

---

# Markovian 간섭 신호하에서의 Stop-and-Wait ARQ Protocol의 성능 분석

김성일\* · 신병철

Analysis of Stop-and-Wait ARQ Protocol under Markovian interruption

Seong-II Kim\* · Byoung-Cheol Shin

---

이 논문은 2003년도 한국과학재단 목적기초연구과제(R01-2003-000-11620-0)지원으로 수행되었습니다.

---

## · 요 약

Markovian 신호의 간섭(interruption)하에서 Stop-and-Wait ARQ protocol을 적용한 패킷 데이터 다중화기의 성능을 분석한다. 시스템 모델을 살펴보면 입력 프로세스는 Poisson 프로세스로, 출력 채널은 연속되는 시간 슬롯(slot)으로 분할되고 데이터 패킷은 이 슬롯시간 동안에 전송된다. 이 시스템에서, 프레임 시간은 왕복지연시간으로 정의되었다. 이 모델에서 출력 채널은 Markovian 간섭에 의해 데이터 전송이 중단되는 blocking state와 간섭이 없는 non-blocking state로 구분된다. Markovian 간섭신호를 고려하면서, 2개의 연속적인 프레임이나 slot사이에 베퍼 상태에 관한 관계식을 고려하여 전체적인 시스템이 분석되었다. 분석된 자료값이 시뮬레이션과 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

## ABSTRACT

The performance of a packet data multiplexer with stop-and-wait ARQ protocols under Markovian interruption is considered in this work. It is assumed that the input process into the system is Poisson process, and that the output channel is divided into a series of time slots and a data packet can be transmitted in a slot time. In this system, the round-trip propagation delay is defined to be the frame time. It is modeled that the output channel can be blocked by some Markovian interruption, whose state change between the blocking and non-blocking states is given by Markov process. The overall system has been analyzed by constructing a relationship, taking the Markovian interruption into account, about the buffer behavior between the successive frames of slots. The validity of this analytical results has been verified by computer simulation.

## 키워드

Markovian interruption, Stop-and-Wait protocol, z-변환, available · blocked state

## I. 서 론

본 논문에서는 하나의 링크에서 데이터 패킷과 Markovian 신호를 전송하는 통신 시스템을 고려하였다. Markovian 신호는 데이터 패킷보다 높은

우선권을 가지고 있다고 가정하고, 이런 이유로 데이터 패킷에 대해서 간섭(interruption) 신호처럼 동작한다.

그러므로 Markovian 신호가 존재하지 않을 때에는 데이터 패킷이 전송 가능하다. 반대로 Ma-

---

\*충북대학교

접수일자 : 2003. 11. 18

rkovian 신호가 존재하는 동안 데이터 패킷은 블록킹되어 전송되지 못한다.

전송에러를 탐지하고 수정하는 데에는 여러 가지 방법이 있다. 그 중 하나는 에러를 교정하기 위해서 많은 체크 비트를 추가하는 방법이다. 이 방법은 흔히 FEC(Forward Error Correction)라 불리는며, 데이터 네트워크에는 그다지 많이 적용하고 있지 않다. 그 이유는 에러 정정을 하는데 많은 비트가 추가로 필요하기 때문이다. 그 대신에 일반적으로 에러 검출시 재전송하는 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 에러정정방식을 채택하고 있다. 이 ARQ 프로토콜에서는 수신단에서 오류없이 수신하면 ACK(Acknowledgement)를 수신 데이터에 오류가 있으면 NACK(Negative ACK) 신호를 수신단으로 통보한다.

ARQ 프로토콜에는 stop-and-wait(SW), go-back -N(GB(N)), selective repeat(SR) ARQ protocols이 있다. SW ARQ protocol에서는 송신단에서 데이터 패킷을 보낸 후에, 수신단으로부터 ACK/NACK 신호를 기다린 다음 그에 따라 다음 전송을 시도한다. 이 프로토콜은 단순하고 쉽게 구현될 수 있다. 그러나 SW ARQ는 처리량이 상대적으로 낮은 단점을 가지고 있다. 다음으로 GB(N) ARQ protocol에서는, 송신자는 이전에 보내진 데이터 패킷의 ACK신호를 받기 이전이라도 다음의 데이터 패킷들을 전송할 수 있다. 그러나 ACK없이 전송할 수 있는 데이터 패킷의 최대수는 N개 이상이 될 수 없다.

SR ARQ protocol은 송신자가 이전에 전송된 데이터 패킷에 대한 ACK 신호를 받기 전이라도 다음 데이터 패킷을 전송할 수 있다는 점에서 GB(N) 기술과 유사하다. 그러나 SR ARQ 프로토콜은 GB(N) 프로토콜과는 다른 면이 있다. 예를 들면, 전송 오류가  $j$ -th 패킷에 일어날 때, 시퀀스 번호가 높은 모든 데이터 패킷을 전송하는 대신에 에러가 발생한  $j$ -th 데이터 패킷만 다시 전송한다. 이 3개의 ARQ 기법 중에서 SR ARQ는 가장 높은 결과를 얻을 수 있으나, 수신기에서 복잡한 재정렬(Resequencing) 과정이 요구된다.

ARQ 프로토콜은 많은 연구가 진행되어 왔다. Modified SW ARQ와 GB(N) ARQ 프로토콜에서

는 채널 처리 능력을 향상시키기 위한 연구가 수행되었으며[3][4], 한정된 버퍼와 SR 프로토콜들을 다룬 것은 [5]-[7]에서 고려되었다. ARQ에 대한 제어에 관련해서 순방향 또는 역방향 채널 메모리의 영향은 가장 단순한 Markovian 블록 오류 패턴이라고 불리는 block-level 모형을 개발하여 연구되었다[8]. 에러 정정 기법을 포함한 몇몇 코딩 기법들은 ARQ 프로토콜들의 성능을 개선하기 위하여 오류 검출 기법과 결합되기도 하였다[9]-[12]. Towsley 등은 SW ARQ 그리고 연속적인 ARQ 프로토콜에서 서비스 시간과 버퍼 동작에 대해 연구하였다[13]. 또한 채널 오류율의 변환에 마코프 과정에 의해서 주어지는 ARQ 프로토콜들의 버퍼에 대한 연구도 수행되었다.[14]

Konheim[15],과 Anagnostou[16]는 SR ARQ 프로토콜의 큐잉 동작을 분석하였다: 패킷이 전송된 것을 기억하기 위해서, 주어진 슬롯에서 패킷이 전송되었는지 아닌지를 시스템에 표시해 놓았으며. 이 연구에서는 정확한 분석과 근사해법 2가지가 제시되었다. Maan A. Kousa 등은 시간에 따라 변화하는 채널 상태에 따라 해밍코드의 rate를 일치시키는 방법을 연구하였다[17]. 또 다른 연구에서는[18], 효율적인 변조 기술을 이용한 ARQ 기법이 제안되었는데 m번 연속적으로 전송하는 방식이 제안되었다. 그리고 Gerard R. Pieris[19]은 two-state Markov 체인 패킷 모형에서의 go-back-∞ 프로토콜을 연구하였다. 그리고 비독립적인 채널 오류에서의 ARQ 성능은 Deng-Lin Lu에 의해서 수행되었다. 그들의 연구에서 비독립적인 채널 오류에는  $k$ -th order Markovian 에러와 gap에러의 2가지 타입이 고려되었다. R. H. Deng[20]은 two-state- Markov 모형에 기초한 베스트 형태의 채널 잡음상에서 point-to-multipoint 통신에 관련된 2가지의 Hybrid ARQ 기법으로 hybrid go-back-N(HGB-N)과 hybrid selective-repeat를 제안했다. 또 다른 연구에서는 정적이지 않은(nonstationary) 채널을 two-state Markovian로 모델링한 상태에서 Punctured convolutional code를 사용한 일반화된 Type II ARQ 기법을 연구하였다[21]. 제안된 Simple memory ARQ 기법은 열악한 채널 조건에서의 실질적인

처리 능력이 개선된 것을 보여 준다. S.R Kim과 C.K Un은 순방향 채널 그리고 역방향 채널이 Markov에 의해 특성들을 가지고 있는 시스템에서 처리 능력을 분석하였다[22]. M.Yoshimotos는 연결형 ARQ 프로토콜의 효율을 분석을 연구 하였는데, 그 연구에서는 송신기에 도착한 각 메시지는 몇몇 패킷으로 나누어진다. 그 패킷은 GN(N) ARQ 혹은 SR ARQ 프로토콜에 따라서 수신기에 계속적으로 전송된다.

본 논문에서는 Markovian interruption 상에서의 ARQ를 연구해 보고자 한다. 통합된 네트워크에서, 데이터 패킷들에 대하여 작용하는 Markovian 간섭의 한 예는 음성 신호이다. 그것은 on/off pattern의 되풀이 되는 시퀀스로 모델링 될 수 있다. 그리고 on/off 신호의 지속 기간은 각각 다른 지수 분포를 가지고 있는 것으로 알려졌다[23].

본 논문의 구성을 전체적으로 소개를 하면, Markovian interruption 상에서 다중화 시스템의 모델 토론은 2장에서 하며, 3장에선 SW ARQ protocol의 성능을 분석한다. 수치적은 결과값은 4장에서 다루고, 마지막으로 5장에서는 결말을 내린다.

## II. 모델

아래 그림1은 데이터 패킷 전송시스템의 전체적인 시스템 모델을 보여주고 있다. 단위 시간당 평균  $\lambda$ 개의 패킷이 발생하며, 발생하는 패킷수의 분포는 Poisson 분포로 주어진다. 도착하는 패킷은 input 버퍼  $Q_x$ 에 저장되며 수신단으로 전송하기 위해서 순차적으로 채널로 보내지며, 동시에 Auxiliary 버퍼에 저당된다. 수신데이터에 오류가 없는 경우에는 ACK 신호가, 오류가 있는 경우에는 NACK 신호가 각각 송신단으로 보내진다. ACK 신호가 오는 경우 송신단은 보조버퍼에 저당되어  $Q_x$ 의 맨 앞에 저당하고 재전송을 시도한다.

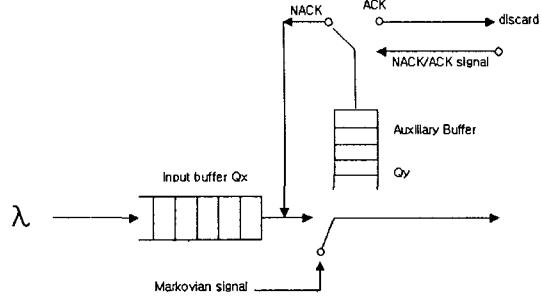


그림 1. 시스템 모델

ARQ 프로토콜을 사용하는 통신 시스템의 베피동작을 연구하기 위하여 다음과 같이 가정한다.

1) 송신기에서의 베피 크기는 무한하다고 가정하고 따라서 데이터 패킷에 대한 오버플로우는 없다.

2) 송신시간은 시간슬롯의 연속된 반복으로 구성된다. 데이터 패킷의 크기는 고정되어 있고, 하나의 데이터 패킷은 하나의 시간슬롯내에 전송된다고 가정한다.

3) 프레임시간 ' $f$ '는 데이터 패킷의 전송시작부터 그 패킷에 관한 응답신호가 올 때까지의 왕복지연시간이며 소요되는 시간슬롯의 갯수로 표시된다.

4) 데이터 패킷은 슬롯시간이 시작하는 순간에 송신단에 도착한다고 가정한다. 각 슬롯 시간당 도착하는 데이터 패킷수는 IID(independent and identically distributed) 랜덤변수로 가정한다. 이것은 Poisson 프로세스로 아래식과 같이 주어 질수 있다.

$$P(k) = \frac{\exp(-\lambda)\lambda^k}{k!}$$

여기서  $\lambda$ 는 한개의 슬롯시간에 도약하는 데이터 패킷 개수의 평균값이고  $P(k)$ 는  $k$ 개의 패킷이 도착할 확률이다. 한 슬롯내에 도착하는 패킷수의  $z$ -변환은 다음과 같이 주어진다.

$$D(z) = \sum_{k=0}^{\infty} P(k)z^k = \exp[\lambda(z-1)]$$

5) Brady[23]에 따르면, 음성신호는 Talkspurt와 묵음(Silence)가 번갈아 반복되는 것으로 볼 수 있으며, 이중 Talkspurt의 길이는 지수 분포를 띠며(i.e.  $f_T(T) = e^{-\alpha t}$ ,  $\alpha > 0$ ), Silence의 길이는 상수에다 지수 분포를 더한 것으로 볼 수 있다는 것이 알려졌다. 우리는 여기서 근사기법을 도입하여 음성을 2-state Markovian Process로 모델링하며, 각각의 state에 머무는 시간의 분포는 각각 다른 파라메타로 주어진다고 가정한다. Markovian 간섭신호의 예는 바로 음성신호가 될 수 있다. 이 음성신호는 실시간 전송이 중요하므로 먼저 전송되어야 하며 따라서 데이터 패킷에는 본 연구에서 도입한 Markovian 간섭신호로 작용한다. 그런데 그림2(a)에서 보이는 것처럼 “Available(A)” 및 “Blocked(B)”의 2개의 state로 Markovian 간섭신호를 모델 할 수 있다.

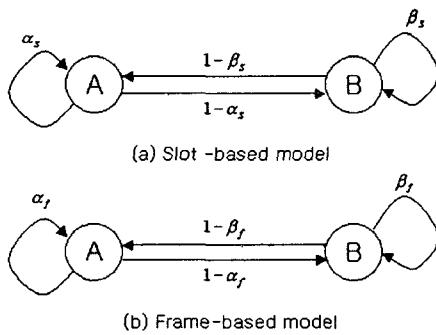


그림 2. 두개의 Markovian 처리 동작모델

위와 같이 가정하면, 그림2에서 state A는 출력 채널이 데이터 전송을 위해 유효(Available)한 것을 나타낸다. 그리고 state B는 출력 채널이 데이터 전송에 대해 블로킹(Blocking)한다는 것을 표시하고 있다. 기호  $\alpha_s$ 는 출력 채널이 현재 슬롯 시간동안 state A에 있으면서 다음 슬롯시간에도 역시 state A에 있을 확률을 말한다. 마찬가지로 ' $\beta_s$ '는 현재 슬롯시간이 state B에 있으며 다음 슬롯시간에도 역시 state B에 머물 확률이다. 이 통신 시스템에서 연속적으로 유효하게 되는 기간에 관한 PDF함수는 IID 랜덤 변수로 주어지는데 그 함

수는  $P_A(m) = (1 - \alpha_s)\alpha_s^{m-1}, 0 < \alpha_s < 1, m = 1, 2, \dots$  과 같이 주어진다. 또한 통신 시스템에서 연속적으로 블로킹되는 구간도 IID 랜덤 변수로 주어지며, 그 길이가 m이 될 PDF 함수는  $P_B(m) = (1 - \beta_s)\beta_s^{m-1}, 0 < \beta_s < 1, m = 1, 2, \dots$  오 k같이 주어진다. 위의 식에 대응되는 z-변환을 각각  $P_A(z), P_B(z)$ 로 표시한다. 통계적으로 Available구간 길이와 Blocked 구간 길이는 독립적이다.

6) 채널 에러 확률은  $p$ 이며, 성공적으로 전송할 가능성  $q$ 는  $q = 1 - p$ 로 추정할 수 있다.

7) ACK/NACK 신호는 분리된 별도의 feedback 채널을 통해 송신단으로부터 수신단으로 전송된다. 그리고 이 feedback 채널에는 채널 에러와 Markovian interruption 신호는 존재하지 않는 것으로 가장한다.

8) 송신단에서 흐름제어를 하기 위한 윈도우 크기는 무한하거나 왕복전달 지연보다 훨씬 더 크다. 이것의 의미는, 만약 전송할 데이터 패킷이 존재하면, 이 데이터 패킷을 흐름 제어에 의해 정지시킬 수 없다는 뜻이다.

9) 송신단 버퍼의 패킷을 수신단으로부터 ACK가 돌아오는 순간에 버리는 것이 합리적이나 해석의 편이상 전송하는 순간에 버퍼에서 사라진다고 가정한다.

### III. Stop-and-Wait ARQ Protocol 분석

이번 장에서는 SW ARQ protocol의 버퍼 동작에 대해서 연구하고자 한다. 이 프로토콜에서는 전송단이 최소한의 전송시간 동안 다음 전송을 시작하기 전에 적어도 ACK/NACK 신호가 도달할 때까지, 즉 프레임 시간만큼 기다리는 것이다. 따라서 이 알고리즘에서는 모든 데이터 패킷이 순서대로 수신단으로 전송된다.

2장에서는 Markovian 프로세스의 슬롯을 기본으로 하는 전송 확률에 대해서 논의를 했다. 그러므로 이 프레임을 기본으로 한 그림2(b)와 같은 Markovian 모델은 슬롯을 기본으로 한 모델에서 유도된다. 확률  $\alpha_f$ 는 시스템이 프레임 시간이전에 state A 상태에 있고 다시 state A에 남아 있을

시스템 확률이다. 그리고  $\beta_f$ 는 시스템이 프레임 시간이전에 state B 상태에 있고 다시 state B에 남아 있을 시스템 확률이다. 그리고 다음식처럼 슬롯을 기본으로 하는 파라미터  $\alpha_s$ 와  $\beta_s$ 에서도 값 을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \alpha_f & 1 - \alpha_f \\ 1 - \beta_f & \beta_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_s & 1 - \alpha_s \\ 1 - \beta_s & \beta_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 ' $f$ '는 슬롯에서 프레임 기간을 나타낸다.

$A(z)$ 와  $B(z)$ 는 시스템이 각각 state A와B에 있을 때의 버퍼동작을 표시한다. 추가로  $t_n$ 은 n번째 시간 프레임에서 시작되는 순간을 나타낸다. 만약 시간  $t_n$ , 과  $t_{n+1}$ 이 둘다 시스템의 state A에 속한다고 가정하면, 버퍼 점유도  $A_n, A_{n+1}$ 은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$A_{n+1} = [A_n - 1]^+ + C_n \quad (2)$$

$x \geq 0$ 이면  $[x]^+ = x$ 이고,  $x < 0$ 이면  $[x]^+ = 0$ , 그리고  $C_n$ 은 n-th번째 시간 프레임동안 전송단에 도착한 패킷수다.  $C(z) = D((Z))^f = \exp\{f\lambda(z-1)\}$ 로 주어지며, 매우 큰수 n에 대해  $A_n, A_{n+1}$ 는 A로 변환할수 있다. 그리하여 식(2)의 PGF함수는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$A_{n+1}(z) = \frac{A_n(z) + (z-1)A_n(0)}{z} C(z)$$

$$A(z) = \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} C(z) \quad (3)$$

Markovian interruption의 지속기간이 지난후 버퍼의 동작에서 n-th 시간 프레임에서는 blocked되고 (n+1)th 시간 프레임에서는 데이터 전송이 available하다고 가정해 본다. 그러면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$A_{n+1} = B_n + C_n \quad (5)$$

윗식에서  $B_n$ 은 n-th time frame의 블록되었다

는 조건하에서 n-th 시간 프레임에서의 버퍼 점유도이다. 윗식으로부터 PGF 함수는 다음과 같이 구해진다:

$$A_{n+1}(z) = B_n(z)C(z) \quad (6)$$

윗식에서 큰 수 n에 대해  $A_{n+1}(z), B_n(z)$ 이 각각 n에 상관없는  $A(z), B(z)$ 로 전환될 수 있으며 다음과 같은 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$A(z) = B(z)C(z)$$

시스템이 2개의 프레임시간동안 연속적으로 state A에 머무는 경우와 어떤 프레임시간에 시스템이 state A에 머물러 있는 경우, 한 프레임 이전에는 시스템이 state A나 state B에 버퍼 동작이 한개의 프레임시간동안에 state B에서 state A로 전환할 경우를 둘다 고려하면 state A에서의 버퍼 점유도 확률분포는 다음과 같이 주어진다:

$$A(z) = \left\{ \alpha_f \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} + (1 - \beta_f)B(z) \right\} C(z) \quad (7)$$

비슷한 절차를 따라 처리하면, state B에서의 버퍼 점유율의 확률분포도는 다음과 같이 나타낸다.

$$B(z) = \left\{ (1 - \alpha_f) \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} + \beta_f B(z) \right\} C(z) \quad (8)$$

매트릭스 형태로  $A(z)$ 와  $B(z)$ 을 적어보면,

$$\begin{bmatrix} A(z) \\ B(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_f \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} + (1 - \beta_f)B(z) \\ (1 - \alpha_f) \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} + \beta_f B(z) \end{bmatrix} C(z) \quad (9)$$

방정식 (9)을  $A(z)$ 와  $B(z)$ 에 관하여 풀면 다음과 같이 된다.

$$A(z) = \frac{A(0)(z-1)E(z)}{z - E(z)} \quad (10)$$

$$B(z) = \frac{(1 - \alpha_f)C(z)}{1 - \beta_f C(z)} \frac{A(0)(z-1)}{z - E(z)} \quad (11)$$

$$F(z) = \left\{ \alpha_f + \frac{(1 - \alpha_f)(1 - \beta_f)C(z)}{1 - \beta_f C(z)} \right\} C(z)$$

위식에서  $E(z)$ 는 state A에 속하는 2개의 시간 슬롯 사이에 도착하는 패킷의  $Z$ -변환을 나타내는데, 이는

$$E(z) = C(z) \left\{ \alpha_f + (1 - \alpha_f) \sum_{n=1}^{\infty} (1 - \beta_f) \beta_f^{n-1} C^n(z) \right\}$$

로 표시할 수 있다. 이 2개의 슬롯은 바로 옆에 인접할 수도 있고 Silence기간을 사이에 두고 인접할 수도 있다.

전체시스템을  $A$ 와  $B$ 로 나타내어지기 때문에,  $A(1) + B(1) = 1$ 이 된다. 방정식 (9)은 채널에러가 존재하지 않을 때 성립한다.

지금부터는 잡음에 대한 고려를 해본다. 채널 잡음의 삽입으로 식(9)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A(z) \\ B(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_f \left\{ q \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} + pA(z) \right\} + (1 - \beta_f)B(z) \\ (1 - \alpha_f) \left\{ q \frac{A(z) + (z-1)A(0)}{z} + pA(z) \right\} + \beta_f B(z) \end{bmatrix} C(z) \quad (12)$$

위식의 오른쪽 첫 번째 줄 중괄호 안에 있는 2개의 항목은 두 개의 경우를 표시한다.: 첫 번째는 채널에러가 발생하지 않았을 때의 버퍼상태를 나타내고, 두 번째는 채널에러가 발생할 때의 버퍼상태를 나타낸다. 블로킹 기간동안의 버퍼상태  $B(z)$ 도 식(12)에 보는 바와 같이 비슷한 식으로 표시된다.

식(12)를  $A(z)$ 와  $B(z)$  관해서 풀면,

$$A(z) = \frac{(z-1)A(0)F(z)q}{z - (q + zp)F(z)} \quad (13)$$

$$B(z) = \frac{(1 - \alpha_f)C(z)}{1 - \beta_f C(z)} \frac{q(z-1)A(0)}{z - (p + zq)F(z)} \quad (14)$$

과 같이 표시되고, 위식에서  $F(z)$ 는 다음과 같이 주어진다:

$A(z)$ 는 state A에서의 버퍼상태를 나타내므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A(1) = \frac{1/(1 - \alpha_f)}{1/(1 - \alpha_f) + 1/(1 - \beta_f)} = \frac{1 - \beta_f}{(1 - \alpha_f) + (1 - \beta_f)} \quad (15)$$

윗식에서  $1/(1 - \alpha_f)$ 와  $1/(1 - \beta_f)$ 는 각각 state A와 state B 구간의 평균 길이로 표시된다. 그리고 윗식으로부터 L'Hopital 정리에 의해서 식(13)에서의  $A(0)$ 의 값을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} A(1) &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{1 + (z-1)F(z)}{1 - pF(z) - (q + zp)F(z)} qA(0)qA(0) \\ &= \frac{1}{1 - p - F(1)} qA(0) \\ &= \frac{1}{1 - p - f\lambda(2 - \alpha_f - \beta_f)/(1 - \beta_f)} qA(0) \end{aligned} \quad (16)$$

윗식에서  $F(z)$ 와  $F(1)$ 은 아래와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} F(z) &= (1 - \alpha_f)(1 - \beta_f) \frac{C(z)C(z)}{\{1 - \beta_f C(z)\}^2} \\ &\quad + \left\{ \alpha_f + \frac{(1 - \alpha_f)(1 - \beta_f)C(z)}{1 - \beta_f C(z)} \right\} C(z), \end{aligned} \quad (17)$$

$$F(1) = f\lambda \frac{2 - \alpha_f - \beta_f}{1 - \beta_f} \quad (18)$$

그리므로 우리는  $A(0)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A(0) = \frac{1 - \beta_f}{2 - \alpha_f - \beta_f} \left( 1 - p - f\lambda \frac{2 - \alpha_f - \beta_f}{1 - \beta_f} \right) \frac{1}{q} \quad (19)$$

SW ARQ protocol에서 전체적인 버퍼 동작  $N_{sw}(z)$ 와 그의  $N'_{sw}(z)$  그리고 평균버퍼 점유도  $N'_{sw}(1)$ 은  $A(z)$ 와  $B(z)$ 로부터 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} N_{sw}(z) &= A(z) + B(z) \\ &= \frac{q(z-1)A(0)}{z - (q+zp)F(z)} \left\{ F(z) + \frac{(1-\alpha_f)C(z)}{1-\beta_f C(z)} \right\}, \end{aligned} \quad (20)$$

$\overline{W_{sw}}$ 은 Little's Law에 의해서 다음과 같이 구해진다.

$$\overline{W_{sw}} = N_{sw}(1)/\lambda \quad (26)$$

$$\begin{aligned} N'_{sw}(z) &= \frac{z - (q+zp)F(z) - (z-1)\{1-pF(z) - (q+zp)F(z)\}}{\{z - (q+zp)F(z)\}^2} \\ &\times A(0)q \left\{ F(z) + \frac{(1-\alpha_f)C(z)}{1-\beta_f C(z)} \right\} \\ &+ \frac{q(z-1)A(0)}{z - (q+zp)F(z)} \left[ F(z) + \frac{(1-\alpha_f)C(z)}{\{1-\beta_f C(z)\}^2} \right], \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} N'_{sw}(1) &= \left[ \frac{2pF'(1) + F''(1)}{2\{1-p-F(1)\}^2} \left( 1 + \frac{1-\alpha_f}{1-\beta_f} \right) \right. \\ &\left. + \frac{1}{1-p-F(1)} \left\{ F'(1) \frac{C(1)(1-\alpha_f)}{(1-\beta_f)^2} \right\} \right] qA(0) \end{aligned} \quad (22)$$

윗식에서  $F''(z)$ 와  $F''(1)$ 은 아래와 같이 주어진다:

$$\begin{aligned} F''(z) &= \alpha_f C''(z) + \frac{(1-\alpha_f)(1-\beta_f)}{\{1-\beta_f C(z)\}^3} \\ &\times \{1-\beta_f C(z)\} \{C'(z)(2C(z)-\beta_f C^2(z)) + 2(C(z))^2(1-\beta_f C(z))\} \\ &+ 2\beta_f \{C(z)\}^2 \{2C(z)-\beta_f C^2(z)\}, \end{aligned} \quad (23)$$

$$F'(1) = C'(1) \frac{2-\beta_f-\alpha_f}{1-\beta_f} + 2 \{C(1)\}^2 \frac{1-\alpha_f}{(1-\beta_f)^2} \quad (24)$$

윗식에서  $\sigma^2$ 은 분산(Variance)으로서  $\sigma^2 = m_2 - m_1^2$ 으로 주어지며,  $m_j$ 는 랜덤 변수의  $j$ -th moment를 나타낸다. SW ARQ protocol에서 버퍼점유도의 variance  $\sigma_{sw}^2$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_{sw}^2 = N'_{sw}(1) + N'_{sw}(1) - \{N'_{sw}(1)\}^2 \quad (25)$$

그림1에서 출력 버퍼 큐  $Q_x$ 의 평균 대기 시간

#### IV. 수치 결과

Markovian interruption 신호에서  $\alpha_s$ 와  $\beta_s$ 는 어떤 값도 사용될 수 있지만, 본 연구에서는 Markovian 간섭의 신호원으로서 단일 음성을 선택하였다. 그리고 데이터 신호보다 음성신호가 더 높은 우선권을 가지고 전송된다고 가정한다. 이 논문에서 연구하는 파라미터 값들은 Brady[23]에 대해서 제시한 값들이다.

average duration of available state : 1800ms,  
average duration of blocked state : 1300ms,  
slot time : 6.25 ms

그러면  $1.8 = 1/(1-\alpha_f)$ ,  $1.3 = 1/(1-\beta_f)$ 에서  $\alpha_f = 0.9861$ ,  $\beta_f = 0.9808$ 로 구할 수 있다. 이 값들로부터 Markovian interruption을 적용한 ARQ 재전송 기법의 큐 동작을 계산한다.

그림3(a)은 SW ARQ protocol에서 데이터 큐의 평균 버퍼 점유를 보여 주고 있다. 이것은 여러 확률  $p$ 와 프레임 시간  $f$ 를 사용하여 슬롯 시간에서의 패킷 도착수의 함수로 평균버퍼 점유도를 표현한 것이다. 그림3(b)로부터 평균 버퍼 점유는 채널 에러 확률과 트래픽 밀도가 증가하면 따라 증가한다는 것을 알 수 있다. 그림3(b)은 평균도착 패킷수의 함수로 SW ARQ protocol의 대기 시간을 슬롯시간의 배수로 보여주고 있다. 이 대기 시간은 Little's Law로부터 얻을 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 대기 시간은 트래픽 밀도가 증가하면 같이 증가한다. 본 논문에서의 해석결과 수치를 검증하기 위하여 프레임 시간에 4개의 슬롯 시간으로 주어지는 경우에 시뮬레이션을 수행하였다. 그림4에서 보듯이 분석과 시뮬레이션은 비교적 서로 일치하고 있다.

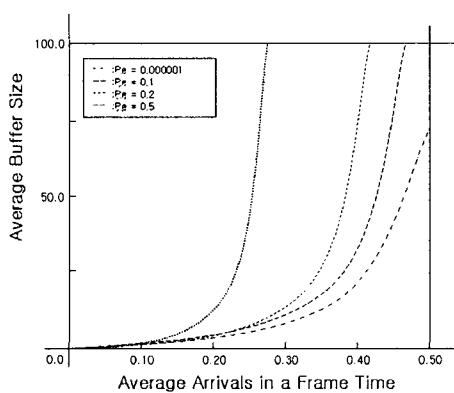


그림 3(a). 평균 간격과 버퍼의 관계

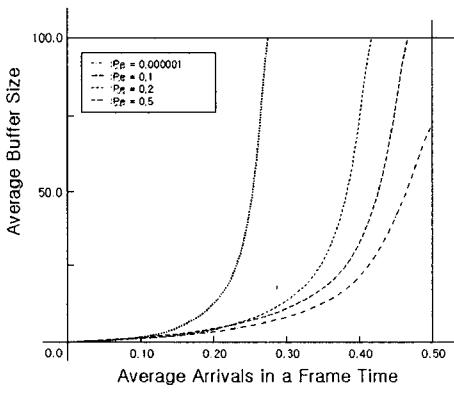


그림 3(b). 평균 간격과 대기의 관계

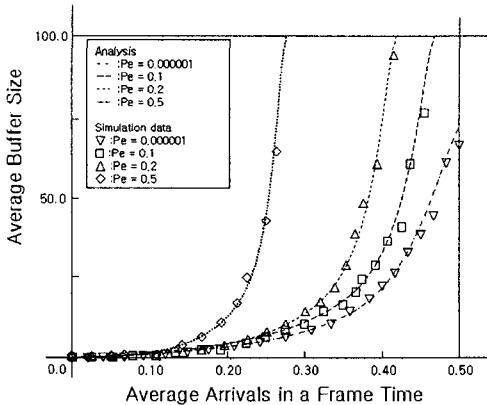


그림 4. 프레임시간내 평균도착율에 평균버퍼 분석

## V. 결론

본 논문에서는 Markovian 간접하에 Stop-and-Wait ARQ protocol에 대해서 성능 분석을 하였다. 버퍼는 무한하며, 각 시간슬롯당 데이터 도착 수는 Poisson process로 처리했으며, 이 시스템 상태는 Markovian interruption의 존재 유무에 따라 state A과 state B로 구분하였다. state A과 state B구간의 길이 분포는 각각 자신의 고유 파라메터를 갖고 있는 지수 분포로 주어진다.

본 SW ARQ에서는, 한 슬롯시간 동안에 한개의 패킷이 전송되고, 한 프레임시간 동안에도 전송된 패킷에 상응하는 ACK/NACK 신호가 송신 단에 되돌아 온다. 그리고 이 시스템 상태는 2개의 상태로 구분된다. 즉 프레임시간에 근거하여 state A와 state B로 구분된다. 이 state A과 state B 구간에서의 버퍼 점유 분포는 z-변환으로 나타냈으며, 평균 버퍼 점유와 평균대기 시간은 분포 함수로부터 구하였다.

## 참고 문헌

- [1] 전화숙, 무선 멀티미디어 통신을 위한 링크 계층 프로토콜에서의 재전송기법, 정보과학회논문지(A) 1999년 5월, vol.26, No. 5, pp. 602-608.
- [2] 한상섭, 무선 센서 네트워크에서의 동적 FEC 기법 구현, 한국정보과학회 학술발표논문집 (C) 2003년 4월, pp. 271-273.
- [3] J. M. Morris, "On another go-back-N ARQ technique for high error rate conditions," IEEE Trans. Commun, vol.COM-26, No. 1, Jan. 1978, pp. 187-189.
- [4] H. Bruneel and M. Moenenclaeay, "On the throughput performance of some continuous ARQ strategies with repeated transmission," IEEE Trans. Commun, vol.COM-34, No3, March 1986, pp 244-249.
- [5] E. J. Weldon, Jr., "An improved selective-repeat ARQ strategy," IEEE Trans. Commun, vol. COM-34, No.3, March 1984, pp. 480-486.
- [6] Y. Chang and C. Leung, "On Weldon's ARQ strategy," IEEE Trans. Commun., vol.

- COM-32, No.3, March 1984, pp. 297-299.
- [7] M. J. Miller and S. Lin, "The analysis of some selective-repeat ARQ schemes with finite receiver buffer," IEEE Trans. Commun., vol.COM-29, No.9, Sep. 1981, pp. 1307-1315.
- [8] Y. J Cho, C. K. Un, "Performance analysis of ARQ error controls under Markovian block error pattern," IEEE Trans. Commun., vol.42, No.2, Feb. 1994, pp. 2051-2061.
- [9] S. Lin and P. S. Yu, "A hybrid ARQ scheme with parity retransmission for error control of satellite channels," IEEE Trans. Commun., vol COM-30, No.7, July 1982, pp 1701-1719.
- [10] Y. M. Wang and S. Lin, " A modified selective repeat type-II hybrid ARQ system and its performance analysis," IEEE Trans. Commun., vol COM-31, No.5, May 1983, pp. 593-607.
- [11] G. Benelli, "An ARQ scheme with memory and soft error detectors," IEEE Trans. Commun., vol.COM-33, No.3, March 1985, pp. 285-288.
- [12] T. Kasami, T. Fujisawa, and S. Lin, "A concatenated coding scheme for error control," IEEE Trans. Commun., vol.COM-34, No. 5, May 1986, pp. 481-488.
- [13] D. Towsley and J. K. Wolf, "On the statistical analysis of queue lengths and waiting times for statistical multiplexers with ARQ retransmission," IEEE Trans. Commun., vol.COM-27, No.4, April 1979, pp. 693-701.
- [14] Don Towsley, "A statistical analysis of ARQ protocols operating in a nonindependent error environment," IEEE Trans. Commun., vol.COM-29, No.7, July 1981.
- [15] A. G. Konheim, "A queueing analysis of two ARQ protocols," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, No.7, July 1980, pp. 1004-1014.
- [16] M. E. Anagnostou and E. N. Protonotarios, "Performance analysis of the selective repeat ARQ protocol," IEEE Trans. Commun., vol.COM-34, No.2, Feb. 1986, pp. 127-135.
- [17] Maan A. kousa and Mushfigur Rahman, "An adaptive error control system using hybrid ARQ scheme," IEEE Trans. Commun., vol.39, No. 7, July 1991, pp. 1049-1057.
- [18] Romano Fantacci, "Performance evaluation of some ARQ scheme using efficient modulation techiques and noncoherent detection," IEEE Trans. Commun., vol.39, No. 3, March 1991, pp. 445-451.
- [19] Gerard R. Pieris and Galen H. Sasaki, "Performance of the Go-Back-∞ protocol under correlated packet losses," IEEE Trans. Commun., vol.41, No. 5, May 1993, pp. 660-663.
- [20] R. H. Deng, "Hybrid ARQ schemes for point-to-multipoint communication over nonstationary broadcast channels," IEEE Trans. Commun., vol.41, No. 9, Sep. 1993, pp. 1379-1387.
- [21] Samir Kallel, "Analysis of memory and incremental redundancy ARQ schemes over a nonstationary channel," IEEE Trans. Commun., vol.40, No. 9, Sep. 1992, pp. 1474-1480.
- [22] S. R. Kim and C. K. Un, "Throughput analysis for two ARQ schemes using combined transition matrix," IEEE Trans. Commun., vol. 40, No 11, Nov. 1992, pp. 1673-1679.
- [23] P. T. Brady, "A technique for investigating on-off patterns of speech," Bell Syst. Tech. J., vol.44 Jan. 1965, pp. 1-22.

### 저자 소개



김성일(Seong-II Kim)

2002년 2월 군산대학교 전파공학

과 졸업

2002년~현재 충북대학교 전파공학

과 석사과정

※ 관심분야 : 무랜 보안, 보안과 암호,



신병철(Byoung-Cheol Shin)

1975년 2월 서울대학교 전기공학  
과 학사 졸업

1977년 2월 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 석사 졸업

1984년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박  
사 졸업

1977년 2월 1980년 2월 한국전자통신원 연구원

1984년 3월~1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전  
자공학부

1994년 3월~현재 충북대학교 전기전자공학부

※ 관심분야 : 이동통신, 위성통신, 무선랜 보안,  
Embedded system