

# 무선 네트워크 time-varying 채널 상에서 Signal Flow Graph를 이용한 패킷 전송 성능 분석

## Performance analysis of packet transmission for a Signal Flow Graph based time-varying channel over a Wireless Network

김상용, 박홍성  
(Sang Yong Kim\*, Hong Seong Park\*\*)

**Abstract** – Change of state of Channel between two wireless terminals which is caused by noise and multiple environmental conditions for happens frequently from the Wireles Network. So, When it is like that planning a wireless network protocol or performance analysis, it follows to change of state of time-varying channel and packet the analysis against a transmission efficiency is necessary. In this paper, analyzes transmission time of a packet and a packet in a time-varying and packet based Wireless Network. To reflecte the feature of the time-varying channel, we use a Signal Flow Graph model. From the model the mean of transmission time and the mean of queue length of the packet are analyzed in terms of the packet distribution function, the packet transmission service time, and the PER of the time-varying channel.

**Key Words** : time-varying, Markov, Signal flow graph

### 1. 서 론

무선 네트워크 상에서는 지형이나 지물로 인한 전파의 반사 및 굴절, 산란 등에 의한 페이딩이나 노이즈 때문에 무선 채널은 항상 time-varying 특성을 가진다. 이와 같이, 무선 네트워크에서의 채널의 상태가 계속 변화하기 때문에 데이터 패킷의 전송 시 신뢰성을 보장하기 위한 방법으로 ARQ(Automatic Repeat Request), FEC(Forward Error Correction)을 이용한다.

여러 가지 장애가 발생할 수 있는 무선 네트워크 통신의 경우 신뢰할 수 있는 데이터 통신을 제공하는 것이 중요하다. 이와 같이 신뢰성을 제공하고 효율적인 데이터 통신을 위하여 많은 논문들에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 방법들을 제안하고 그에 대한 전송 성능에 대해 연구하고 있다. [1],[2]는 time-varying 채널 상태를 반영하기 위해서 Two-state 마코프 모델을 이용하였다. 그리고 Bernoulli 프로세스에 따라 패킷이 도착하고 Nonstationary 채널 상태에서 SR ARQ를 적용하였을 경우의 평균 패킷 전송 지연시간과 평균 큐길이에 대해 분석하였다. 그러나 두 논문에서는 SR ARQ를 적용하였을 경우의 평균 큐길이를 구하는데 초점을 맞추고 있다. [3]에서는 time-varying 채널을 반영하기 위해 Two-state 마코프 모델을 이용하고 패킷의 어려움 변화에 따른 패킷 전송 성능에 대해서 분석하였다. 그러나 이 논문에서는 패킷 전송 모델에 대해서만 분석하고 있을 뿐 패킷을 전송하기 위한 대기 큐에 대해서는 논의하고 있지 않다. [4]는 채널의 상태의 변화가 없다는 가정을 한 후 패킷의 어려움 변화에 따른 패킷의 전송 지연 시간에 대한 분석을 하고 있다.

이렇게 대부분의 논문들은 패킷 전송 시간 분석에 초점을 맞

### 저자 소개

\* 김상용 : 강원대학교 제어계측공학과 석사과정  
\*\* 박홍성 : 강원대학교 제어계측공학과 교수

추고 있고 큐 길이를 구한 논문들도 실제로 패킷 전송에 관련된 부분은 다른 논문의 분석 내용을 이용하였다. 또한 몇 논문은 패킷의 전송 지연 시간을 구함에 있어서 채널 상에 어려가 없다고 가정하거나 채널의 상태가 변하지 않는 일정한 상태를 유지한다고 가정을 하고 있기 때문에 time-varying 채널 특성을 반영한다고 할 수 없다.

본 논문에서는 무선 네트워크 time-varying 채널 상의 패킷 단위의 전송 시스템에 대해서 패킷의 평균 전송시간을 해석적으로 구한다. time-varying 채널 상태를 반영하기 위하여 Signal Flow Graph를 이용한다. 패킷의 평균 전송시간으로부터 하나의 패킷을 전송하는데 소요되는 확률 분포를 Gaussian 분포로 나타낸다. 그리고 Poisson 프로세스로 패킷이 도착하는 전송 시스템을 M/G/1으로 모델링하여 패킷의 평균 PER의 변화 및 패킷 도착 비율의 변화에 따른 평균 패킷 전송시간과 대기큐의 길이에 대해 해석한다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 네트워크에서 time-varying 채널 상태를 반영하기 위한 signal flow graph 모델을 제시하고 패킷의 평균 전송시간 및 평균 큐길이를 해석하기 위한 방법에 대해 논의한다. 3장에서는 수학적 계산 결과를 보이고 결과에 대해 논의하였다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

### 2. Time-varying 채널 분석

본 논문에서는 패킷 단위의 전송 시스템에서 하나의 패킷이 전송되기 위한 시간을 해석적으로 구하기 위해 signal flow graph[5]을 이용하였다. signal flow graph를 이용할 경우 입력 변수에 대한 출력 변수의 관계를 구하는 전달 함수  $T$ 는 다음과 같다.

$$T = \frac{\sum_k P_k \Delta_k}{\Delta} \quad (1)$$

$\Delta$ 는 signal flow graph의 transition probability matrix를 나

타낸다.  $P_k$ 는 각각의 경로에 대한 이득의 곱을 나타내는 것이고  $\Delta_k$ 는  $P_k$ 에 대한 transition probability matrix이다.

## 2.1 Two-state 모델

Two-state 모델은 채널의 상태를 GOOD과 BAD 상태로 구분한다. 아래의 그림 1은 Two-state 채널 모델일 경우 signal flow graph를 이용하여 채널 상태를 나타낸 것이다.

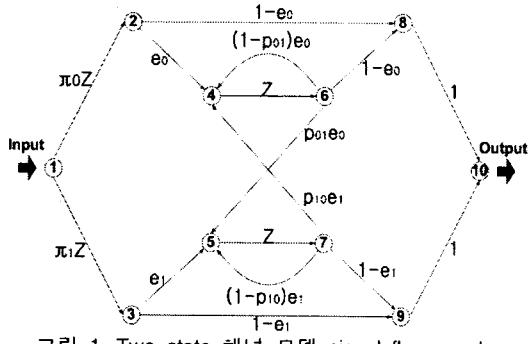


그림 1. Two-state 채널 모델 signal flow graph

채널의 상태가 GOOD일 경우의 PER(Packet Error Rate)는  $e_0$ , BAD일 경우의 PER는  $e_1$ 이라고 할 경우 각 채널의 PER는  $e_0 < e_1$ 의 조건을 만족해야 한다.

$P_{ij}$  ( $i, j = 0, 1$ )는 채널의 상태가  $i$ 에서  $j$ 로 변경될 확률을 나타낸다. 채널의 상태 변경은 각각의 슬롯의 마지막 부분에서 일어난다고 가정한다. 각 채널에서의 steady state 확률  $\pi_0$ 와  $\pi_1$ 은 다음과 같은 수식을 통해 얻을 수 있다.

$$\pi_0 = \frac{P_{10}}{P_{10} + P_{01}} \quad (2)$$

$$\pi_1 = \frac{P_{01}}{P_{10} + P_{01}} \quad (3)$$

GOOD 상태와 BAD 상태에 있을 때 평균 패킷 에러율  $e_m$ 을 정의하면 다음과 같다.

$$e_m = \frac{p_{10}e_0 + p_{01}e_1}{p_{10} + p_{01}} \quad (4)$$

## 2.2 Three-state 모델

Two-state 모델에서는 채널의 상태를 GOOD과 BAD로만 정의하기 때문에 실제 무선 네트워크 환경에서 일어날 수 있는 채널의 상태에 근접한 모델로 채널의 상태를 세 가지(GOOD, LittleGOOD, BAD)로 구분한 Three-state 모델을 사용하였다.

각 채널 상태에서의 PER는 아래의 조건을 만족해야 한다.

$$(GOOD)e_0 < (LittleGOOD)e_1 < (BAD)e_2$$

또한 각 채널에서의 steady state 확률은 다음과 같다.

$$\pi_0 = \frac{P_{10} + P_{20}}{P_{01} + P_{10} + P_{02} + P_{20} + P_{12} + P_{21}} \quad (5)$$

$$\pi_1 = \frac{P_{01} + P_{21}}{P_{01} + P_{10} + P_{02} + P_{20} + P_{12} + P_{21}} \quad (6)$$

$$\pi_2 = \frac{P_{02} + P_{12}}{P_{01} + P_{10} + P_{02} + P_{20} + P_{12} + P_{21}} \quad (7)$$

three-state 일 경우의 평균 패킷 에러율  $e_m$ 을 정의하면 다음과 같다.

$$e_m = \frac{p_{01}e_1 + p_{10}e_0 + p_{02}e_2 + p_{20}e_0 + p_{21}e_1 + p_{12}e_2}{p_{01} + p_{10} + p_{02} + p_{20} + p_{21} + p_{12}} \quad (8)$$

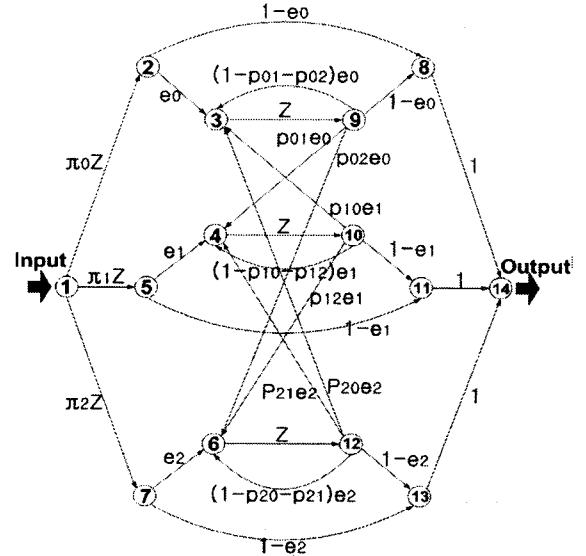


그림 2. Three-state 채널 모델 signal flow graph

## 2.3 패킷 전송 시간 및 큐길이 해석

signal flow graph를 이용하여 하나의 패킷이 전송되기 위해 소요되는 시간을 gaussian 분포로 나타내었을 때 Possion 프로세스로 패킷이 도착한다고 가정한 전송 시스템에 대해서 M/G/1으로 모델링했을 경우에 패킷의 평균 전송시간과 대기큐의 길이를 구하였다. 본 논문에서는 해석의 단순화를 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- 하나의 패킷은 한 슬롯에 전송된다.
- ACK/NACK 패킷은 에러없이 전송된다.
- 큐의 길이는 제한이 없다.

이와 같은 가정하에 패킷이 대기큐에서 소요되는 시간( $T_Q$ )은 Pollaczek-Khinchin(P-K) 공식을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_Q = \frac{\lambda X^2}{2(1-\rho)} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (9)$$

여기서  $X^2$ 은 second moment service time이다. 전체 시스템에서의 패킷 전송시간( $T$ )은 큐에서의 대기시간( $T_Q$ )과 time-varying 채널 상에서의 전송 시간( $\bar{X}$ )의 합이 된다.

$$T = \bar{X} + \frac{\lambda X^2}{2(1-\rho)} \quad (10)$$

(10) 수식과 Little의 공식을 이용하면 큐에 대기하는 평균 패킷의 수( $L_Q$ )를 (11)와 같이 구할 수 있다.

$$L_Q = \frac{\lambda^2 X^2}{2(1-\rho)} \quad (11)$$

## 3. 수치적 결과

수치적 계산을 단순하게 하기 위해서 각각의 패킷의 크기는 동일하다고 가정하였다. 그리고 패킷의 도착에는 비율  $\lambda$ 인

Poisson 프로세스를 사용하였다.

그림 3, 4는 채널의 상태가 two-state, three-state일 경우 다양한 평균 PER  $e_m$ 에서 패킷 도착율 변화에 대한 평균 큐 길이를 보인 것이다. 패킷 도착율이 0.01 이하일 경우에는 두 그래프 모두  $e_m$ 에 상관없이 큐에 대기하는 패킷이 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 패킷 도착율이 증가하게 되면 각  $e_m$ 에 따라서 큐의 길이가 지수적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이렇게 되면 패킷 전송 시스템의 불안정화를 초래할 수가 있기 때문에 시스템 안정화를 위해서는 평균 PER에 따라서 패킷 도착율을 제한 할 필요가 있음을 알 수 있다.

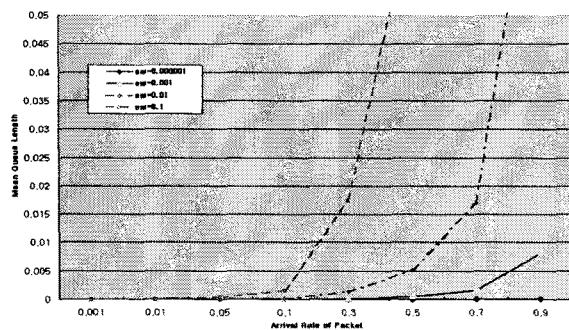


그림 3. two-state 패킷 도착율 변화에 대한 평균 큐 길이( $p01=0.4$ ,  $p10=0.7$ )

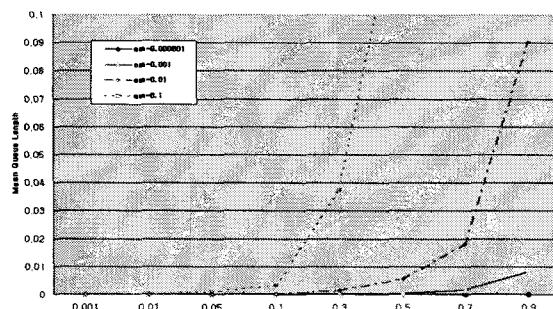
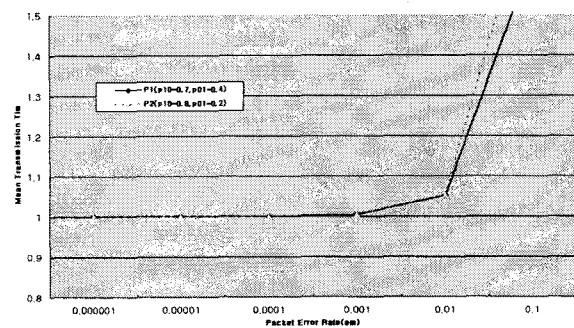


그림 3. two-state 패킷 도착율 변화에 대한 평균 큐 길이(GOOD(0.7):LittleGood(0.2):BAD(0.2))

그림 5와 6는 채널의 상태가 two-state일 때 GOOD과 BAD, three-state 일 때 GOOD, LittleGOOD, BAD 상태의 PER이 각각 다르지만 평균 PER  $e_m$ 은 같은 값을 가지도록 하는 조건 하에서 PER의 변화에 대한 평균 패킷 전송시간을 보인 것이다. 즉, two-state 일 경우 P1과 P2의 BAD 상태의 PER의 비가 1:1.82로 P2의 PER가 크다. 또한 three-state일 경우 P1과 P2의 BAD 상태의 PER의 비는 1:1.65로 P2의 PER가 크다. 그렇지만 P1과 P2는 동일한 평균  $e_m$ 을 가진다. 그림 5와 6에서 평균  $e_m$ 이 0.01이상일 경우에는 P1의 평균 전송시간이 0.3배 정도 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 PER는 채널의 상태가 GOOD 상태일 경우 보다 BAD 상태일 경우 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 PER  $e_m$ 이 0.01 이하일 경우에는  $e_m$ 으로 성능을 나타내는 것이 무의미하다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 결과를 통해 각 채널의 상태에 머무르는 시간보다 각 상태의 PER가 성능에 더 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

그림 5. two-state 패킷 에러율 변화에 대한 평균 패킷 전송시간



(P1:P2 = 1:1.82)

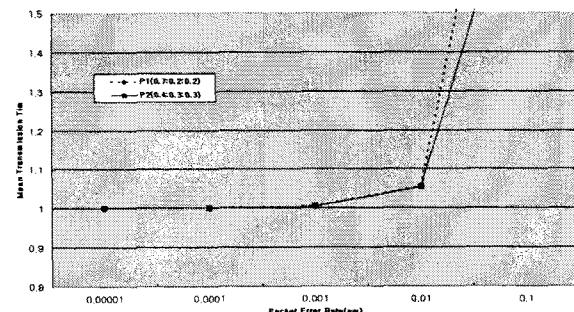


그림 5. two-state 패킷 에러율 변화에 대한 평균 패킷 전송시간 (P1:P2 = 1:1.65)

#### 4. 결 론

본 논문에서는 무선 네트워크 time-varying 채널 상의 패킷 단위의 전송 시스템에 대해서 패킷의 평균 전송시간을 해석적으로 구하였다. time-varying 채널 상태에 대해 two-state, three-state일 경우를 반영하기 위하여 Signal Flow Graph를 이용하였다. 하나의 패킷이 전송되기 위해 걸리는 시간을 구하고 Poisson 프로세스로 패킷이 도착하는 전송 시스템을 M/G/1으로 모델링하여 패킷의 평균 PER의 변화 및 패킷 도착 비율의 변화에 따른 평균 패킷 전송시간과 대기큐의 길이에 대해 해석적으로 분석하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Fantacci, R.“Queuing Analysis of the Selective Repeat Automatic Repeat Request Protocol Wireless Packet Networks”;Vehicular Technology, IEEE Transactions on ,45 ,Issue: 2 ,Pages:258 - 264, 1996
- [2] Jeong Geun Kim,“Delay Analysis of Selective Repeat ARQ for a Makovian Source Over a Wireless Channel” Krunz, M.M.Vehicular Technology, IEEE Transactions on ,Volume: 49 ,Pages:1968 - 1981, May. 2000
- [3] Kallel, S.,“Analysis of memory and incremental redundancy ARQ schemes over a nonstationary channel”, Communications, IEEE Transactions on ,40 ,9 ,Pages:1474 - 1480, Sept. 1992
- [4] Cam, R.,“Multiplexed ARQ for Time-Varying Channels-Part I: System Model and Throughput Analysis”,Leung, C.;Communications, IEEE Transactions on ,46 ,Issue: 1 ,Pages:41 - 51, Jan. 1998
- [5] Richard C. Dorf and Robert H. Bishop, “The Modern Control System”