

분산 무선망에서 CSMA를 사용한 무선 통신시스템의 모델링 및 성능분석

正會員 趙 炳 錄* 正會員 崔 炯 辰* 正會員 朴 炳 哲*

Modeling and Evaluation of Wireless Communication System using CSMA in the Distributed Packet Radio Network

Byung Lok Cho*, Hyung Jin Choi*, Byung Chul Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 분산 무선망에서 CSMA 프로토콜을 사용한 무선통신 시스템을 모델링하고, 컴퓨터로 시뮬레이션을 수행하여 패킷의 도착율(arrival rate) 함수에 의한 평균 END-to-END 지연특성을 살펴보고, 또 모델링을 수학적으로도 해석하였다.

이 무선 통신시스템은 단방향 통신방식으로 비동기식 1-persistent CSMA 프로토콜을 사용하였으며, 또 모든 무선 통신시스템들이 근거리 영역에 적절하게 위치하고 있다고 가정하였고, 트래픽이 공용채널에 포아송 분포를 이루고 있다고 가정하였다. 이 모델의 해석에서는 무선 통신시스템이 breakdown 특성을 갖는 M/D/1 모델을 기본으로 하였다. 결과적으로 본 논문의 모델에 기초한 무선망은 패킷도착율이 2(packet/sec) 미만인 경우 평균지연시간이 패킷전송시간의 2배정도로 잘 동작됨을 확인할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose the modeling of a wireless communication system using CSMA protocol, present analytical evaluation and simulation as a function of arrival rate and mean END-to-END delay in the distributed packet radio network.

Asynchronous 1-persistent CSMA protocol is used in wireless communication system with half duplex. We assume that all terminals are to be in the close range of each other, suitably located in the local area.

The traffic presented to a common channel is assumed to be poisson distribution. Analytical model is based on a M/D/1 with breakdown.

In conclusion for wireless network model proposed in this paper is suitable for packet arrival rate of 2 packet/sec with mean packet delay time less than 2 times the packet transmission time.

*成均館大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Sung Kyun Kwan
University.
論文番號 : 93-152

I. 서 론

최근 무선통신에 대한 근거리 무선망의 구현에 관한 관심이 점차 고조되면서 무선 통신시스템의 성능 평가를 위한 모델링 및 알고리즘의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 평가를 사용하여 무선통신시스템에서 필요한 요구사항을 설계의 표준으로 정의하고 있다[1]-[5].

그런데 현재까지는 컴퓨터 네트워크를 대부분 케이블을 이용해서 구축하였으나, 무선통신을 이용하여 컴퓨터 네트워크를 구성함으로써 이동 사용자에게도 고정망에서 제공하고 있는 고품질의 서비스 제공이 가능하다. 특히 분산 되어있는 컴퓨터간에 무선 통신시스템을 사용함으로써 빠르고 유연성있게 망을 구현할 수 있음이 무선 망의 최대 장점이다[6].

다른 한편으로는 전파매체에 나쁜 특성이 건물내에서 다중경로에 의해 성능저하에 심각한 영향을 미치기 때문에 품질과 가용성의 문제를 해결해야 한다. 더구나 무선 스펙트럼의 최적 사용은 대역효율이 좋은 변조기법과 특정한 다중접속기법을 사용하여 많은 사용자가 채널을 공유할 수 있는 적절한 전략이 마련되어야 한다.

분산 무선 근거리 망에서 다중접속 문제를 해결하기 위해 여러가지 다중접속방식 중 분산제어가 가능하고, 방송 모드이면서 단일 고속채널을 이용하고, 트래픽 양이 적을때 지연특성이 ALOHA 방식보다 상대적으로 좋은 비동기식 1-persistent CSMA 방식을 사용한 무선 통신시스템의 성능을 분석하기 위해 무선 통신시스템을 모델링하여 망의 특성을 조사하는 것은 흥미로운 문제라고 생각되어진다.

여기서 근거리 지역에 위치한 많은 사용자가 한 무선주파수를 이용하는 경우를 고려해보자. 또한 모든 무선 통신시스템들이 무선 통신시스템간에 근거리 영역에 저절하게 위치하고 있다고 가정한다. 또한 트래픽이 공용채널에 포아송 분포로 도착한다고 가정한다. 해석적인 모델은 무선 통신시스템이 breakdown 특성을 갖는 M/D/1 모델을 기본으로 하고 있다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 망의 구성 및 무선 통신시스템의 모델링에 관해 기술하고, III장에서는 무선 통신시스템의 방정식을 유도하였다. 그리고 IV장에서는 무선 통신시스템 모델링한 결

과를 기본으로하여 OPNET simulator를 통해 수행한 결과를 분석 및 검토한 다음, V장에서 결론을 맺었다.

II. 망의 구성 및 무선 통신시스템의 모델링

다원접속채널을 사용한 무선 근거리 망에서 분산형의 망을 고려해 보자. 노드에서 정보 패킷을 방송 형태로 전송할 수 있는 노드들이 망내에 10개로 구성되어 있다. 노드들이 서로 근거리 범위내에 있다고 생각하는 망 구성은 쉽게 구현이 가능하고 보다 더 복잡한 구성도 모델을 일반화할 수 있는 가능성이 있다고 생각되어진다.

무선 통신시스템의 구성은 패킷발생기, 큐(queue), 프로세서, 변복조기, 안테나의 조합으로 모델링을 하였다. 모듈들은 정의한 파라미터에 따라 통신하드웨어의 기능을 폭넓게 에뮬레이션한다. 또한 프로세서 모듈은 프로세스 모듈 구성의 알고리즘에 따라 기능이 제공된다[7].

무선 통신시스템 하드웨어의 모델링은 그림1과 같다.

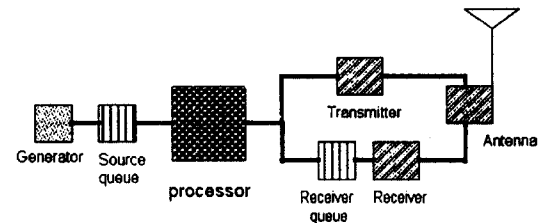


그림 1. 무선 통신시스템의 하드웨어 모델링
Fig 1. Modeling hardware of wireless communication system

2.1 무선 통신시스템의 하드웨어 모델링

패킷발생기 모듈에서는 일반적인 패킷의 발생을 관장하는데, 발생 패킷의 크기는 1024비트로 발생한다. 큐 모듈에서 패킷의 도착은 포아송 프로세스로 이루어지고, 서비스는 지수함수 서비스분포를 이루고 있다.

송신기는 패킷을 일 대 일로 방송 링크로 수신측에 보내는 기능을 담당한다. 송신기에 변조방식, 데이터 전송속도, 대역폭, 반송주파수, 송신출력 등의 파라미터를 정의하여 사용한다. 본 모델에서 송신기 파라미터는 표1과 같다.

표 1. 송신기 파라미터
Table 1. Parameter transmitter

파라미터	지정값
변조방식	BPSK
데이터 전송속도	19.2Kbps
대역폭	28.8KHz
반송파 주파수	914.5MHz
송신출력	5W

수신기는 일 대 일 혹은 방송 링크로 전송된 패킷을 받는 기능을 담당한다. 수신손실, 잡음형태를 고려하여 신호를 복조한 후 에러검출 임계값(threshold level)에 따라 에러가 발생하지 않은 패킷을 수신하고, 에러가 발생하는 경우는 패킷을 제거한다.

안테나는 방송 송수신부에 연결되어 공유하고 있다. 그러므로 패킷을 그림2와 같은 등방향성(isotropic)이득을 갖는 안테나를 통하여 914.5MHz에서 5W 출력으로 방사한다.

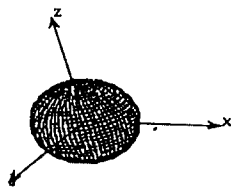


그림 2. 등방향성 안테나의 이득
Fig 2. Gain of isotropic antenna

링크 모델은 크게 일 대 일 혹은 방송링크로 모델하는데 여기서는 분산망인 경우를 고려하여 방송링크로 모델하였다. 방송 링크에서 지연은 거리의 함수로 동적으로 계산되고, BER은 수신부를 통과할때의 SNR에 의해 결정된다. 시간에 따라 SNR 변화는 식(1), 식(2), 식(3)과 같은 링크 budget 계산에 의해

산출된다[8].

$$P_r = P_{amp} * L_p * G_t(\theta_t, \pi_t) * G_r(\theta_r, \pi_r) \quad (1)$$

여기서 P_{amp} : 수신 앰프의 power
 L_p : 경로손실
 $G_t(\theta_t, \pi_t), G_r(\theta_r, \pi_r)$: 송수신 안테나 이득

$$P_{eq} = K * T_{eq} * B \quad (2)$$

여기서 K: Boltzmann's constant
 T_{eq} : 온도
B: 대역폭

$$SNR = \frac{P_r}{(P_{eq} + \sum_0^i P_{interference})} \quad (3)$$

여기서 P_r : 수신단에서 수신 전력
 P_{eq} : 등가 잡음전력

2.2 무선 통신시스템의 소프트웨어 모델링

무선 통신시스템의 소프트웨어 모델링 부분은 크게 FIFO 큐 모듈과 프로세스 모듈로 대별된다.

FIFO 큐의 모듈에서의 상태전이를 FSM(Finite State Machine)으로 나타내면 그림3과 같다. 큐는 항상 대기 상태인 branch 상태에 있다가 새로운 패킷이 큐에 도착하면 ins_tail 상태로 전이가 이루어져 패킷을 subqueue에 집어넣고 branch 상태로 귀환한다. 또한 branch 상태에 있다가 프로세스가 큐를 호출하면 send_head 상태로 전이가 이루어져 subqueue에 있는 패킷은 서비스를 받아 프로세스에 도착한 후 branch 상태로 귀환한다.

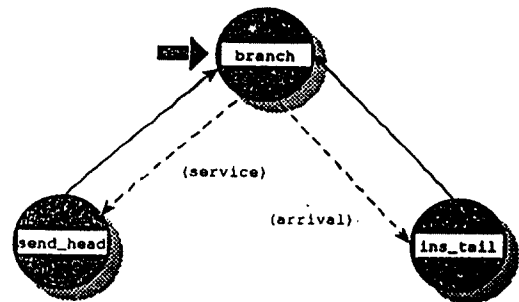


그림 3. FIFO 상태전이도
Fig 3. State transition diagram of FIFO

프로세스의 모듈에서 상태전이를 FSM으로 나타내며 그림4와 같다[9]. 이 처리 모델에서 실선은 임의의 상태 수행이 끝나면 바로 다음 상태로 이동함을 뜻하며 점선은 조건의 만족시 다음의 상태로 이동함을 뜻한다. 초기화 상태를 지나서 패킷의 도착을 기다리는 상태에서 패킷이 도착하면 패킷형태에 따라 상태전이가 발생한다.

프로세스는 초기는 무조건 initial상태에서 idle상태로 전이한다. idle 상태는 source 큐에서 패킷이 도착하면 s_arvl상태로 전이가 일어나고, receiver 큐에서 패킷이 도착하면 r_arvl상태로 전이가 일어나고 s_arvl상태, r_arvl상태로 아니면 자신의 상태인 idle상태로 머물게 된다.

s_arvl상태로 전이가 이루어지면 프로세스는 큐에서 패킷을 가져와 패킷에 타입, 근원지 주소, 목적지 주소, 순서 번호, 데이터의 포맷에 맞게 패킷을 가공한다. 목적지 주소는 자신을 제외한 주소를 임의로 발생한다. 프로세서는 채널 상태를 판단한 후 채널이 사용중이 아니면 pak_trans상태로 전이가 일어나고, 채널이 busy상태이면 상태전이는 exam_idle상태로 되어 프로세스가 계속적으로 채널을 감지하여 사용중이 아니면 pak_trans상태로 전이가 일어난다. pak_trans상태에서는 패킷을 송신하는 기능하게 된다. exam_end상태에서는 한 패킷이 종료여부를 검사해서 패킷이 종료가 되면 r_arvl상태로 전이가 이루어진다.

패킷이 수신기에 도착하면 상태전이가 r_arvl상태로 된다. 이 상태에서 프로세스는 수신 큐로 패킷을

가져와 무선 통신시스템 자신의 주소와 같은가 검사한 후 같지 않으면 패킷을 파괴하고 같으면 패킷타입을 분류하는 단계로 넘어간다. 패킷을 분류해서 ACK 타입이면 패킷을 파괴하고 데이터 타입이면 ACK 타입 패킷을 만들어 전송한다. 또한 r_arvl상태에서 source 큐가 비어있으면 idle상태로 전이된다.

III. 무선 통신시스템의 방정식

본 연구에선 모델링한 무선 통신시스템의 동작 특성은 송신 상태, 수신 상태, idle 상태로 사이클이 이루어지면서 패킷을 송 수신 한다.

무선 통신시스템의 모델링을 해석적인 방법으로 접근하기 위해 II장에서 제시한 무선 통신시스템의 동작특성을 관측하면 다음과 같다. 패킷의 도착이 포아송 프로세스를 따르고, 패킷의 길이가 1048비트로 일정하게 서비스를 받고 있기 때문에 패킷의 서비스 분포가 일정함을 알 수 있어 M/D/1 모델링 설정할 수 있다[10]. 또한 모델링한 무선 통신시스템은 단방향 통신이고, 비동기식 1-persistent CSMA를 사용하므로 송신할 때는 수신할 수 없는 상태, 말자하면 송신할 때는 마치 한 쪽이 고장난 상태로 볼 수 있기 때문에 breakdown 특성을 갖는다고 말할 수 있다. 따라서 무선 통신시스템을 breakdown 특성을 갖는 M/D/1 모델로 설정하였다[11]-[14]. 이에 대한 가정은 다음과 같다.

본 논문에서는 모델링한 시스템의 지연특성만 살펴보기 위해 재전송을 없다고 가정했다. 이러한 환경에서 rescheduling delay를 무한대로 가정하여 해석하면 1-persistent CSMA 프로토콜도 적용이 가능하게 됨을 참고문헌[10]에서 제시하고 있다.

3.1 시스템 모델링 방정식

시스템의 특성을 수신상태에 있을 확률, 전송상태에 있을 확률 idle상태에 있을 확률로 정의하면 다음과 같다.

$$Q_n(x, t)dt = P_r[N(t) = n, x \leq \hat{v}(t) \leq x + dt, \text{시스템이 수신상태}]$$

$$P_n(x, t)dt = P_r[N(t) = n, x \leq \hat{s}(t) \leq x + dt, \text{시스템이 전송상태}]$$

$$R_0(t) = P_r[N(t) = 0, \text{시스템이 idle상태}]$$

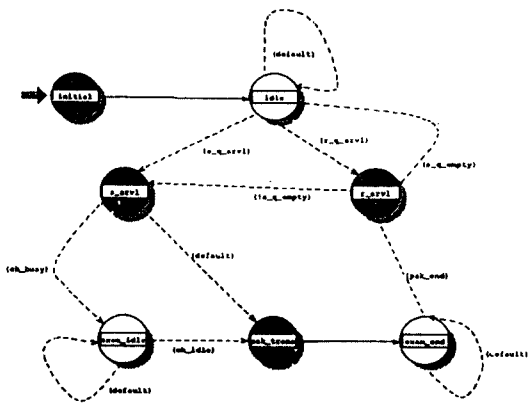


그림 4. processor 모듈의 상태전이도
Fig 4. State transition diagram of processor module

여기서 $N(t) =$ 시간 t 에서 시스템에 존재하는 전송패킷의 수

$\hat{Y}(t) =$ 시간 t 에서 남아있는 수신시간

$\hat{S}(t) =$ 시간 t 에서 남아있는 전송시간

시스템이 임의의 시점 t 에서 임의의 시점 $t+1$ 구간에 있을 때 시스템내에 패킷의 유무에 따라 수신상태에 있을 경우, 전송상태에 있을 경우, idle상태에 있을 경우로 관측할 수 있다. 따라서 시스템의 동작특성을 다음과 같이 5가지 방정식으로 모델링할 수 있다.

$$\textcircled{1} (\lambda + \alpha)R_0 = P_1(0) + Q_0(0)$$

①의 시스템 방정식은 시스템이 idle상태에 있는 경우이며 이때 아래와 같이 유도된다.

$$R_0(t + dt) = R_0(t)(1 - \lambda dt)(1 - \alpha dt) + P_1(0, t)dt + Q_0(0, t)dt \quad (4)$$

여기서 λ : 전송패킷의 도착율
 α : 수신패킷의 도착율

식(4)를 dt 로 나누어 주면 식(4)는 식(5)와 같다.

$$\frac{d}{dt} R_0(t) = -(\lambda + \alpha)R_0(t) + P_1(0, t) + Q_0(0, t) \quad (5)$$

식(5)를 정상상태로 놓고 정리하면 식(5)는 식(6)과 같다.

$$0 = -(\lambda + \alpha)R_0 + P_1(0) + Q_0(0) \\ \therefore (\lambda + \alpha)R_0 = P_1(0) + Q_0(0) \quad (6)$$

$$\textcircled{2} Q'_0(x) = \lambda Q_0(x) - \alpha R_0 v(x)$$

②에 시스템 방정식은 시간 $t + dt$ 상태에서 시스템에 전송패킷이 1개도 존재하지 않고 시스템이 수신상태에 있는 경우에 해당하며 이때 아래와 같이 유도된다.

$$Q_0(x - dt, t + dt) = Q_0(x, t)(1 - \lambda dt) + R_0(t)(\alpha dt)v(x) \quad (7)$$

여기서 $v(x) =$ receiving time PDF

식(7)을 dt 로 나누어 주면 식(7)은 식(8)과 같다.

$$-\frac{d}{dx} Q_0(x, t) + \frac{d}{dt} Q_0(x, t) \\ = -\lambda Q_0(x, t) + \alpha R_0(t)v(x) \quad (8)$$

식(8)을 정상상태로 놓고 정리하면 식(8)은 식(9)와 같다.

$$-\frac{d}{dx} Q_0(x) = -\lambda Q_0(x) + \alpha R_0 v(x) \\ \therefore Q'_0(x) = \lambda Q_0(x) - \alpha R_0 v(x) \quad (9)$$

$$\textcircled{3} Q'_n(x) = \lambda Q_n(x) - \lambda Q_{n-1}(x) \quad n \geq 1$$

③의 시스템 방정식은 시간 $t + dt$ 상태에서 n 개의 전송패킷이 있고 시스템이 수신상태에 있는 경우이며 이때 아래와 같이 유도된다.

$$Q_n(x - dt, t + dt) = Q_n(x, t)(1 - \lambda dt) + Q_{n-1}(x, t)(\lambda dt) \quad (10)$$

식(10)을 dt 로 나누어 주면 식(10)은 식(11)과 같다.

$$-\frac{d}{dx} Q_n(x, t) + \frac{d}{dt} Q_n(x, t) \\ = -\lambda Q_n(x, t) + \lambda Q_{n-1}(x, t) \quad (11)$$

식(11)을 정상상태로 놓고 정리하면 식(11)은 식(12)와 같다.

$$-\frac{d}{dx} Q_n(x) = -\lambda Q_n(x) + \lambda Q_{n-1}(x) \\ \therefore Q'_n(x) = \lambda Q_n(x) - \lambda Q_{n-1}(x) \quad (12)$$

$$\textcircled{4} P'_1(x) = \lambda P_1(x) - \lambda R_0 s(x) - Q_1(0)s(x) - P_2(0)s(x) \quad n=1$$

④의 시스템 방정식은 시간 $t + dt$ 상태에서 1개의 전송패킷이 있고, 시스템이 전송상태에 있는 경우에 해당한다. 따라서 아래와 같이 유도된다.

$$P_1(x - dt, t + dt) = P_1(x, t)(1 - \lambda dt) + R_0(t)(\lambda dt)s(x) + Q_1(0, t)dt s(x) + P_2(0, t)dt s(x) \quad (13)$$

여기서 $s(x) =$ service time PDF

식(13)을 dt 로 나누어 주면 식(13)은 식(14)와 같다.

$$-\frac{d}{dx} P_1(x, t) + \frac{d}{dt} P_1(x, t) = -\lambda P_1(x, t) - \lambda R_0 s(x)$$

$$+ Q_1(0, t)s(x) + P_2(0, t)s(x) \quad (14)$$

식(14)를 정상상태로 놓고 정리하면 식(14)는 식(15)와 같다.

$$-\frac{d}{dx} P_1(x) = -\lambda P_1(x) - \lambda R_0 s(x) + Q_1(0)s(x) + P_2(0)s(x)$$

$$\therefore P_1'(x) = \lambda P_1(x) - \lambda R_0 s(x) - Q_1(0)s(x) - P_2(0)s(x) \quad n=1 \quad (15)$$

$$\textcircled{5} P_n'(x) = \lambda P_n(x) - \lambda P_{n-1}(x) - P_{n+1}(0)s(x) - Q_n(0)s(x) \quad n \geq 2$$

⑤의 시스템 방정식은 시간 $t + dt$ 상태에서 n 개의 전송패킷이 있고, 시스템이 전송상태에 있는 경우이며 이때 아래와 같이 유도된다.

$$P_n(x-dt, t+dt) = P_n(x, t)(1-\lambda dt) + P_{n-1}(x, t)(\lambda dt)$$

$$+ Q_n(0, t)s(x) + P_{n+2}(0, t)s(x) \quad (16)$$

식(16)을 dt 로 나누어 주면 식(16)은 식(17)과 같다.

$$-\frac{d}{dt} P_n(x, t) + \frac{d}{dt} P_n(x, t) = \lambda P_{n-1}(x, t) - \lambda P_n(x, t)$$

$$+ Q_n(0, t)s(x) + P_{n+1}(0, t)s(x) \quad (17)$$

식(17)을 정상상태로 놓고 정리하면 식(17)은 식(18)과 같다.

$$-\frac{d}{dt} P_n(x) = -\lambda P_n(x) - \lambda P_{n-1}(x) + Q_n(0)s(x) + P_{n+1}(0)s(x)$$

$$\therefore P_n'(x) = \lambda P_n(x) - \lambda P_{n-1}(x) - Q_n(0)s(x) - P_{n+1}(0)s(x) \quad n \geq 2 \quad (18)$$

3.2 시스템에서의 평균지연시간(W)

$Q_0(x)$ 의 라플라스 변환을 $Q_0^*(\theta)$ 로 정의하면 식(19)와 같다.

$$Q_0^*(\theta) = \int_0^\infty e^{-\theta x} Q_0(x) dx \quad (19)$$

식(9)와 식(12)의 양변에 라플라스 변환을 취하면 다음과 같다.

$$\theta Q_0^*(\theta) - Q_0(0) = \lambda Q_0^*(\theta) - \alpha R_0 V^*(\theta) \quad (20)$$

$$\theta Q_n^*(\theta) - Q_n(0) = \lambda Q_n^*(\theta) - \lambda Q_{n-1}^*(\theta) \quad (21)$$

n^{th} 식에 Z^n 을 곱하고 0에서 ∞ 까지 더하는 생성함수(generating function)를 식(22)로 놓자

$$Q^*(z, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} Q_n^*(\theta) z^n \quad (22)$$

식(22)를 사용하여 식(20)과 식(21)을 정리하면 식(20)은 식(23)과 식(21)은 식(24)와 같다.

$$\theta \sum_{n=0}^{\infty} Q_n^*(\theta) z^n - \sum_{n=0}^{\infty} Q_n(\theta) z^n = \lambda \sum_{n=0}^{\infty} Q_n^*(\theta) z^n - \alpha R_0 V^*$$

$$(\theta) z^0 - \lambda z \sum_{n=1}^{\infty} Q_{n-1}^*(\theta) z^{n-1} \quad (23)$$

$$\theta Q^*(z, \theta) - Q(z, 0) = \lambda Q^*(z, \theta) - \alpha R_0 V^*(\theta) - \lambda z Q^*(z, \theta) \quad (24)$$

식(24)를 정리하면 식(25)와 같다.

$$(\theta - \lambda + \lambda z) Q^*(z, \theta) = Q(z, 0) - \alpha R_0 V^*(\theta) \quad (25)$$

식(25)에서 초기치를 구하기 위해 $\theta = \lambda - \lambda z$ 라 놓으면 식(25)는 식(26)과 같다.

$$Q(z, 0) = \alpha R_0 V^*(\lambda - \lambda z) \quad (26)$$

식(26)을 식(24)에 대입하면 식(24)는 식(27)와 같다.

$$Q^*(z, \theta) = \frac{\alpha R_0 [v^*(\lambda - \lambda z) - V^*(\theta)]}{\theta - \lambda + \lambda z} \quad (27)$$

식(9)와 식(12)와 같은 방법으로 식(15)와 식(18)을 유도해서 결과식을 구하려면 식(28), 식(29), 식(30), 식(31), 식(32)으로부터, 결과 수식은 식(33)과 같다.

$$(\theta - \lambda + \lambda z) P^*(z, \theta) = P(z, 0) - S^*(\theta)$$

$$\left[-\frac{P(z, 0)}{z} - P_1(0) + Q(z, 0) - Q_0(0) + \lambda z R_0 \right] \quad (28)$$

$$R(z) = Q(z, 0) - Q_0(0) - P_1(0) + \lambda z R_0$$

$$= \alpha R_0 v^*(\lambda - \lambda z) - (\lambda + \alpha) R_0 + \lambda z R_0 \quad (29)$$

$$= \lambda(z-1) R_0 + \alpha R_0 [v^*(\lambda - \lambda z) - 1]$$

$$(\theta - \lambda + \lambda z) P^*(z, \theta) = P(z, 0) \left(1 - \frac{S^*(\theta)}{z} \right) - S^*(\theta) R(z) \quad (30)$$

$$P(z, 0) = \frac{z S^*(\lambda - \lambda z) R(z)}{z - S^*(\lambda - \lambda z)} \quad (31)$$

$$P^*(z, \theta) = \frac{z[S^*(\lambda - \lambda z) - S^*(\theta)]R(z)}{(\theta - \lambda + \lambda z)(z - S^*(\lambda - \lambda z))} \quad (32)$$

$$\therefore P^*(z, \theta) = \frac{z[S^*(\lambda - \lambda z) - S^*(\theta)] \{\lambda(z-1) + \alpha[v^*(\lambda - \lambda z) - 1]\}R_0}{(\theta - \lambda + \lambda z)(z - S^*(\lambda - \lambda z))} \quad (33)$$

따라서 식(33)에 $\theta=0$ 으로 놓고 정리하면 식(33)은 식(34)와 같다.

$$P^*(z, 0) = \frac{z[S^*(\lambda - \lambda z) - 1] \{\lambda(z-1) + \alpha[v^*(\lambda - \lambda z) - 1]\}R_0}{(z - S^*(\lambda - \lambda z))(-\lambda + \lambda z)} \quad (34)$$

식(34)을 다시 정리하면 식(35)와 같다.

$$P^*(z, 0) = R_0 z \frac{[S^*(\lambda - \lambda z) - 1]}{[z - S^*(\lambda - \lambda z)]} + \frac{z[S^*(\lambda - \lambda z) - 1] \alpha[v^*(\lambda - \lambda z) - 1]R_0}{[z - S^*(\lambda - \lambda z)](-\lambda + \lambda z)} \quad (35)$$

또한 식(27)에 $\theta=0$ 으로 놓고 정리하면 식(27)은 식(36)과 같다.

$$Q^*(z, 0) = \frac{\alpha R_0 [v^*(\lambda - \lambda z) - 1]}{-\lambda + \lambda z} \quad (36)$$

임의의 시점에서 시스템 내에 전송패킷이 n 개일 확률 P_n 을 식(37)에 식(35)와 식(36)을 대입하여 구하면

$$\begin{aligned} P^*(z, 0) + Q^*(z, 0) + R_0 &= P(z) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n z^n \quad (37) \\ &= R_0 \left\{ \frac{S^*(\lambda - \lambda z)(z-1)}{z - S^*(\lambda - \lambda z)} \right\} + \frac{\alpha R_0 [v^*(\lambda - \lambda z) - 1]}{(\lambda - \lambda z)} \\ &\quad \left\{ 1 + \frac{z[S^*(\lambda - \lambda z) - 1]}{z - S^*(\lambda - \lambda z)} \right\} \\ &= \frac{R_0(z-1)S^*(\lambda - \lambda z)}{z - S^*(\lambda - \lambda z)} \left\{ 1 + \frac{\alpha[1 - v^*(\lambda - \lambda z)]}{(\lambda - \lambda z)} \right\} \\ &= \frac{(1-\rho)(z-1)S^*(\lambda - \lambda z)}{z - S^*(\lambda - \lambda z)} \left\{ 1 + \frac{\alpha(1 - v^*(\lambda - \lambda z))}{(\lambda - \lambda z)} \right\} \frac{R_0}{1-\rho} \end{aligned}$$

식(37)에서 z 를 1로 놓고 l'Hopital's rule을 적용하

여 R_0 을 구하면

$$R_0 = \frac{1-\rho}{1 + \alpha E(v)} \quad (38)$$

로 주어진다. 따라서 식(37)에 식(38)을 대입하여 정리하면 식(39)와 같다.

$$\therefore P(z) = P(z, M/G/1) \left\{ \frac{1}{1 + \alpha E(v)} + \frac{\alpha E(v)}{1 + \alpha E(v)} \frac{[1 - v^*(\lambda - \lambda z)]}{E(v)[\lambda - \lambda z]} \right\} \quad (39)$$

식(39)의 우변 두번째 괄호항은 breakdown 특성 때문에 일어나는 시스템의 패킷 크기가 된다.

시스템에서 대기하고 있는 패킷의 수 L 을 구하기 위해 식(39)를 미분하여 $z=1$ 을 대입하여 정리하면 식(39)은 식(40)과 같다.

$$\begin{aligned} L &= \rho + \frac{\lambda^2 E(s^2)}{2(1-\rho)} + \frac{\alpha E(v)}{1 + \alpha E(v)} \frac{\lambda E(v^2)}{2E(v)} \quad (40) \\ &= \rho + \frac{\lambda^2 E(s^2)}{2(1-\rho)} + \frac{\alpha \lambda E(v^2)}{2[1 + \alpha E(v)]} \end{aligned}$$

시스템의 이용율은 식(41)과 같다.

$$\rho = \lambda E(s) \quad (41)$$

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (42)$$

식(42)의 Little's theorem에 의해 시스템에서의 평균 지연시간은

$$W = E(s) + \frac{\lambda E(s^2)}{2(1-\rho)} + \frac{\alpha E(v^2)}{2[1 + \alpha E(v)]}, \quad \rho = \lambda E(s) < 1 \quad (43)$$

식(43)에서 $\rho = \lambda E(s) < 1$ 을 만족해야 된다. 여기서 $E(s)$ 는 일정하기 때문에 패킷도착율(λ)이 변수가 된다.

따라서 무선 통신시스템의 평균 END-to-END 지연시간(D)은

$$D = \tau + W \quad (44)$$

가 되며 여기서 τ 는 전파지연시간이다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

무선 통신시스템은 분산 무선망에서 패킷을 송수신할 수 있는 시스템으로서 III장에서 제시한 해석적인 방정식의 결과를 검증하기 위해 OPNET simulator 환경에서 실제적인 시스템 특성에 알맞게 모델링하여 시뮬레이션을 하였다.

프로세스 모듈과 큐 모듈의 프로그램은 C 언어를 사용하였으며, 일부분은 OPNET simulator에서 제공하고 있는 함수를 사용하였다. 시뮬레이션 시간은 시스템이 안정상태에서 작할 수 있는 10,000시간으로 설정하였다.

앞 장의 식(44)은 한 시스템에서 해석한 무선 통신시스템의 평균 END-to-END 지연시간이다. 이러한 결과의 특성을 사용하여 그림5와 같은 노드의 수가 10개인 분산무선 패킷망에서 평균 END-to-END 지연특성을 살펴볼 수 있다.

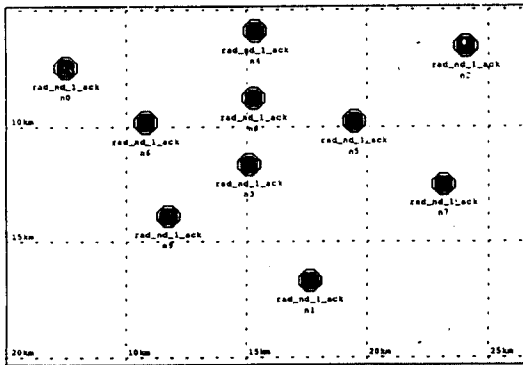


그림 5. 네트워크 구성
Fig 5. Network configuration

분산 무선패킷망에서의 지연특성을 살펴보기 위해 패킷을 전송할때, 패킷 발생기에 발생한 1024비트에 타입, 근원지 주소, 목적지 주소, 순서 번호를 추가하여 전송하고, 수신 측에서는 자신의 패킷인 경우만 ACK 패킷을 전송한다. 이때 충돌한 패킷이 발생한 경우 재전송을 하지 않는다. 또한 단일채널을 사용하여 단방향 통신하고, 다원접속방법은 비동기식 1-persistent CSMA 프로토콜을 사용하고 있다.

그림5에서 무선 통신시스템의 거리는 자동적으로 계산이 되어 전파지연상수가 결정된다. 여기서 시스템의 거리는 12-15km 이내이므로 전파 지연시간은 수십 μ 초가 된다. 송신 출력, 주변환경의 잡음과 패킷이 충돌할 때 생기는 잡음으로 SNR이 결정되면 BPSK 변복조 테이블에서 BER을 결정한다. 결정된 BER에 의하여 패킷의 수신 여부를 결정한다.

시스템에서 대기하고 있는 패킷의 평균지연 시간을 수학적 방법으로 구하면 다음과 같다. 일정하게 서비스를 하고 있기 때문에 평균 서비스 시간 $E(s)$ 는 0.05458(1,048/19,200)이다. $E(s^2)$ 은 분산 0으로 하고 구하면 $E(s)^2$ 이 된다. breakdown현상이 발생할 경우 평균서비스 시간 $E(v)$ 도 0.05458이며 $E(v^2)$ 은 분산 0으로 하고 구하면 $E(v)^2$ 이 된다. 여기서 α 는 0.1로 정하고 λ 을 임의로 하였다. 이러한 값을 식(43)에 대입하여 구하면 그림6에서 analytical value 그래프 부분이다. 또한 simulation value 그래프 부분은 시스템이 정상상태에서 동작할때 얻어진 것이다. 여기서 시뮬레이션으로 얻어진 결과와 수학적으로 얻어진 결과의 차이는 OPNET simulator를 사용하였을때 평균 서비스 시간, 수신 패킷의 도착율, 수신 패킷의 평균서비스 시간등의 파라미터와 관련된 특성때문이다.

여기서의 패킷의 도착율이 2(packet/sec) 미만인 경우에는 지연시간은 패킷전송과 거의 같거나 약간 큰 정도이고, 패킷의 도착율이 2(packet/sec) 이상인 경우에는 지연특성이 증가하여 포화점(saturation point)이 패킷의 도착율이 3.3(packet/sec)에서 발생함을 알 수 있다.

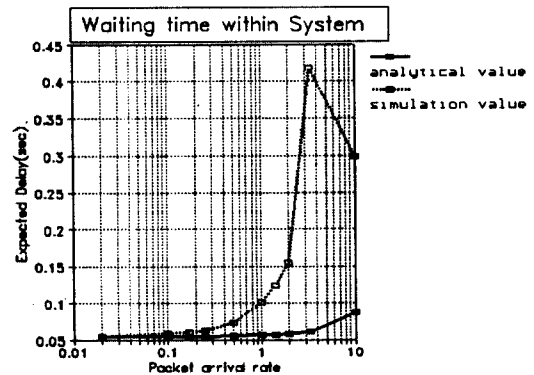


그림 6. 시스템내에서 대기하고 있는 평균 지연특성
Fig 6. Mean delay characteristic in waiting within system

패킷의 도착율이 2-3.3(packet/sce) 이상인 경우에는 지연특성이 좋지 않은 이유는 채널 사용권을 확보하면 계속적으로 전송할 패킷이 없을 때까지 전송한 후 ACK 패킷을 처리하는 특성이 있기 때문이다. 그림7은 전파지연 상수(12.5km(평균값)/300000km)를 고려한 망에서의 지연시간이다.

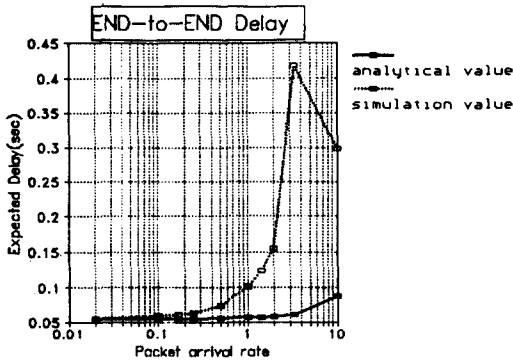


그림 7. 평균 END-to-END 지연시간
Fig 7. Mean delay time of END-to-END

V. 결 론

본 논문에서는 분산 무선망에서 CSMA 프로토콜을 사용한 무선통신 시스템을 모델링하고, 그 모델링을 시뮬레이션으로 수행하여 패킷의 도착율 함수에 의한 평균 END-to-END 지연특성을 살펴보고, 또 수학적으로도 해석하였다.

본 논문에서 모델링한 무선 통신시스템은 단방향 통신방식으로 하나의 채널을 여러 사용자가 공유하면서 채널의 상태를 감지하고 패킷을 보내는 기능을 수행한다. 그러나 패킷 도착율이 2(packet/sec)미만인 경우는 평균 END-to-END 지연특성이 패킷전송 시간의 2배 정도로 무선 패킷망에서 모델링한 무선 통신시스템은 튼튼하게 기능을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

결과적으로 분산 무선망에서 모델링한 무선 통신 시스템은 패킷 도착율이 2(packet/sec) 미만인 경우의 패킷 전송이 이루어지는 환경에 적합함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. D. J. Goodman and A. A. M. Saleh, "The near/far effect in local ALOHA radio communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. VT-36, pp.19-27, Feb. 1987.
2. A. S. Acampora and J. H. Winters, "A wireless network for wideband indoor communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol SAC-5, pp. 796-805, June 1987.
3. J. H. Winters, "Optimum cobining for indoor radio systems with multiple users," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, pp.1222-1230, Nov. 1987.
4. A. A. M. Saleh and L. J. Cimini, Jr., "Indoor radio communications using time-division multiple access with cyclical slow frequency hopping and coding," *ICC, Proceedings*, 1988, Philadelphia, June 1988.
5. F.A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels : Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modes and their Throughput-Delay Characteristics," *IEEE Trans. Comun*, vol. COM-23, pp. 1400-1416, Dec. 1975.
6. 조동호, "음성/데이터 집적 이동 통신 서비스 도입 방안 연구," 한국이동통신(주) 최종연구보고서.
7. OPNET Manual, MIL 3, Inc., Vol 1-8, 1991.
8. Bernard Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall Int., 1988.
9. J.D.Sparagins, J.L.Hammand, Krzysztof Pawlikowski, *Telecommunications Protocol and Design*, Addison-Wesley, 1991.
10. D.P.Heyman, "An analysis if the carrier-sense multiple access protocol," *B.S.T.J.*, pp.2023-2051, Oct. 1982.
11. L. Kleinrock, *Queueing Systems*, vol. I. New York : Wiley, 1975.
12. L. Kleinrock, *Queueing Systems*, vol. II. New York : Wiley, 1976.
13. Hisachi Kobayashi, *Modeling and Analysis*, Addison-Wesley Publishing Co., 1978.
14. R. W. Wolff, *Stochastic Modeling and the theory of queues*; Prentice-Hall International Inc., 1989.

본 논문은 1991-1993년도 상공부의 공업기반기술 개발 사업 과제의 일부분으로 진행된 결과입니다.



趙炳錄(Byung Lok Cho) 正會員
1962年 9月 4日生
1987年 2月: 成均館大學校 電子工學科 卒業
1990年 2月: 成均館大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)
1990年 3月: 成均館大學校 大學院 電子工學科 博士課程 修了

1987年 1月~1988年 3月: 三星電子(株) 綜合研究所
※주관심분야: 통신이론, 무선통신, 데이터통신, 컴퓨터 네트워크 등임

朴炳哲(Byung Chul Park) 正會員
1930年 4月 30日生
1957年 9月: 서울大學校 工科大學 通信工學科(工學士)
1975年 2月: 仁荷大 大學院 電氣工學科(工學博士)
1980年 9月: 日本 東京大學校 外國人研究員(1年間)
1972年 3月~現在: 成均館大學校 電子工學科 教授



崔炯辰(Hyung Jin Choi) 正會員
1952年 8月 30日生
1974年 2月: 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
1976年 2月: 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(석사)
1976年 3月~1979年 7月: 주식회사 금성사 중앙연구소 근무(연구원)

1979年 9月~1982年 12月: 미국 University of Southern California 전기공학과 박사(Ph.D)

1982年 10月~1989年 2月: 미국 LinCom Corp. 연구원으로 근무

1989年 3月~현재: 성균관대학교 전자공학과 근무(부교소)

※주관심분야: 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화이론을 포함한 Modem기술 등임