

논문 2005-42TC-2-4

# 무선 네트워크 시변(time-varying) 채널에서 SFG (Signal Flow Graph)를 이용한 패킷 전송 성능 분석

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

김 상 용\*\*, 박 홍 성\*\*\*, 오 훈\*, 리 비탈리\*\*

(Sang Yong Kim, Hong Seong Park, Hoon Oh, and Vitaly LI)

## 요 약

무선 네트워크에서는 여러 가지의 환경적 요인으로 인해 발생하는 페이딩 현상 및 노이즈로 인하여 무선 단말기 간의 채널의 상태가 자주 변화한다. 따라서 시변 채널 특성을 지니는 무선 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해서는 시변 채널 특성을 파악하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 무선 네트워크 시변(Time-varying) 채널 상에서 패킷 전송 시간 및 대기큐에 대해 분석한다. 무선 네트워크 시변 채널 상태를 반영하기 위해 채널의 상태를 2-상태, 3-상태 각각의 경우로 구분하고 SFG(Signal Flow Graph) 모델을 이용하여 채널 상태를 해석한다. 각각의 상태에 대한 SFG 모델로부터 하나의 패킷에 대해 평균 전송시간과 분산을 구하고 이에 대한 확률 분포를 가우시안(Gaussian) 분포로 생각한다. 패킷의 도착분포가 포아송(Poisson) 프로세스를 따르는 전송 시스템을 M/G/1으로 모델링하고 에러 정정 기법으로 SW ARQ 기법을 적용하여 패킷의 PER의 변화 및 패킷 도착 비율의 변화에 따른 평균 패킷 전송시간과 평균 대기큐의 길이에 대해 해석하고 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

## Abstract

The state of channel between two or more wireless terminals is changed frequently due to noise or multiple environmental conditions in wireless network. In this paper, we analyze packet transmission time and queue length in a time-varying channel of packet based Wireless Networks. To reflect the feature of the time-varying channel, we model the channel as two-state Markov model and three-state Markov model Which are transformed to SFG(Signal Flow Graph) model, and then the distribution of the packet transmission can be modeled as Gaussian distribution. If the packet is arrived with Poisson distribution, then the packet transmission system is modeled as M/G/1. The average transmission time and the average queue length are analyzed in the time-varying channel, and are verified with some simulations.

**Keywords** : wireless, SFG, Markov, packet transmission time, queue length

## I. 서 론

무선 네트워크 상에서는 지형이나 지물로 인한 전파

의 반사 및 굴절, 산란 등에 의한 페이딩이나 노이즈 때문에 무선 채널은 항상 시변(time-varying) 특성을 가진다. 이와 같이, 무선 네트워크에서 채널의 상태가 계속 변화하기 때문에 데이터 패킷의 전송 시 신뢰성을 보장하기 위한 방법으로 ARQ (Automatic Repeat Request), FEC(Forward Error Correction)를 이용한다.

FEC는 전송되는 데이터와 동시에 에러정정코드를 전송하여 데이터 전송에 실패하였을 경우 수신측에서 에러정정코드를 이용하여 에러를 정정하는 방법이다. FEC의 경우, 일정한 처리율을 가질 수 있다는 장점이 있으나 부가적인 에러정정코드로 인한 대역폭 낭비가

\* 정회원, \*\*\* 정회원(책임저자), 강원대학교 전기전자정보통신공학부 (Dept. of Electrical and Computer Engineering, Kangwon National University)

\*\* 정회원, 강원대학교, 통신 멀티미디어공학과 (Dept. of Communication and Multimedia Engineering, Kangwon National University)

※ 이 연구는 강원대학교 BK21 프로그램의 일부 지원을 받아 수행한 것이다.

접수일자: 2004년9월9일, 수정완료일: 2005년1월13일

존재한다. ARQ는 전송되는 데이터 패킷에 에러검출코드가 포함되어 있어서 수신측에서는 송신측으로부터 받은 데이터 패킷의 디코딩 과정 중에 에러검출코드를 이용하여 데이터 패킷의 에러 유무를 확인하고 송신측으로 ACK 또는 NACK 패킷을 전송한다. 송신측에서는 ACK 패킷을 받게 되면 새로운 데이터 패킷을 전송하고 NACK 패킷을 받았을 경우에는 이전 데이터 패킷을 재전송하게 된다.

일반적으로 ARQ 방법으로 SW(Stop-and-Wait), GBN(Go-Back-N), SR(Selective Repeat) 방식이 많이 쓰인다. SW ARQ는 송신측에서는 수신측으로부터 ACK 받기 전까지는 다음 패킷을 전송할 수 없는 방법이다. 이 방법을 이용할 경우 데이터 패킷을 확실하게 전송할 수 있는 장점은 있지만 만약 피드백 딜레이가 클 경우 낮은 채널 이용률을 보일 수 있다는 단점을 가진다. GBN ARQ는 수신측으로부터 ACK 또는 NACK 패킷을 기다리지 않고 시퀀스 넘버를 가지는 연속적인 데이터를 전송하는 방법이다. 만약 NACK 패킷을 받을 경우 전송되지 못한 데이터 패킷의 시퀀스 넘버 이후의 모든 패킷을 재전송하게 된다. SR ARQ는 GBN ARQ 방법과는 달리 NACK 패킷에 해당되는 데이터 패킷만을 재전송하는 방법이다.

여러 가지 장애가 발생할 수 있는 무선 네트워크 통신의 경우 신뢰성 있는 데이터 전송을 제공하는 것이 중요하다. 그래서 시변 특성을 가진 무선 채널에서 신뢰성을 제공하고 효율적인 데이터 통신을 제공하기 위해서 많은 논문들이 채널 특성 및 전송 성능에 대해 연구하고 있다. [1][2]는 시변 채널 상태를 반영하기 위해서 2-상태 마코프 모델을 이용하였다. 베르누이(Bernoulli) 프로세스에 따라 패킷이 도착한다고 가정하고 시변 채널 상태에서 이상적인 SR ARQ를 적용하였을 경우의 평균 대기큐 길이에 대해 분석하였다. 두 논문에서는 이상적인 SR ARQ를 적용하였을 경우의 평균 대기큐 길이를 구하는데 초점을 맞추고 있고 전체적인 패킷 전송 지연시간을 구하기 위해서 채널 상태 변화에 따른 패킷 전송 상태를 분석한 [3]을 이용하여 해석했다. 그렇지만 두 논문에서는 대기큐의 길이를 구하는 것과 시변 채널에서의 패킷 전송 성능 분석을 개별적으로 수행하여 평균 패킷 전송 시간만을 제시하였다. 즉, 패킷 전송 시간 등의 성능 지표에 대한 분산을 구하지 못하였다. [4-6]는 채널의 상태의 변화가 없다는 가정을 한 후 패킷의 에러율 변화에 따른 패킷의 전송 지연 시간에 대한 분석을 하고 있다. 그러나 이들 논문에서는

개별 패킷의 전송 성능 및 큐의 길이에 대한 분석보다는 효율적인 ARQ 방법에 초점을 맞추고 있다. [7-10]은 시변 채널 상에서의 패킷 전송 성능에 대해 다양한 방법으로 연구하였다. 그렇지만 이 논문들 또한 패킷의 전송 지연 시간에 대한 분산을 구하지 못하였다.

이와 같이 논문들의 대부분이 시변 채널 상태의 패킷 전송 성능 분석에 초점을 맞추고 있고 대기큐 길이를 구한 논문들도 패킷 전송에 관련된 부분은 다른 논문의 이론을 적용하였다. 또한 몇몇의 논문의 패킷의 전송 지연 시간을 구함에 있어서 채널 상에 에러가 없다고 가정하거나 채널의 상태가 변하지 않는 일정한 상태를 유지한다고 가정을 하고 있기 때문에 시변 채널 특성을 반영한다고 할 수 없다. 그리고 시변 채널에서는 패킷의 전송 상태가 계속 변화하기 때문에 패킷의 전송시간 및 대기큐의 크기를 정확하게 예측하기 위해서는 패킷의 평균 전송 시간 및 분산을 구하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 무선 네트워크 시변 채널 상의 패킷 단위의 전송 시스템에 대해서 SW ARQ 기반으로 패킷의 평균 전송시간과 분산을 해석적으로 구한다. 시변 채널의 다양한 상태를 반영하기 위하여 채널의 상태를 각각 2-상태와 실제 무선 채널 상태에 근접한 3-상태 경우로 각각 구분하고 SFG(Signal Flow Graph)를 이용하여 해석한다. 패킷의 도착은 포아송(Poisson) 분포로 가정하고 하나의 패킷에 대해 평균 전송시간과 분산을 제시한다. 따라서 패킷 전송 시간의 분포를 가우시안(Gaussian) 분포로 간주할 수 있고 패킷의 도착분포가 포아송 프로세스이기 때문에 본 논문에서 전송 시스템은 M/G/1으로 모델링할 수 있다. 그리고 패킷의 PER의 변화 및 패킷 도착 비율의 변화에 따른 평균 패킷 전송시간과 평균 대기큐의 길이에 대해 시뮬레이션을 통하여 검증하여 유용성을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 무선 네트워크 시변 채널 상태에 대해서 논의한다. III장에서는 SFG를 이용하여 패킷 전송 시간 및 큐 길이를 구하기 위한 과정에 대해 설명하고 IV장에서는 III장에서 SFG를 이용한 수치적 분석 결과를 나타내고 이를 시뮬레이션 결과와 비교한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 무선 네트워크 시변 채널 모델

### 1. 2-상태 마코프 모델

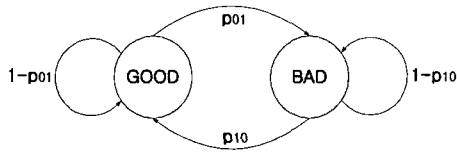


그림 1. 2-상태 마코프 모델  
Fig. 1. Two-state Markov Model.

일반적으로 무선 네트워크 시스템에서 시변 채널 상태를 반영하기 위해서 2-상태 마코프 모델이 많이 이용된다.

2-상태 마코프 모델은 채널의 상태를 GOOD과 BAD 상태로 구분한다. GOOD 상태일 경우 채널 상태가 좋아서 패킷 전송 시 에러가 존재하지 않거나 약간의 에러만 존재한다는 것을 의미하고 BAD 상태일 경우에는 채널 상태가 여러 가지 환경 조건으로 인해 좋지 않아서 송신측에서 전송한 패킷을 수신측에서 정상적으로 수신할 수 있는 확률이 낮다는 것을 의미한다. GOOD 일 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.  $\pi_0$  는 채널의 상태가 GOOD일 때 안정상태(steady state) 확률을 나타내고  $\pi_1$  은 채널의 상태가 BAD일 때 안정상태 확률을 나타낸다.  $\pi_0$  와  $\pi_1$  은 다음과 같은 수식을 통해 얻을 수 있다.

$$\pi_0 = \frac{p_{10}}{p_{10} + p_{01}} \quad (1)$$

$$\pi_1 = \frac{p_{01}}{p_{10} + p_{01}} \quad (2)$$

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

$$e_m = \frac{p_{10}e_0 + p_{01}e_1}{p_{10} + p_{01}} \quad (3)$$

### 2. 3-상태 마코프 모델

일반적으로 무선 네트워크 시변 채널을 반영하기 위한 모델은 채널의 상태를 GOOD과 BAD 두 가지의 경우로만 나누고 있지만 무선 네트워크 시변 채널을 그림

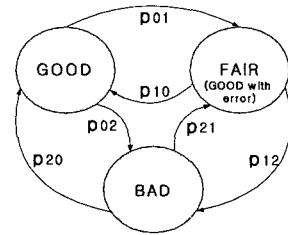


그림 2. 3-상태 마코프 모델  
Fig. 2. Three-state Markov Model.

2와 같이 채널의 상태를 세 가지로 구분한 3-상태 마코프 모델을 사용할 수 있다.

3-상태 마코프 모델에서 각각의 채널 상태는 그림 2와 같이 GOOD, FAIR(GOOD with error), BAD 상태로 구분한다. GOOD, BAD 상태는 2-상태 마코프 모델의 상태와 같은 의미이지만 2-상태 모델의 단점을 보완하여 좀 더 현실적인 환경에 적합하도록 FAIR 상태가 존재하게 된다. 즉, FAIR 상태는 패킷 전송 시 채널의 상태가 GOOD일 때 보다는 좋지 않지만 BAD 상태일 경우보다는 좋은 상태를 말한다. 채널의 상태가 GOOD일 경우의 PER가  $e_0$ , FAIR일 경우에는  $e_1$ , BAD 상태일 경우에  $e_2$  라고 할 경우 각 채널의 PER는  $e_0 < e_1 < e_2$  의 조건을 만족해야 한다. 또한 각 채널에서 안정상태 확률이 GOOD은  $\pi_0$ , FAIR은  $\pi_1$ , BAD는  $\pi_2$  라고 할 경우 각각의 안정상태 확률은 다음과 같다.

$$\pi_0 = \frac{p_{10} + p_{20}}{p_{01} + p_{10} + p_{02} + p_{20} + p_{12} + p_{21}} \quad (4)$$

$$\pi_1 = \frac{p_{01} + p_{21}}{p_{01} + p_{10} + p_{02} + p_{20} + p_{12} + p_{21}} \quad (5)$$

$$\pi_2 = \frac{p_{02} + p_{12}}{p_{01} + p_{10} + p_{02} + p_{20} + p_{12} + p_{21}} \quad (6)$$

또한, 평균 패킷 에러율  $e_m$  을 정의하면 (7)과 같다.

$$e_m = \frac{p_{01}e_1 + p_{10}e_0 + p_{02}e_2 + p_{20}e_0 + p_{21}e_1 + p_{12}e_2}{p_{01} + p_{10} + p_{02} + p_{20} + p_{21} + p_{12}} \quad (7)$$

다음절에서는 2-상태 및 3-상태로 구분한 각각의 시변 채널 모델에 대해 패킷 전송 평균 시간 및 분산에 대해 분석한다.

### III. 패킷 전송 시간 및 대기큐 길이

시변 채널 상태를 2-상태, 3-상태의 경우로 나누고 하나의 패킷이 전송되기 위해 소요되는 시간을 해석적으로 구하기 위해 SFG(Signal Flow Graph)[8]를 이용하였다. 또한 본 논문에서는 시스템을 분석함에 있어서 피드백 채널 에러는 없다고 가정하였다. SFG를 이용하면 복잡한 시스템 변수 사이의 상호 관계를 그림으로 표현하여 쉽게 시스템 변수 사이의 관계를 구할 수 있다는 장점이 있다. 패킷을 전송할 때 에러 정정 기법으로 SW ARQ를 이용하였다. 그리고 해석의 단순화를 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- 하나의 패킷은 한 슬롯에 전송된다.
- ACK/NACK 패킷은 에러없이 전송되고 데이터 패킷과 함께 하나의 슬롯 안에 전송된다.
- 큐의 길이는 무한하다.

#### 1. 2-상태 SFG 모델

그림 3은 그림 1과 같은 무선 채널 상태가 2-상태일 경우에 대해 패킷 전송 시스템을 SFG를 이용하여 나타낸 것이다.

그림 3에서 각각의  $d_i$  ( $i = 1 \sim 10$ )는 채널 상태에 따른 패킷의 전송 상태를 의미한다. 그리고  $z$ 는 슬롯타임을 나타낸다. 처음에 하나의 패킷이 들어온 상태인  $d_1$ 에서 채널의 상태가 GOOD일 경우에는  $d_2$ 에서 패킷 전송 에러가 발생하지 않는 경우에는  $d_8$ 을 거쳐 패킷이 수신측에 전송되는 상태인  $d_{10}$ 이 된다. 그러나  $d_2$ 에서 채널의 상태가 GOOD일 경우에 패킷 전송 에러( $e_0$ )가 발생할 경우  $d_4$ 의 상태가 된다. 그리고 나서 다음 슬롯의 상태  $d_6$ 에서 패킷 전송 에러가 없을 경우에는  $d_8$ 을 거쳐  $d_{10}$ 이 되지만 패킷 전송 에러가 있을 경우

에는 다시  $d_4$ 의 상태가 된다. 또한, 이 때 전송채널의 상태가 BAD로 변할 경우( $p_{01}$ )에는  $d_5$ 가 되어 채널의 상태가 BAD인 상태에서 패킷 전송 에러의 유무 및 채널 상태의 변화에 따라 패킷을 전송하게 된다. 마찬가지로  $d_1$ 에서 채널의 상태가 BAD일 경우에는  $d_3$  상태가 된다.  $d_3$ 에서 패킷 전송 에러가 없으면  $d_9$ 을 거쳐 패킷이 전송되는 상태인  $d_{10}$ 이 된다. 그렇지만 패킷 전송 에러( $e_1$ )가 발생할 경우에는  $d_5$ 상태가 되고 다음 슬롯에서 패킷의 에러 유무에 따라 패킷이 전송된다. 그리고 채널의 상태가 GOOD으로 변하게 되면  $d_4$ 가 되고 에러 유무 및 채널 상태 변화에 따라 패킷이 전송된다. 이와 같이 2-상태 채널 모델을 SFG를 이용하여 표현했을 경우 패킷이 전송되기 까지 가능한 모든 상태 경로  $R_k$  ( $k=1\sim6$ )는 표 1과 같다.

$\Delta$ 는 SFG의 선도 행렬식이다. 그리고  $M_k$ 를 각각의 경로  $R_k$ 에 대한 이득의 곱,  $\Delta_k$ 는  $M_k$ 에 대한 선도 행렬식라고 하면 가능한 모든 경로에 대한  $\Delta$  및  $M_k\Delta_k$ 는 수식 (8)과 같다.<sup>[11]</sup>

$$\begin{aligned} \Delta &= 1 - (1 - p_{01})e_0z - (1 - p_{10})e_1z & (8) \\ &- p_{10}e_1p_{01}e_0z^2 + (1 - p_{01})e_0(1 - p_{10})e_1z^2 \\ M_1\Delta_1 &= \pi_0z(1 - e_0)\Delta \\ M_2\Delta_2 &= \pi_0ze_0z(1 - e_0)(1 - (1 - p_{10})e_1z) \\ M_3\Delta_3 &= \pi_0ze_0zp_{01}e_0z(1 - e_1) \\ M_4\Delta_4 &= \pi_1z(1 - e_1)\Delta \\ M_5\Delta_5 &= \pi_1ze_1z(1 - e_1)(1 - (1 - p_{01})e_0z) \\ M_6\Delta_6 &= \pi_1ze_1zp_{10}e_1z(1 - e_0) \end{aligned}$$

표 1. 2-상태 SFG에서의 패킷 전송 상태 경로  
Table 1. The packet transmission route of Two-state SFG.

상태 경로
$R_1 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{10}$
$R_2 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_4 \rightarrow d_6 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{10}$
$R_3 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_4 \rightarrow d_6 \rightarrow d_5 \rightarrow d_7 \rightarrow d_9 \rightarrow d_{10}$
$R_4 : d_1 \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_{10}$
$R_5 : d_1 \rightarrow d_3 \rightarrow d_5 \rightarrow d_7 \rightarrow d_9 \rightarrow d_{10}$
$R_6 : d_1 \rightarrow d_3 \rightarrow d_5 \rightarrow d_7 \rightarrow d_4 \rightarrow d_6 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{10}$

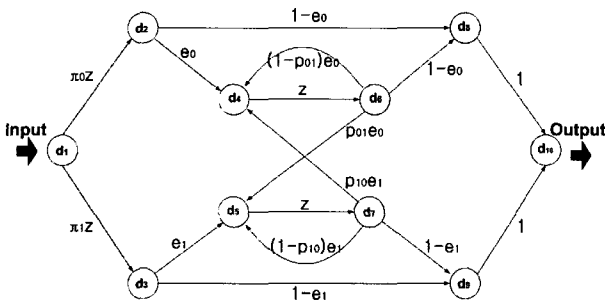


그림 3. 2-상태 채널 전송 시스템 SFG  
Fig. 3. Two-state channel transmission system SFG.

식 (8)을 이용하여 2-상태 채널에서의 전달함수  $G_2$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_2 = \sum_{k=1}^6 \frac{M_k \Delta_k}{\Delta} \Big|_{z=1} \quad (9)$$

따라서 2-상태 채널에서의 하나의 패킷이 전송되는데 소요되는 평균 시간  $\bar{T}_2$ 은 (9)식을 미분하여 (10)과 같이 얻을 수 있다.

$$\bar{T}_2 = G_2' = \sum_{k=1}^6 \left( \frac{M_k \Delta_k}{\Delta} \right)' \Big|_{z=1} \quad (10)$$

또한 2-상태 채널에서의 평균 패킷 전송 시간에 대한 분산  $V_2$ 은 (11)식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$V_2 = (G_2' + G_2'') - (G_2')^2 \Big|_{z=1} \quad (11)$$

여기서  $G_2''$  는 (9)식을 2차 미분하여 얻은 값이다.

### 2. 3-상태 SFG 모델

그림 2와 같은 3-상태 채널 모델에 대한 SFG 및 이 SFG에서 패킷이 전송되기까지 가능한 모든 신호 경로는 그림 4, 표 2와 같이 나타낼 수 있다. 그림 4에서 패킷이 전송되기 위한 단계인  $d_1$ 에서 채널의 상태에 따라 채널의 상태가 GOOD일 경우에는  $d_2$ , FAIR일 경우에는  $d_5$ , BAD일 경우에는  $d_7$ 이 된다. 그리고 시변 채널에서 전송 패킷 에러와 채널 상태 변화에 따라 패킷

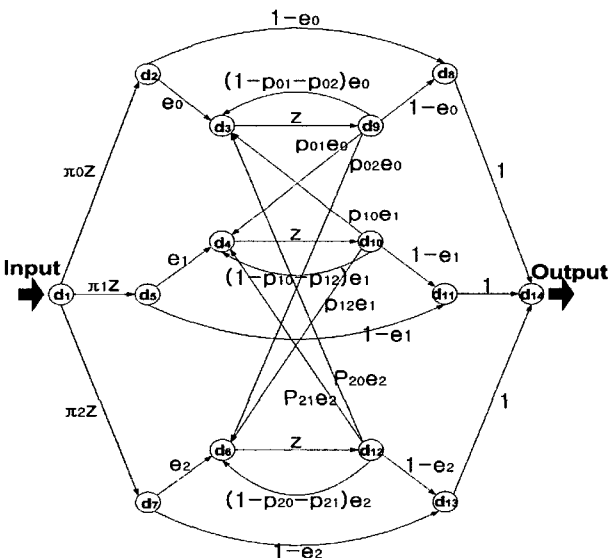


그림 4. 3-상태 채널 전송 시스템 SFG  
Fig. 4. Three-state channel transmission system SFG.

이 전송된다.

3-상태 채널 모델에서 2-상태 채널 모델과 마찬가지로 각각의 경로  $R_k$  ( $k=1\sim 18$ )에 대한 이득의 곱  $M_k$ 와  $M_k$ 에 대한 선도 행렬식,  $\Delta_k$ , 선도 행렬식  $\Delta$  값을 구하고(Appendix I 참고) 시스템 전체의 이득을 구할 수 있다. 3-상태 채널에서의 전달함수  $G_3$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_3 = \sum_{k=1}^{18} \frac{M_k \Delta_k}{\Delta} \Big|_{z=1} \quad (12)$$

3-상태 채널에서의 하나의 패킷이 전송되는데 소요되는 평균 시간  $\bar{T}_3$ 은 (12)식을 미분하여 얻을 수 있다.

$$\bar{T}_3 = G_3' = \sum_{k=1}^{18} \left( \frac{M_k \Delta_k}{\Delta} \right)' \Big|_{z=1} \quad (13)$$

또한 3-상태 채널에서의 평균 패킷 전송 시간에 대한 분산  $V_3$ 은 (14)식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$V_3 = (G_3' + G_3'') - (G_3')^2 \Big|_{z=1} \quad (14)$$

표 2. 3-상태 SFG에서의 패킷 전송 상태 경로  
Table 2. The packet transmission route of Two-state SFG.

상태 경로
$R_1 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{14}$
$R_2 : d_1 \rightarrow d_5 \rightarrow d_{11} \rightarrow d_{14}$
$R_3 : d_1 \rightarrow d_7 \rightarrow d_{13} \rightarrow d_{14}$
$R_4 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{14}$
$R_5 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_{11} \rightarrow d_{14}$
$R_6 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_{13} \rightarrow d_{14}$
$R_7 : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_{13} \rightarrow d_{14}$
$R_8 : d_1 \rightarrow d_5 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_{11} \rightarrow d_{14}$
$R_9 : d_1 \rightarrow d_5 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{14}$
$R_{10} : d_1 \rightarrow d_5 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_{13} \rightarrow d_{14}$
$R_{11} : d_1 \rightarrow d_5 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_{13} \rightarrow d_{14}$
$R_{12} : d_1 \rightarrow d_5 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{14}$
$R_{13} : d_1 \rightarrow d_7 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_{13} \rightarrow d_{14}$
$R_{14} : d_1 \rightarrow d_7 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_{11} \rightarrow d_{14}$
$R_{15} : d_1 \rightarrow d_7 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{14}$
$R_{16} : d_1 \rightarrow d_7 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_8 \rightarrow d_{14}$
$R_{17} : d_1 \rightarrow d_7 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_{11} \rightarrow d_{14}$
$R_{18} : d_1 \rightarrow d_2 \rightarrow d_3 \rightarrow d_9 \rightarrow d_6 \rightarrow d_{12} \rightarrow d_4 \rightarrow d_{10} \rightarrow d_{11} \rightarrow d_{14}$

여기서  $G''_3$  는 (12)식을 2차 미분하여 얻은 값이다.

### 3. 패킷 전송 시스템에서의 평균 패킷 전송시간 및 대기큐 길이

본 논문에서는 SFG를 이용하여 하나의 패킷이 전송 되기 위해 소요되는 평균 시간을 해석하고 이를 이용하여 시변 채널의 상태가 각각 2-상태, 3-상태일 경우, 패킷 전송 시스템에서의 평균 패킷 전송시간 및 대기큐의 길이를 구하였다.

2절에서 패킷 전송 시스템에서 패킷을 전송하면 평균 전송 시간 및 분산을 해석적으로 구하였다. 이러한 평균값과 분산을 이용하면 패킷 전송시간의 분포는 가우시안 분포로 모델링될 수 있다. 또한 패킷이 프아송 분포로 도착한다고 가정하였기 때문에 패킷 전송 시스템은 M/G/1으로 모델링할 수 있다. 따라서 M/G/1의 해석적 결과를 이용하여 평균 큐길기와 패킷 전송시간을 유도할 수 있다.

패킷이  $\lambda$ 의 비율로 도착하고 평균 패킷 전송율이  $\mu$ 라고 했을 경우 패킷 전송 시스템 이용률  $\rho_i$ 는 아래의 (15)식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho_i = \frac{\lambda}{\mu_i}, \mu_i = \frac{1}{T_i} \quad (i = 2, 3) \quad (15)$$

여기서  $i$ 는 채널의 상태의 수를 나타낸다. 즉,  $i=2$ 일 경우에는 2-상태 모델에서의 각각의 인자값들을 나타내는 것이고  $i=3$ 일 경우에는 3-상태 모델에서의 각각의 인자값을 나타내는 것이다. 패킷이 대기큐에서 소요되는 시간  $\bar{Q}_i$ 은 (15) 식과 Pollaczek-Khinchine (P-K) 공식을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{Q}_i = \frac{\lambda E_i}{2(1 - \rho_i)} \quad (16)$$

여기서  $E_i$ 은 시변 채널(2-상태, 3-상태)에서 패킷 서비스 시간분포의 2차 모멘트이다.  $E_i$ 은 다음의 수식과 같다.

$$E_i = V_i + \left(\frac{1}{\mu_i}\right)^2 \quad (17)$$

전체 시스템에서의 패킷 전송시간  $\bar{T}_i$ 은 큐에서의 평균 대기시간( $\bar{Q}_i$ )과 시변 채널 상에서의 평균 전송시간( $\bar{T}_i$ )의 합이 된다.

$$\bar{T}_i = \bar{T}_i + \frac{\lambda E_i}{2(1 - \rho)} \quad (18)$$

(16) 수식과 Little의 법칙을 이용하면 큐에 대기하는 평균 패킷의 수 즉, 대기큐의 길이  $L_i$ 는 (19)와 같이 구할 수 있다.

$$L_i = \frac{\lambda^2 E_i}{2(1 - \rho)} \quad (19)$$

## IV. 수치적 계산 및 시뮬레이션

그림 5~8은 채널의 상태가 2-상태, 3-상태일 경우 다양한 평균 PER  $e_m$ 에서 패킷 도착을 변화에 대한 평균 대기큐 길이와 평균 패킷 전송시간을 나타낸 것이다. 2-상태 채널에서의 채널 상태 변화 확률은  $p_{10}=0.7, p_{01}=0.4$ 로 설정을 하였고 3-상태 채널의 채널 상태 변화 확률은  $p_{01}=0.1, p_{10}=0.35, p_{02}=0.1, p_{20}=0.35, p_{12}=0.1, p_{21}=0.1$ 로 설정하였다.

그림 5, 그림 6을 보면 패킷 도착율이 0.1 이하인 경우에는 평균 PER  $e_m$ 에 상관없이 거의 동일한 평균 큐 길이를 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 패킷 도착율이 0.1이상 증가하게 되면 각  $e_m$ 에 따라서 패킷 전송 시스템에서 대기큐의 길이가 지수적으로 증가하게 된다. 평균 패킷 전송 시간은 고정된 상태에서 패킷 도착률  $\lambda$ 에 대해서만 영향을 받기 때문에 시스템 이용률이 1에 근접할수록 즉, 패킷의 도착률이 평균 패킷 전송률에 근접하게 되면 대기큐에 저장되는 패킷의 수가 급증하게 된다. 그림 7, 그림 8의 평균 패킷 전송시간 또한

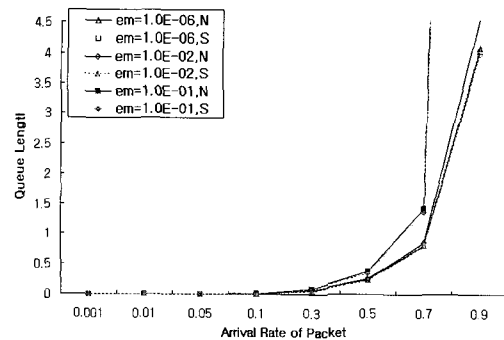


그림 5. 2-상태 채널에서의 패킷 도착을 변화에 대한 평균 대기큐 길이(N:Numerical, S:Simulation)  
Fig. 5. Average waiting queue length versus packet arrival rate change in two-state channel.

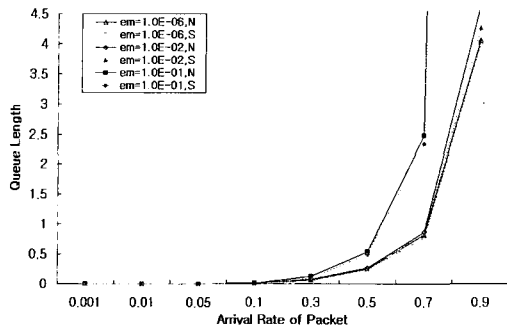


그림 6. 3-상태 채널에서의 패킷 도착률 변화에 대한 평균 대기큐 길이 (N:Numerical, S:Simulation)  
 Fig. 6. Average waiting queue length versus packet arrival rate change in three-state channel.

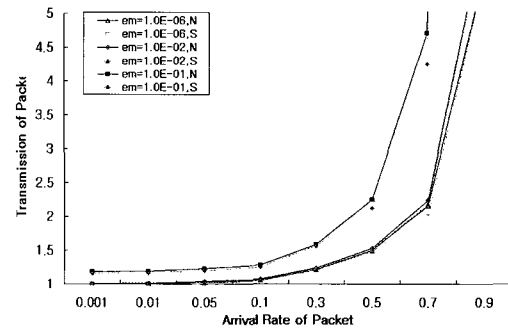


그림 8. 3-상태 채널에서의 패킷 도착률 변화에 대한 평균 패킷 전송시간 (N:Numerical, S:Simulation)  
 Fig. 8. Average packet transmission time versus packet arrival rate change in three-state channel.

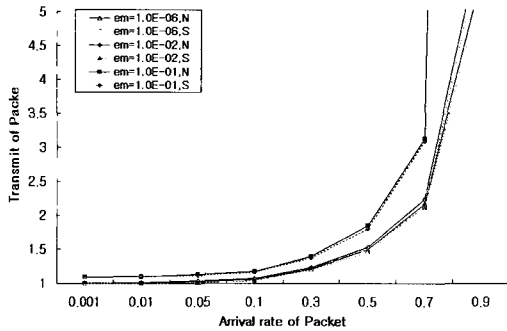


그림 7. 2-상태 채널에서의 패킷 도착률 변화에 대한 평균 패킷 전송시간(N:Numerical, S:Simulation)  
 Fig. 7. Average packet transmission time versus packet arrival rate change in two-state channel.

패킷 도착률이 0.1이상 되면 지수적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 패킷 전송 시간이 증가하는 주요 이유는 그림 5, 그림 6에서처럼 패킷이 큐에서 대기하는 시간이 길어지기 때문이다. 이와 같은 상황이 되면 패킷 전송 시스템의 불안정을 초래할 수 있기 때문에 시스템 안정을 위해서는 평균 PER에 따라서 패킷 도착율을 적절하게 제한해야 한다.

그림 9~12은 패킷의 도착률  $\lambda$ 는 0.8이고 채널의 상태가 2-상태의 GOOD과 BAD, 3-상태의 GOOD, GOOD(with error), BAD에서 각각의 채널 상태에 따른 PER는 다르지만 평균 PER  $e_m$ 은 같은 값을 가지도록 하는 조건 하에서 PER의 변화에 대한 평균 패킷 전송 시간과 평균 대기큐 길이를 보인 것이다. 즉, S1과 S2로 표시된 지표는 채널의 상태가 2-상태일 경우에 각각  $p_{10}=0.7, p_{01}=0.4$ 와  $p_{10}=0.8, p_{01}=0.2$ 를 나타낸 것이고 2-상태일 경우 S1과 S2의 GOOD일 경우의 PER는 같지만 BAD 상태의 PER의 비가 1:1.82로 S2의 PER가 크다. 또한 S3와 S4로 표시된 지표는 채널의 상태가 3-

표 3. 2-상태 채널에서의 패킷 전송시간에 대한 분산

Table 3. Variance versus packet transmission time in two-state channel.

PER $e_m$	S1 (numerical)	S1 (simulation)	S2 (numerical)	S2 (simulation)
$10^{-6}$	0.000001579	0.000001	0.000001	0.000001
$10^{-5}$	0.00001	0.000014	0.00001	0.000015
$10^{-4}$	0.000100071	0.0001371	0.000100138	0.00014486
$10^{-3}$	0.001007234	0.001387541	0.001013963	0.00162214
$10^{-2}$	0.010719685	0.014025874	0.011386845	0.01600486
$10^{-1}$	0.167631271	0.154398577	0.227823974	0.18954268

표 4. 3-상태 채널에서의 패킷 전송시간에 대한 분산  
 Table 4. Variance versus packet transmission time in three-state channel.

PER $e_m$	S3 (numerical)	S3 (simulation)	S4 (numerical)	S4 (simulation)
$10^{-5}$	0.00001	0.000011	0.00001	0.000009
$10^{-4}$	0.00010014	0.000112	0.000100	0.00009984
$10^{-3}$	0.00101548	0.00114986	0.00100	0.00097553
$10^{-2}$	0.01162426	0.01155513	0.01092	0.010001
$10^{-1}$	0.37292079	0.30248733	0.23086	0.1945873

상태일 경우에 각각  $p_{01}=0.1, p_{10}=0.35, p_{02}=0.1, p_{20}=0.35, p_{12}=0.1, p_{21}=0.1$ 와  $p_{01}=0.15, p_{10}=0.2, p_{02}=0.15, p_{20}=0.2, p_{12}=0.15, p_{21}=0.15$ 를 나타낸 것이고 S3와 S4의 GOOD일 경우의 PER는 같지만 BAD 상태의 PER의 비는 1:1.65로 S4의 PER가 크다. 그렇지만 각각의 채널 상태에서 S1과 S2, S3와 S4는 동일한 평균  $e_m$ 을 가진다.

그림 9와 그림 10을 보면 패킷 에러율이  $10^{-2}$  이하인 경우 평균 대기큐 길이의 변화는 거의 없지만 패킷 에러율이  $10^{-2}$  이상이 되면 평균 대기큐의 길이가 급

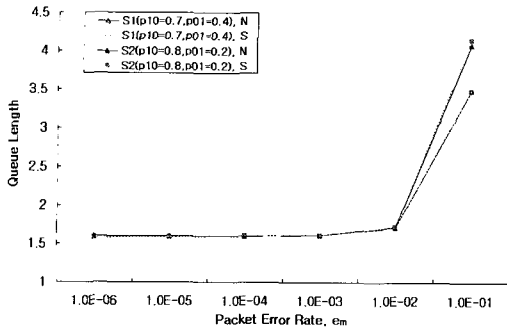


그림 9. 2-상태 채널에서의 패킷 에러율 변화에 대한 평균 대기큐 길이(N: Numerical, S: Simulation)  
 Fig. 9. Average waiting queue length versus packet error rate change in two-state channel.

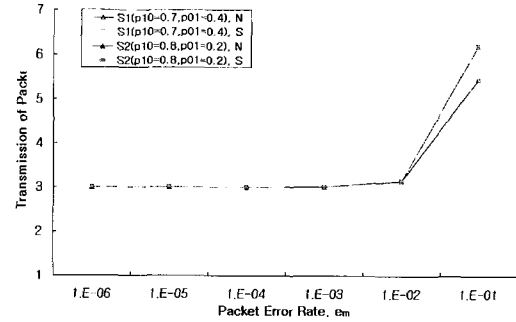


그림 11. 2-상태 채널에서의 패킷 에러율 변화에 대한 평균 패킷 전송시간(N: Numerical, S: Simulation)  
 Fig. 11. Average packet transmission time versus packet error rate change in two-state channel.

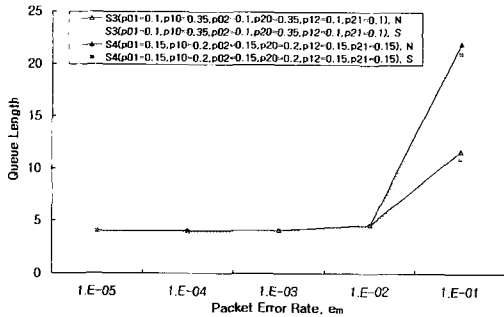


그림 10. 3-상태 채널에서의 패킷 에러율 변화에 대한 평균 대기큐 길이(N: Numerical, S: Simulation)  
 Fig. 10. Average waiting queue length versus packet error rate change in three-state channel.

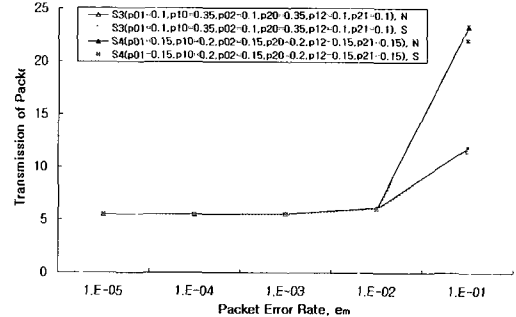


그림 12. 3-상태 채널에서의 패킷 에러율 변화에 대한 평균 패킷 전송시간(N: Numerical, S: Simulation)  
 Fig. 12. Average packet transmission time versus packet error rate change in three-state channel.

격하게 커지는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과가 나오는 이유는 표 3과 표 4에서와 같이 분산의 크기가 급격하게 커지기 때문이다.

그림 9와 그림 10에서 평균  $e_m$ 이  $10^{-2}$  이상일 경우에 S1과 S3의 평균 대기큐의 길이가 S2와 S4보다 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 11과 그림 12의 평균 패킷 전송시간도 마찬가지로  $e_m$ 이  $10^{-2}$  이상일 경우에 각각의 채널 상태에서 S1과 S3의 평균 전송시간이 S2와 S4보다 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  $10^{-2}$  이하일 경우에는  $e_m$ 으로 성능을 나타내는 것이 무의미하다. 그러므로  $e_m$ 이  $10^{-2}$  이상일 경우에는 BAD 상태일 경우의 PER을 낮추어야만 패킷 전송시간 및 대기큐의 길이가 작아지게 된다. 이 결과를 통해 각 채널의 상태에 머무르는 시간보다 각 상태의 PER가 성능에 더 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 시변 채널에 대해 2-상태, 3-상태로 구분하여

SFG를 이용하여 해석한 결과와 컴퓨터 시뮬레이션을 한 결과 평균적으로 2-상태 채널에서는 수식적 결과와 시뮬레이션 결과가 약 3%의 차이를 보였고 3-상태 채널에서는 약 5%의 오차 내에서 비슷한 결과가 나오는 것을 볼 수 있었다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선 네트워크 시변 채널 상의 패킷 단위의 전송 시스템에 대해서 패킷의 평균 전송시간 및 분산, 평균 큐길이를 해석적으로 구하였다. 기존의 다른 논문들과는 다르게 시변 채널 상태를 일반적으로 사용되는 2-상태 뿐만 아니라 좀 더 세분화 된 3-상태에 대해서 분석하였다. 채널 상태를 반영하기 위한 모델로 SFG를 사용하였다. 각각의 채널 상태 모델에 대해서 하나의 패킷에 대한 평균 전송 시간 및 분산을 구하고 프아송 프로세스로 패킷이 도착한다고 가정했을 때 패킷 전송 시스템을 M/G/1으로 모델링하여 패킷의 평균



PER의 변화 및 패킷 도착율의 변화에 따른 평균 패킷 전송시간과 대기큐의 길이에 대해 분석하였다. 패킷 도착율 변화  $\lambda$ 에 따른 평균 패킷 전송시간의 경우 2-상태 채널과 3-상태 채널 모두  $\lambda$ 의 비율이 일정 수치를 넘어설 경우 패킷이 대기큐에서 기다리는 시간이 길어짐에 따라 평균 패킷 전송시간이 지수적으로 증가하는 현상을 보였다. 그리고 패킷의 평균 PER  $e_m$ 의 변화에 따른 패킷의 전송 상태 분석 결과 패킷의 평균 PER,  $e_m$ 이 작을 경우에는 경우에는 각각의 채널 상태의 PER이 패킷 전송 성능에 영향을 주지 않지만 10-2 이상이 되면 패킷 전송성능에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다. 또한, 분석 결과를 통해서 각 채널 상태에 머무를 확률보다 각 채널 상태에서의 PER이 패킷 전송 성능에 더 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서 시변 채널을 분석 하기 위한 방법으로 SFG를 이용하고 이를 통하여 얻은 수식들의 유효성을 검증하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과 2-상태 채널, 3-상태 채널 모두 근소한 오차를 보였다. 이로부터 시변 무선 채널을 해석적으로 간단하게 구할 수 있다는 것을 보여주었다. 본 논문에서는 ARQ 기법으로 SW 방법을 적용하였으나 앞으로 GBN 또는 SR ARQ와 같은 방법을 적용하는 연구가 남아있다.

**참 고 문 헌**

[1] Fantacci. R, "Queuing Analysis of the Selective Repeat Automatic Repeat Request Protocol Wireless Packet Networks", IEEE Transactions on, Vehicular Technology, 45, Pages 258-264, Feb. 1996.

[2] Jeong Geun Kim, Krunz. M.M, "Delay Analysis of Selective Repeat ARQ for a Markovian Source Over a Wireless Channel", IEEE Transactions on, Vehicular Technology, 49, Pages 1968-1981, May. 2000.

[3] Kallel. S, "Analysis of memory and incremental redundancy ARQ schemes over a nonstationary channel", IEEE Transactions on, Communications, Volume 40, Pages 1474-1480, Sep. 1992.

[4] Cam, R, Leung. C, "Throughput Analysis of Some ARQ Protocols in the Presence of Feedback Errors", IEEE Transactions on, Communications, 45, Pages 35-44, Jan. 1997.

[5] Hayashida. Y, Maeda. A, Sugimachi. N. "Performance Analysis of Go-Back-N ARQ Scheme With Selective Repeat in Intra-Block",

IEEE Transactions on ,Communications, 50, Pages 391-395, March. 2002.

[6] Rossi. M, Badia. L, Zorzi, M. "On the delay statistics of an aggregate of SR-ARQ packets over Markov channels with finite round-trip delay", Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE, Volume 3, Pages 1773-1778 vol.3, March. 2003.

[7] Cam. R, Leung. C. "Multiplexed ARQ for Time-Varying Channels-Part I: System Model and Throughput Analysis", IEEE Transactions on, Communications, 46, 1, Pages 41-51, Jan. 1998.

[8] Fantacci. R, Zoppi. L, "Performance Evaluation of Polling System for Wireless Local Communication Networks", IEEE Transactions on, Vehicular Technology, 49, Pages 2148-2157, Jul. 2000.

[9] Cam. R, Leung. C. "Throughput analysis of some ARQ protocols in the presence of feedback errors", IEEE Transactions on ,Communications, Volume: 45, Issue: 1, Pages 35-44, Jan. 1997.

[10] Uhlemann. E, Aulin. T, Rasmussen. L.K, Wiberg. P.-A. "Concatenated hybrid ARQ - a flexible scheme for wireless real-time communication", Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2002. Proceedings. Eighth IEEE, Pages 35-44 Sept. 2002.

[11] J. S. Mason, "Feedback theory-some properties of signal flow graphs", Proc. IRE, vol. 41, pp. 1144-1156, Sept. 1953.

**APPENDIX 1**

3.2에서 3-상태 채널을 SFG로 모델링 했을 경우 각각의 경로  $R_k$ 에 대한 이득의 곱  $M_k$ 와  $M_k$ 에 대한 선도 행렬식  $\Delta_k$ , 선도 행렬식  $\Delta$  값

$$\Delta = 1 - (1 - p_{01} - p_{02})e_0z - (1 - p_{10} - p_{12})e_1z - (1 - p_{20}p_{21})e_2z - (p_{01}p_{10}e_0e_1z^2) - (p_{02}p_{20}e_0e_2z^2) - (p_{12}p_{21}e_1e_2z^2) + (1 - p_{01} - p_{02})(1 - p_{10} - p_{12})e_0e_1z^2 + (1 - p_{10} - p_{12})(1 - p_{20} - p_{21})e_1e_2z^2 + (1 - p_{01} - p_{02})(1 - p_{20} - p_{21})e_0e_2z^2 - (1 - p_{01} - p_{02})(1 - p_{10} - p_{12})(1 - p_{20} - p_{21})e_0e_1e_2z^3 + (1 - p_{01} - p_{02})(1 - p_{20} - p_{21})p_{01}p_{10}p_{12}p_{21}e_0^2e_1^2e_2^2z^6$$

$$M_1\Delta_1 = \pi_0 z(1 - e_0)\Delta$$

$$M_2\Delta_2 = \pi_1 z(1 - e_1)\Delta$$

$$M_3\Delta_3 = \pi_2 z(1 - e_2)\Delta$$

$$M_4\Delta_4 = \pi_0 z e_0 z(1 - e_0)(1 - (1 - p_{10} - p_{12})e_1 z - (1 - p_{20} - p_{21})e_2 z - p_{12}e_1 z p_{21}e_2 z) + (1 - p_{10} - p_{12})e_1 z(1 - p_{20} - p_{21})e_2 z$$

$$M_5\Delta_5 = \pi_0 z e_0 z p_{01} e_0 z(1 - e_1)(1 - (1 - p_{20} - p_{21})e_2 z)$$

$$M_6\Delta_6 = \pi_0 z e_0 z p_{01} e_0 z p_{12} e_1 z(1 - e_2)$$

$$M_7\Delta_7 = \pi_0 z e_0 z p_{02} e_0 z(1 - e_2)(1 - (1 - p_{10} - p_{12})e_1 z)$$

$$M_8\Delta_8 = \pi_1 z e_1 z(1 - e_1)(1 - (1 - p_{01} - p_{02})e_0 z - (1 - p_{20} - p_{21})e_2 z - p_{02}e_0 z p_{20}e_2 z) + (1 - p_{01} - p_{02})e_0 z(1 - p_{20} - p_{21})e_2 z$$

$$M_9\Delta_9 = \pi_1 z e_1 z p_{10} e_1 z(1 - e_0)(1 - (1 - p_{20} - p_{21})e_2 z)$$

$$M_{10}\Delta_{10} = \pi_1 z e_1 z p_{10} e_1 z p_{02} e_0 z(1 - e_2)$$

$$M_{11}\Delta_{11} = \pi_1 z e_1 z p_{12} e_1 z(1 - e_2)(1 - (1 - p_{01} - p_{02})e_0 z)$$

$$M_{12}\Delta_{12} = \pi_1 z e_1 z p_{12} e_1 z p_{20} e_2 z(1 - e_0)$$

$$M_{13}\Delta_{13} = \pi_2 z e_2 z(1 - e_2)(1 - (1 - p_{01} - p_{02})e_0 z - (1 - p_{10} - p_{12})e_1 z - p_{01}e_0 z p_{10}e_1 z) + (1 - p_{01} - p_{02})e_0 z(1 - p_{10} - p_{12})e_1 z$$

$$M_{14}\Delta_{14} = \pi_2 z e_2 z p_{21} e_2 z(1 - e_1)(1 - (1 - p_{01} - p_{02})e_0 z)$$

$$M_{15}\Delta_{15} = \pi_2 z e_2 z p_{21} e_2 z p_{10} e_1 z(1 - e_0)$$

$$M_{16}\Delta_{16} = \pi_2 z e_2 z p_{20} e_2 z(1 - e_0)(1 - (1 - p_{10} - p_{12})e_1 z)$$

$$M_{17}\Delta_{17} = \pi_2 z e_2 z p_{20} e_2 z p_{10} e_0 z(1 - e_1)$$

$$M_{18}\Delta_{18} = \pi_0 z e_0 z p_{02} e_0 z p_{21} e_2 z(1 - e_1)$$

---

 저 자 소 개
 

---



김 상 용(정회원)

2002년 강원대학교 전자공학과  
학사 졸업.

2004년 강원대학교 제어계측  
공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : 무선통신, 데이터  
통신, 매체제어>



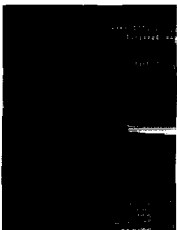
박 흥 성(정회원)

1983년 서울대학교 제어계측  
공학과 학사 졸업.

1986년 서울대학교 제어계측  
공학과 석사 졸업.

1992년 서울대학교 제어계측  
공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 무선데이터통신, 실시간통신, 매체  
제어 분석>



오 훈(정회원)

1981년 성균관대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1992년 텍사스 A&M대학교  
전산학 석사

2004년 텍사스 A&M대학교  
전산학 박사

<주관심분야 : 실시간운영체제, 무선통신프로토  
콜, 이동통신>



리 비탈리(정회원)

2001년 하바로브스크대학교  
응용수학과 학사 졸업.

2004년 강원대학교 제어계측  
공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : Ad-hoc network,  
라우팅, 무선통신>