캐스트는 유니캐스트 전송에 비해 다음과 같은 특성을 가진다. 첫 번째로 데이터 프레임 전송 전에 매체 예약을 위한 제어 프레임 교환이 선행되지 않는다. 무선 매체는 브로드캐스트 특성이 있으므로 송신 노드의 전송 범위 내에 없는 노드가 송신 노드의 전송 범위 내에 있는 노드의 프레임 수신을 방해할 수 있다. 이와 같은 히든 노드 문제를 해결하기 위해 유니캐스트의 경우 데이터 프레임 전송 전에 송신 노드는 RTS (Ready-To-Send) 프레임을 전송하고 수신 노드는 이에 대한 CTS (Clear-To-Send) 프레임을 전송한다. 그러나 브로드캐스트는 1:n 전송 특성상 이와 같은 제어 프레임 전송이 선행되지 않으므로 매체 경쟁에 의한 충돌 발생 가능성이 유니캐스트에 비해 높다. 두 번째로 브로드캐스트는 전송 신뢰성을 보장하지 않는다. 즉, 노드가 브로드캐스트 프레임을 수신하면 유니캐스트인 경우와는 달리 이에 대한 수신 확인 응답 (Acknowledgement)을 전송하지 않으며 송신 노드도 전송 프레임에 대한 타이머를 관리하지 않으므로 타임아웃에 의한 프레임 재전송을 하지 않는다.

이와 같은 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능 분석을 위해 본 논문에서는 Choi^[10]와 Ma^[12]의 연구에서와 같이 망 내 노드의 분포는 밀도 ρ 인 2차원 포아손 분포를 따른다고 가정한다. 즉, 넓이가 X 인 영역에 i 개의 노드가 존재할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P(i, X) = \frac{(\rho X)^i e^{-\rho X}}{i!} \quad (1)$$

III. 성능 분석

본 장에서는 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법의 성능을 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리에 따른 프레임 수신 확률 측면에서 분석한다. 노드의 성공적인 프레임 수신 여부는 MAC 계층에서의 매체 경쟁에 의한 충돌 여부와 전파 전송 환경에 따른 랜덤 (random) 오류로 인한 물리 계층에서의 수신 전력의 변화에 의해 결정된다. 이 두 가지 요소는 상호 독립적이기 때문에 본 논문에서는 이 두 가지 요소에 의한 프레임 수신 확률을 독립적으로 분석한다.

1. MAC 계층에서의 프레임 수신 확률

본 절에서는 이상적인 채널 환경에서 (즉, 전파 전송 환경에 의한 오류가 발생하지 않는 경우) MAC 계층에서의 충돌로 인한 프레임의 성공적인 수신 여부를 송신 노드와의 거리에 따라 분석한다. 송신 노드가 브로드캐스트한 프레임이 충돌 되는 경우는 동기적인 경우와 비동기적인 경우로 구분된다. 동기적인 충돌의 경우는 송신 노드의 전송 범위 내에 존재하는 노드들이 송신 노드가 브로드캐스트 할 때 동시에 프레임을 전송하는 경우이고 비동기적인 충돌의 경우는 송신 노드가 프레임을 브로드캐스트하는 동안 히든 노드가 프레임을 전송하는 경우이다.

송신 노드의 이웃 노드의 수가 n 이고, 각 노드가 매 타임슬롯 시작 시점에 프레임을 전송할 확률을 p_t^* , 송신 노드의 전송 반경 R 인 원 내의 평균 노드의 수를 N 이라고 하면, 동기적 충돌이 발생하지 않을 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p_s = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_t)^n \frac{(\rho \pi R^2)^n}{n!} e^{-\rho \pi R^2} = e^{-\rho \pi R^2 p_t} = e^{-N p_t} \quad (2)$$

현재 채널을 사용하는 프레임의 전송 완료 시간은 프

* p_t 는 매 타임 슬롯마다 노드의 프레임 전송 확률이므로 각 노드의 데이터 발생 분포에 의해 결정된다. 데이터 발생 분포가 주어진 경우에는 M/G/1 큐잉 모델을 이용하여 p_t 를 모델링 할 수 있다^[12]. 그러나 본 논문에서는 브로드캐스트 프레임 전송 대기 시간과 수신 확률에 초점을 맞추고 있으므로 분석의 편의를 위해 노드의 프레임 전송율을 p_t 로 모델링하며 성능평가 부분에서 프레임 발생율과 p_t 와의 관계를 정량적으로 설명한다.

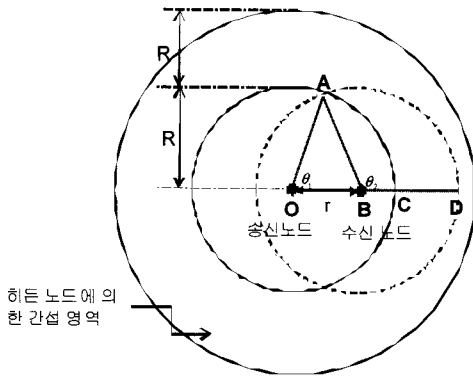


그림 1. 송신 노드의 거리에 따른 히든 노드에 의한 간섭 영역
 Fig. 1. The interference region by hidden nodes according to the distance from a sending node.

레이프 크기와 전송율에 의해 결정된다. 프레임 크기는 MAC 계층 헤더와 상위 계층에서 전송된 데이터의 합이 되며 어플리케이션과 수송 프로토콜의 동작 특성에 따라 가변적이다. IEEE 802.11의 전송율은 설정값과 자동 전송율 설정 기능의 활성화 등에 의해 가변일 수 있으나 본 논문에서는 분석의 편의를 위해 이들 값의 세밀한 변화는 고려하지 않고 평균 프레임 길이 (\bar{M})와 평균 전송율 (\bar{C})만을 고려한다. 즉, t_s 를 IEEE 802.11에서 정의한 타임 슬롯의 크기라고 하면 프레임 전송 시간은 $T_m = \lceil \bar{M}/\bar{C}/t_s \rceil$ 슬롯이 되므로 ($\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 작지 않은 최소 정수를 나타냄) 채널 오류가 없는 경우 비동기적 충돌이 발생하는 경우는 $2T_m$ 동안 히든 노드들 중 적어도 하나의 히든 노드가 프레임을 전송하는 경우가 된다.

그림 1에서와 같이 O에 위치한 송신 노드와의 거리가 r 인 수신 노드의 간섭 영역은 호 ACD로 둘러싸인 영역의 2배가 된다. 각 AOB를 θ_1 , 각 ABC를 θ_2 , 삼각형 OAB의 넓이를 A_1 , 호 OAC로 둘러싸인 영역의 넓이를 A_2 , 호 BAD로 둘러싸인 영역의 넓이를 A_3 이라고 하면 이들은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2}r\sqrt{R^2-r^2/4}, \\ A_2 &= \frac{\theta_1}{2\pi}\pi R^2 = \frac{\theta_1 R^2}{2}, \\ A_3 &= \frac{\theta_2}{2\pi}\pi R^2 = \frac{\theta_2 R^2}{2}. \end{aligned} \quad (3)$$

또한 $\cos(\theta_1) = r/(2R)$, $\cos(\pi - \theta_1) = -\cos(\theta_2)$

이므로 $\theta_1 = \arccos(r/2R)$, $\theta_2 = \arccos(-r/2R)$ 이 된다. 따라서 ACD로 둘러싸인 영역의 넓이(A_4)는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} A_4 &= A_3 - (A_2 - A_1) = \frac{R^2}{2}\arccos\left(-\frac{r}{2R}\right) \\ &+ \frac{r}{2}\sqrt{R^2-r^2/4} - \frac{R^2}{2}\arccos\left(\frac{r}{2R}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

송신 노드와 거리 r 인 수신 노드의 간섭 영역 내 노드 수를 랜덤 변수 N_c 라고 하면 수신 노드가 비동기적 충돌 없이 송신 노드의 브로드캐스트 프레임을 수신하기 위해서는 $2T_m$ 시간 동안 $N_c = 0$ 이거나 $2A_4$ 내의 모든 노드가 $2T_m$ 동안 프레임을 전송하지 않아야 한다. 따라서 송신 노드와 거리 r 인 수신 노드가 비동기적 충돌없이 브로드캐스트 프레임을 수신할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p_a(r) &= \left(\Pr(N_c = 0) + \sum_{n=1}^{\infty} (1-p_t)^n \frac{(\rho A_4)^n}{n!} e^{-\rho A_4} \right)^{2T_m} \\ &= \left(e^{-\rho A_4} + e^{-\rho A_4} [e^{\rho A_4(1-p_t)} - 1] \right)^{2T_m} \\ &= e^{-2T_m \rho A_4 p_t}. \end{aligned} \quad (5)$$

송신 노드가 브로드캐스트한 프레임이 성공적으로 전송되기 위해서는 동기적 충돌과 비동기적 충돌이 모두 발생되지 않아야 하므로 이상적인 전파 전송 환경에서 송신 노드와 거리가 r 인 경우 노드가 브로드캐스트 프레임을 성공적으로 수신할 확률은 식 (2)와 식 (5)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$p_{mac}(r) = p_s p_a(r) = e^{-(N+2T_m \rho A_4) p_t}. \quad (6)$$

2. 물리 계층에서의 프레임 수신 확률

물리 계층에서 프레임 수신 오류 확률은 통신 채널의 특성에 의해 결정된다. 채널 특성은 큰 시간 규모에서의 경로 손실과 (path loss) 작은 시간 규모에서의 페이딩으로 (fading) 표현된다^[13]. 경로 손실은 송수신기 사이의 거리에 따른 평균 수신 신호 강도를 예측하는데 사용되며 페이딩은 신호의 다중 경로 전송이나 통신 노드의 이동 등에 의해 매우 짧은 시간 동안 수신 신호의 빠른 변화를 나타낸다. 본 논문에서는 WINNER (Wireless World Initiative New Radio) 프로젝트에서 제안한 최신 채널 모델을 적용하여 물리 계층에서의 프

레이프 수신 확률을 분석한다. WINNER 모델은 2~6GHz 대역에 적용 가능하며 송수신기의 거리가 $d(m)$ 인 경우 수신측에서의 경로 손실을 다음과 같이 모델링 하고 있다^[14].

$$PL(d, f_c) = A \log_{10}(d) + B + C \log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right) + X. \quad (7)$$

여기서 f_c 는 GHz 단위의 시스템 주파수이고 파라미터 A는 전파 환경에 따라 결정되는 경로 손실 지수이며 B는 인터셉트 (intercept), C는 캐리어 주파수에 따른 경로 손실 지수를 나타내며 X는 전파 전송 환경에 따른 그림자 (shadow) 페이딩을 나타내는 랜덤 변수이다. 그림자 페이딩은 평균 0, 표준편차 σ_x 인 로그 정규 (log-normal) 분포를 따른다. WINNER 프로젝트에서는 7개의 전파 전송 환경을 설정하여 각 환경에 대한 파라미터 값들을 제시하고 있다. 이와 같은 WINNER 모델에 따라 송신 노드와의 거리가 r 인 수신 노드의 수신 신호 강도는 dB 단위로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{dB} = \alpha - PL(r, f_c). \quad (8)$$

여기서 α 는 자유 공간의 참조 (reference) 거리에서의 수신 전력으로 송신 전력, 송신 및 수신 안테나의 높이, 안테나 이득 등에 의해 결정되며, 참조 거리는 셀 크기에 따라 결정된다^[13]. 따라서 프레임을 오류 없이 수신하기 위한 수신 신호 강도의 임계값을 S_{th} 라고 표기하면 송신 노드와의 거리가 r 인 수신 노드가 채널 상의 신호 감쇄에도 프레임을 오류없이 수신할 확률은 $p_{ch}(r) = \Pr(S_{dB}(r) \geq S_{th})$ 이 된다. 즉,

$$\begin{aligned} p_{ch}(r) &= \Pr(X_\sigma \geq S_{th} + PL(r, f_c) - \alpha) \\ &= 1 - \int_{x=-\infty}^{-\alpha + S_{th} + PL(r, f_c)} \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-x^2/(2\sigma_x^2)} dx \quad (9) \\ &= 1 - \Phi(S_{th} + PL(r, f_c) - \alpha). \end{aligned}$$

여기서 $\Phi(x)$ 는 표준 정규분포의 누적 분포 함수를 나타낸다. 이제 식 (6)과 (9)에 의해 송신 노드와의 거리가 r 인 수신 노드가 성공적으로 브로드캐스트 프레임을 수신할 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$p(r) = p_{mac}(r)p_{ch}(r). \quad (10)$$

IV. 성능 평가

본 장에서는 제안한 분석 결과에 따라 노드의 전송 환경, 데이터 전송율, 최소 경합 윈도우 크기, 타임 슬롯의 크기와 같은 IEEE 802.11 시스템 파라미터와 망 내의 노드 밀도 및 전파 전송 환경과 같은 망 운용 환경이 수신 노드의 브로드캐스트 프레임 수신 확률에 미치는 영향을 정량적으로 평가한다. 각 환경별로 성능에 주된 영향을 미치는 파라미터를 식별하기 위해 노드의 전송 환경은 100m로 설정하였으며 실험에 사용된 IEEE 802.11 시스템 파라미터들은 표 1에 표기하였다. p_t 는 매 타임 슬롯 당 프레임 전송 확률이기 때문에 노드의 프레임 발생에 의해 영향을 받는다. 정량적인 성능 평가를 위해 본 실험에서는 p_t 를 IEEE 802.11 표준의 BDR (Basic Data Rate)의 $x\%$ 로 설정하였다. 즉, 망 내 부하가 낮은 경우, 보통인 경우, 높은 경우 성능 평가를 위해 $x=10\%$, 50% , 90% 로 각각 설정하였으며

표 1. IEEE 802.11 시스템 파라미터 및 p_t
Table 1. IEEE 802.11 system parameters and p_t

	802.11b	802.11a
t_s	20usec	9usec
BDR	2Mbps	6Mbps
CW_{min}	32 time slots	16 time slots
$p_t=10\%$	2.5×10^{-3}	3.38×10^{-3}
$p_t=50\%$	1.25×10^{-2}	1.69×10^{-2}
$p_t=90\%$	2.25×10^{-2}	3.04×10^{-2}

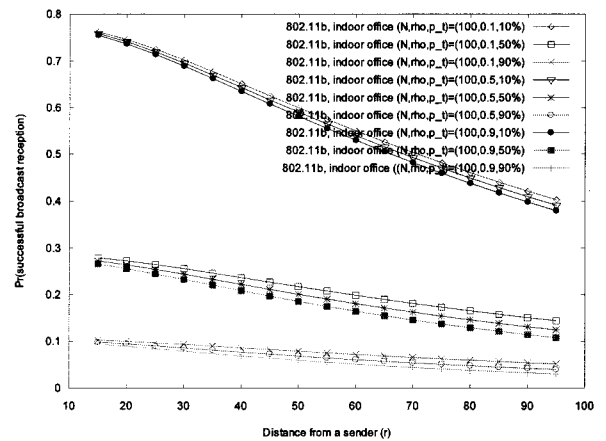


그림 2. 전파 전송 환경이 좋은 경우 송신 노드와의 거리에 따른 브로드캐스트 프레임 수신 확률

Fig. 2. Broadcast frame reception probability according to the distance from a sending node. (when radio propagation environment is good.)

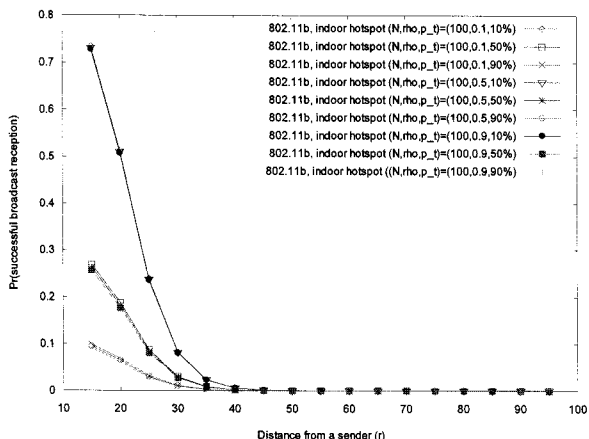


그림 3. 전파 전송 환경이 좋은 경우 송신 노드와의 거리에 따른 브로드캐스트 프레임 수신 확률

Fig. 3. Broadcast frame reception probability according to the distance from a sending node. (when radio propagation environment is bad.)

표 1 하단의 세 개의 열은 각 IEEE 802.11 표준별로 $x = 10\%, 50\%, 90\%$ 인 경우 p_t 값을 나타낸다.

그림 2와 그림 3은 IEEE 802.11b가 사용된 경우 송신 파워 100mW, 수신 신호 강도의 임계값이 -1.015dB 인 (자유 공간에서 송신 노드와 100m 떨어진 곳의 수신 전력) 경우 송신 노드와의 거리에 따른 프레임 수신 확률을 보여준다. 그림 2의 경우 WINNER 모델 파라미터에 따라 전파 전송 환경이 좋은 실내 사무실인 경우이며, $((A,B,C,\sigma_x)=(20,46.4,20,8))$, 그림 3은 같은 조건에서 전파 환경이 나쁜 실내 핫스팟 (hotspot)인 경우를 $((A,B,C,\sigma_x)=(37.8,36.5,23.4))$ 나타낸다. 전파 전송 환경이 좋은 경우보다 전파 전송 환경이 나쁜 경우 거리에 따른 프레임 수신율의 감소폭이 크다. 또한 거리가 송신 노드와 가까운 경우 다른 파라미터에 비해 p_t 에 의한 영향이 주도적이며 송신 노드와의 거리가 멀어질수록 거리가 프레임 수신 확률에 보다 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

MAC 계층과 물리 계층에서의 프레임 수신 확률이 전체 프레임 수신 확률에 미치는 영향을 고찰하기 위해 그림 4와 그림 5에 각 계층별 패킷 수신 확률을 도시하였다. 그림 4에 보인 바와 같이 MAC 계층에서 브로드캐스트 프레임 수신 확률은 전송 범위 내의 평균 노드 수나 송신 노드와의 거리 보다는 노드의 프레임 발생율에 의해 주로 영향을 받는다. 같은 조건에서는 802.11a 보다는 802.11b의 성능이 우수한 이유 역시 p_t 를 BDR의 $x\%$ 로 설정하였기 때문이다. 즉, 표 1에 보

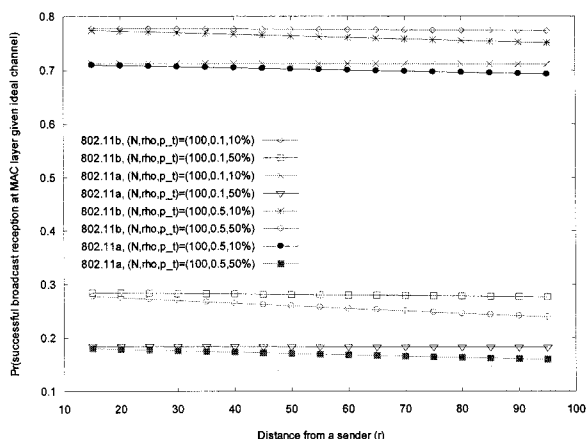


그림 4. MAC 계층에서 송신 노드와의 거리에 따른 브로드캐스트 프레임 수신 확률

Fig. 4. Broadcast frame reception probability at the MAC layer according to the distance from a sending node.

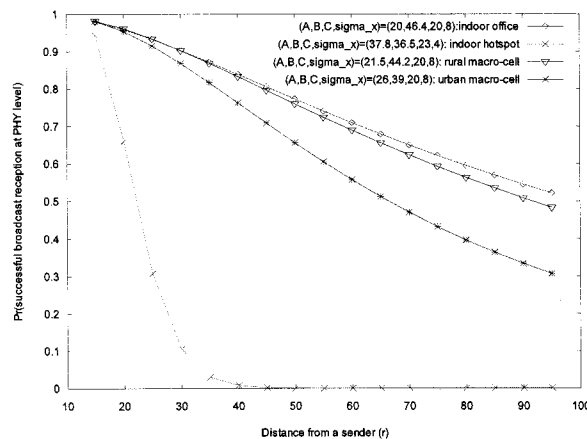


그림 5. 물리 계층에서 송신 노드와의 거리에 따른 브로드캐스트 프레임 수신 확률

Fig. 5. Broadcast frame reception probability at the physical layer according to the distance from a sending node.

인 바와 같이 802.11b의 BDR은 2Mbps로 802.11a의 6Mbps보다 3배 낮으며 이로 인해 동일 $x\%$ 에 대해 802.11a의 p_t 가 802.11b의 p_t 보다 크기 때문이다. 물리 계층에서는 그림 5에 보인 바와 같이 전파 전송 환경이 안 좋을수록 (즉, 경로 손실 지수 A 값이 클수록) 송신 노드와의 거리에 매우 민감하게 반응한다는 것을 알 수 있다. 이로 인해 그림 2와 그림 3에서와 같이 송신 노드와의 거리가 가까운 경우 p_t 에 의한 영향이 지배적이며 송신 노드와의 거리가 멀어질수록 송신 노드 사이의 거리가 브로드캐스트 프레임 수신 확률에 지배적인 영향을 미치게 된다.

기존 무선 데이터 망에서의 브로드캐스트 관련 연구들은 송신 노드의 전송 범위내의 모든 노드들이 브로드캐스트 프레임 수신할 수 있는 방법보다는 과도한 브로드캐스트 재전송을 방지하기 위한 릴레이 노드(Relay Node) 선정 기법이나 브로드캐스트 프레임을 빠르게 전달하기 위해 송신 노드에서 가장 멀리 떨어진 수신 노드를 릴레이 노드로 선택하는 방법에 초점을 맞추고 있다. 그러나 본 논문의 분석 결과 송신 노드의 전송 범위 내의 모든 노드가 브로드캐스트 프레임을 수신할 확률은 동일 전파 전송 환경에서 p_t 와 송신 노드와의 거리에 따라 감소한다. 즉, 송신 노드에서 가장 멀리 위치한 노드가 릴레이 노드로 선정되지 않을 수 있으며 송신 노드와 릴레이 노드 사이에 위치한 노드들이 브로드캐스트 프레임을 수신하지 못할 수도 있다. 따라서 전송된 프레임의 성공적인 수신 여부를 확인할 수 없는 IEEE 802.11 브로드캐스트 기법을 통해 송신 노드의 전송 범위 내의 모든 노드들이 브로드캐스트 프레임을 수신할 확률을 높이기 위해서는 노드의 프레임 송신율과 전파 전송 환경에 따라 경합 윈도우와 같은 시스템 파라미터들의 적응성 있는 설정 기법 및 브로드캐스트 프레임 수신 신뢰성 향상을 위한 릴레이 노드 선정 기법 등과 같은 기술의 개발이 필요하다.

또한 노드의 프레임 수신 확률은 송신 노드와의 거리가 가까운 경우 망의 부하(p_t)에 주로 영향을 받으며 거리가 먼 경우 전파 전송 환경의 경로 손실에 의한 영향을 주로 받는다. 따라서 주어진 망 환경에 따라 백오프 타이머의 크기를 제어하거나 송신 전력을 제어하는 등 서로 다른 시스템 파라미터의 조절을 통해 브로드캐스트 성능 향상을 위한 기법 개발이 필요하며 본 논문에서 제안한 분석 기법이 이와 같은 기술 개발에 직접적으로 이용될 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 논문에서는 송신 노드와의 거리에 대한 IEEE 802.11 브로드캐스트 프레임 수신 확률을 분석하였다. 본 논문에서 제안한 분석 기법은 MAC 계층에서의 프레임 충돌 확률과 전파 전송 환경에 의한 랜덤 오류에 따른 물리 계층에서의 프레임 수신 확률을 모두 고려한다. 무선 데이터 망에서 브로드캐스트는 망 형상 정보 획득, 센서 노드의 제어 및 노드간 경로 설정 및 관리와 같은 망 관리 및 제어나 차량간 안전 메시지 전달 등을

위해 사용된다. 그러나 무선 망 운용 환경은 시간과 공간에 따라 광범위하게 변화하므로 망 성능 향상을 위해 동적인 망 환경에 따라 적응성 있게 시스템 파라미터를 결정하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서 제안된 성능 분석 기법은 타임 슬롯의 크기, 데이터 전송율, 최소 경합 윈도우의 크기와 같은 IEEE 802.11 시스템 파라미터 뿐만 아니라 망 내 노드의 수, 망에 부과된 부하량 및 전파 전송 환경과 같은 망 운용 환경을 모두 고려하고 있기 때문에 무선 데이터 망을 위한 효과적인 제어 및 관리 기법 개발에 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE JSAC, vol. 18, no. 3, pp.535-547, March 2000.
- [2] H. Zheng, K. Lu, D. Wu, and Y. Fang, "Performance Analysis of IEEE 802.11 DCF in Binary Symmetric Channels," in Proc. of IEEE Conf. on GLOBECOM, pp. 3144-3148, Dec. 2005.
- [3] O. Tickoo, and B. Sikdar, "A Queuing Model for Finite Load IEEE 802.11 Random Access MAC," in Proc. of IEEE on ICC 2004, pp. 175-179, June 2004.
- [4] D. Malone, K. Duffy, and D. Leith, "Modeling the 802.11 Distributed Coordination Function in Nonsaturated Heterogeneous Conditions," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 15, no. 1, pp. 159-172, Feb. 2007.
- [5] 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, pp. 481-494, Sep. 2001.
- [6] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing," IETF RFC 3561, 2003.
- [7] C. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsv) for mobile computers," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 24, no. 4, pp. 234-244, Oct. 1994.
- [8] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", in Proc. ACM Conf. on MOBICOM, pp. 56-67, Aug. 2000.

[9] Q. Yu, and G. Heijenk, "Abiding Geocast for Warning Message Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks," in Proc. IEEE Conf. on ICC, pp. 400-404 May 2008.

[10] J. Choi, J. So, and Y.-B. Ko, "Numerical Analysis of IEEE 802.11 Broadcast Scheme in Multihop Wireless Ad Hoc Networks," ICOIN 2005, LNCS 3391, pp. 1-10, 2005.

[11] X. Chen, H. H. Refai, and X. Ma, "Saturation Performance of IEEE 802.11 Broadcast Scheme in Ad Hoc Wireless LANs," in Proc. of IEEE Conf. on VTC-2007, pp. 1897-1901, Sep. 2007.

[12] X. Ma, X. Chen, and H. H. Refai, "Unsaturation Performance of IEEE 802.11 Broadcast Service in Vehicle-to-Vehicle Networks," in Proc. of IEEE Conf. on VTC-2007, pp. 1957-1961, Sep. 2007.

[13] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice 2nd Ed.," Prentice Hall, 2002.

[14] P. Kyösti et. al., "WINNER II Channel Models: part I Channel Models," IST-4-027756 WINNER II D1.1.2 V1.2, Sep. 2007.

[15] 서성운, 정원수, 오영환, "센서 네트워크에서의 효율적 에너지 관리를 위한 지능형 클러스터링 기법," 대한전자공학회 논문지, vol. 44, no. 4, 대한전자공학회, pp. 40-48, 2007년 4월.

[16] 김용혁, 김영한, "MANET에서 집중적 RREQ의 효율적 전송을 위한 집적 방법," 대한전자공학회 논문지, vol. 45, no. 12, 대한전자공학회, pp. 66-73, 2008년 12월.

저 자 소 개



박재성(정회원)
1995년 연세대학교 전자공학과 학사
1997년 연세대학교 전자공학과 석사
2001년 연세대학교 전기전자공학과 박사

2001년~2002년 Univ. of Minnesota Post Doc.
2002년~2005년 LG전자 선임연구원
2005년~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수

<주관심분야 : 4세대 이동통신, VANET, 성능분석>



임유진(정회원)
1995년 숙명여자대학교 전산학과 학사
1997년 숙명여자대학교 전산학과 석사
2000년 숙명여자대학교 전산학과 박사

2000년 서울대학교 박사후연구원
2000년~2002년 UCLA 박사후연구원
2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원
2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

<주관심분야 : 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, VANET, 라우팅 프로토콜>



안상현(정회원)
1986년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
1989년 University of Minnesota 컴퓨터학과 박사

1988년 (주)데이콤연구원
1994년~1998년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사/조교수
1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 정교수

<주관심분야 : 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 홈 네트워크, 이동통신, 라우팅 프로토콜>