

전송 지연시간을 고려한 Type-I Hybrid ARQ 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Type-I Hybrid ARQ System Considering Transmission Delay Time

조치원 · 유흥균

Chi-Won Cho · Heung-Gyoon Ryu

요 약

보다 신뢰적인 정보전송을 위하여 데이터 에러를 제어하기 위한 ARQ 기법의 연구는 중요하다. 특히 위성 통신에서는 긴 전송 지연시간에 의하여 성능의 차이가 크게 나타나므로, 본 논문에서는 전송 지연시간을 중심으로 프레임의 길이, 채널용량, BER의 변화에 따른, SR ARQ와 기존의 고정된 코딩율을 갖는 type-I hybrid ARQ 방식의 성능분석을 하였다. Type-I hybrid ARQ 방식에 사용되는 FEC(Forward Error Control) 방식으로는 BCH 코드를 사용하였고 BCH 코드율과 Window 크기, 데이터 속도 등 여러 가지 파라미터에 따른 throughput을 분석하였다. 특히 기존의 SAW(Stop and Wait) ARQ의 식을 바탕으로 전송지연시간이 고려된 type-I hybrid ARQ의 성능 관계식을 유도하였다. 다양한 전송 지연시간이 고려된 type-I hybrid ARQ의 성능을 수치해석과 더불어 시뮬레이션을 통해 분석하여, 중요한 특성 결과를 얻게 되었다.

Abstract

A study on the ARQ scheme of data error control is important for more reliable information transmission. Since performance difference is large by the long transmission delay time in satellite communication, the performances of SR ARQ and conventional type-I hybrid ARQ with fixed code rate are investigated by using the parameters of packet length, channel capacity, BER, and transmission delay time especially. BCH code is used in type-I hybrid ARQ for FEC method. This paper presents the throughput analyses according to such various parameters as BCH code rate, window size, data rate and round-trip delay time. Especially we derive a performance equation of type-I hybrid ARQ with the factor of the transmission delay time using the equation of SAW ARQ. Also, the performance of type-I hybrid ARQ specially considering transmission delay time is analyzed through numerical analysis and computer simulation so we can get a important characteristics variation.

충북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 990309-025

· 수정완료일자 : 1999년 5월 17일

I. 서 론

정보 통신에서, 통신의 신뢰성을 확보하기 위해 주로 ARQ 방식이 많이 사용된다. ARQ 방식에는 SAW(stop and wait), GBN(go back N), SR(selective repeat) ARQ 방식이 있으며 그중 성능이 우수한 SR ARQ 방식을 주로 사용한다. ARQ 방식은 FEC 방식에 비해 대역폭의 효율 면에서 유리하나, ARQ(Automatic Repeat Request) 방식은 채널환경이 나빠짐에 따라서 성능이 급격히 나빠지게 되므로 이러한 점을 개선하기 위해 FEC(Forward Error Control) 방식을 ARQ방식과 접목하여 사용한다^{[1],[2]}. 이러한 방식을 hybrid ARQ방식이라 하며, hybrid ARQ 방식에는 크게 나누어서 hybrid type-I ARQ, hybrid type-II ARQ 방식으로 분류할 수 있다^{[3]~[5]}. hybrid type-I ARQ 방식은 에러를 검출하기 위한 코드와 에러를 정정하기 위한 코드로 이루어져 있으며, 수신기에서, 먼저 에러정정을 시도한 뒤, 만약 에러를 정정할 수 없는 에러 패턴을 검출하였을 때 수신기는 ARQ를 사용하여 재전송을 요구한다. 이때 채널환경이 나빠지게 되면 성능은 급격히 나빠지게 된다. hybrid type-II ARQ 방식은 두 개의 코드율을 갖는 Adaptive Coding 방식이다. 채널 조건이 좋을 때, 높은 코드율이 에러 검출을 위해 사용된다. 재전송 요구 시에, 리턴던트 패리티 비트는 수신기로 보내지고, 에러를 정정하기 위해 낮은 코드율을 만들기 위해 이미 전송되어진 블록과 합쳐지게 된다.

본 논문에서는 기존의 연구에서 구체적인 결과를 보이지 않았던 연구로서, 전송 지연 시간을 중심으로 고려한 type-I hybrid ARQ 방식에 대한 전송효율(throughput)을 구하였다. 특히 위성 채널과 같이 전송 지연시간이 긴 경우는 성능의 차이를 크게 나타낸다. 또한 SR ARQ 방식과 type-I hybrid ARQ 방식에 있어서 전송 지연시간, 프레임의 길

이, 데이터율 등의 파라미터를 고려하여 성능분석을 하였다. SR ARQ와 type-I hybrid ARQ 방식에서 에러검출을 위해 CRC-16 코드를 사용하였으며 type-I hybrid ARQ에 사용한 FEC 코드는 BCH코드를 사용하였다.

II. SR ARQ와 type-I hybrid ARQ 시스템 파라미터

AWGN 환경 하에서 Coherent BPSK 변조방식을 갖는 시스템에 대해 고려하였다.

그림 1은 프레임 전송시의 타이밍 도를 나타내고 있다. 편의상 하나의 프레임만을 나타내고 있다. T_0 부터 T_1 는 프레임을 전송하기 위해 준비하는데 걸리는 시간이고 T_1 부터 T_2 는 한 프레임을 전송하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 여기서 한 프레임을 전송하는데 걸리는 시간 t 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t = \frac{n}{R_b} \tag{1}$$

여기서 n = 한 프레임의 길이(bits), R_b = 전송 데이터율을 의미한다.

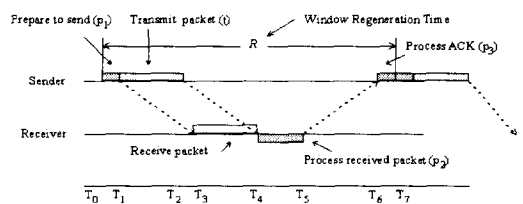


그림 1. 프레임 전송을 위한 타이밍도(Window Size = 1)

T_2 인 시간에 프레임의 마지막 비트가 송신기를 떠나고, T_3 인 시간에 전송된 프레임의 첫번째 비트가 수신기에 도착한다. 따라서 전파지연시간 $d = T_3 - T_1$ 으로 주어진다. 수신기에서 프레임의

마지막 비트는 T_4 인 시점에서 도착하고 T_5 인 시점에서 이 프레임은 처리가 완료되고 송신기로 ACK/NACK를 전송한다. 따라서 프레임의 처리시간 $T_5 - T_4$ 가 된다. 송신기는 전파지연시간 d 초 후에 T_6 시점에서 ACK/NACK 신호를 받으며 T_7 인 시점에 ACK/NACK 신호의 처리를 완료한다. 따라서 $T_7 - T_6$ 는 ACK/NACK를 처리하는데 걸리는 시간을 의미한다. 그림 1에서와 같이 한 프레임을 처리하는데 걸리는 전체시간은 다음과 같이 주어진다^[6].

$$R = w(p_1 + t) + p_2 + p_3 + 2d \quad (2)$$

여기서 R 은 한 프레임을 송, 수신하는데 걸리는 전체시간을 의미하고, w 는 window 크기, t 는 한 프레임을 전송하는데 걸리는 시간, p_1 는 프레임을 전송하기 위한 준비시간, p_2 는 수신된 프레임의 처리시간, p_3 는 송신기에서 ACK/NACK신호를 처리하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 또한 p_1, p_2, p_3 의 물리적 의미는 프로세서의 스피드가 100 MHz 인 경우로 가정되었을 때의 값을 의미한다^[6].

III. Transmission delay time를 고려한 SR ARQ 와 Type-I Hybrid ARQ 시스템의 Throughput

그림 2는 에러검출을 위한 C_1 코드로 CRC-16을 사용하고, 에러정정을 위한 C_2 코드는 BCH 코드를 사용한 에러제어 시스템 구조를 나타내고 있다. 먼저 SR ARQ에 대한 throughput를 먼저 고려한 후 type-I hybrid ARQ에 대한 throughput를 분석하였다.

먼저 지연시간이 고려되지 않은 기존의 ARQ 시스템의 분석에 사용된 SAW, GBN, SR ARQ에 대한 식은 다음과 같다^[7].

SAW의 block duration으로 표현된 평균전송시간과 throughput은 식 (3) 및 (4)와 같다.

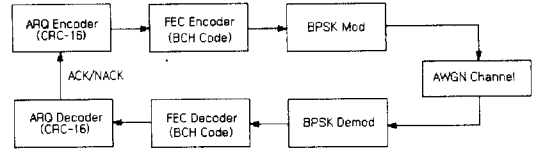


그림 2. 에러 제어 시스템 구조

$$T_{SAW} = (1 + DR_b/n)P_{ACK} + 2(1 + DR_b/n) \cdot P_{ACK}(1 - P_{ACK}) + 3(1 + DR_b/n)P_{ACK} (1 - P_{ACK})^2 + \dots = \frac{1 + DR_b/n}{P_{ACK}} \quad (3)$$

$$\eta_{saw} = \frac{1}{T_{SAW}} \left(\frac{k}{n} \right) = \frac{P_{ACK}}{1 + DR_b/n} \left(\frac{k}{n} \right) \quad (4)$$

여기서 $D = p_1 + p_2 + p_3 + 2d$, R_t =데이터율, P_{ACK} = 전송한 프레임이 ACK일 확률, k =순수한 데이터의 길이(bits), $n = k + \text{redundant bits}$ 를 나타낸다.

GBN의 평균전송시간과 throughput은 식 (5)와 (6)과 같다.

$$T_{GBN} = 1P_{ACK} + (N + 1)P_{ACK}(1 - P_{ACK}) + (2N + 1)P_{ACK}(1 - P_{ACK})^2 + \dots = 1 + \frac{N(1 - P_{ACK})}{P_{ACK}} \quad (5)$$

$$\eta_{GBN} = \frac{1}{T_{GBN}} \left(\frac{k}{n} \right) = \frac{P_{ACK}}{P_{ACK} + (1 - P_{ACK})N} \left(\frac{k}{n} \right) \quad (6)$$

SR ARQ의 평균전송시간과 throughput은 식 (7)과 (8)로 주어진다.

$$T_{SR} = 1P_{ACK} + 2P_{ACK}(1 - P_{ACK}) + 3P_{ACK}(1 - P_{ACK})^2 + \dots = \frac{1}{P_{ACK}} \quad (7)$$

$$\eta_{SR} = \frac{1}{T_{SR}} \left(\frac{k}{n} \right) = \left(\frac{k}{n} \right) P_{ACK} \quad (8)$$

위의 식을 그림 1의 시간지연의 요소를 고려하여 새로운 수식을 유도하면 다음과 같다.

하나의 프레임을 전송하는데 $(1 + DR_b/n)$ block duration이 걸리므로 이 식을 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$1 + \frac{DR_b}{n} = \frac{n + DR_b}{n} = \frac{R_b(t+D)}{R_b t} = \frac{R}{t} \quad (9)$$

여기서, $w = 1$ 인 경우,

$$R = p_1 + t + p_2 + p_3 + 2d,$$

$$D = p_1 + p_2 + p_3 + 2d \text{이다.}$$

따라서 식 (9)를 이용하여 SAW ARQ의 평균 전송시간과 throughput을 구하면 식 (10), 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} T_{SAW} &= \left(\frac{R}{t}\right) P_{ACK} + 2\left(\frac{R}{t}\right) P_{ACK}(1 - P_{ACK}) \\ &+ 3\left(\frac{R}{t}\right) P_{ACK}(1 - P_{ACK})^2 + \dots \\ &= \frac{R}{t} \frac{1}{P_{ACK}} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\eta_{saw} = \frac{1}{T_{SAW}} \binom{k}{n} = \frac{t}{R} P_{ACK} \binom{k}{n} \quad (11)$$

SR ARQ의 throughput은 식 (12)와 같다^[6].

$$\begin{aligned} \eta_{SR} &= \left(\sum_{i=1}^w \binom{w}{i} (P_{ACK})^{w-i} (1 - P_{ACK})^i \right. \\ &\cdot \left. \left(\frac{(w-i)t}{R_1} + P_{ACK}^w \frac{wt}{R_1} \right) \binom{k}{n} \right) \\ &= \left(\frac{wt}{R_1} (1 - P_{ACK})^w - \frac{t}{R_1} \left(\sum_{i=1}^w \binom{w}{i} \right. \right. \\ &\cdot \left. \left. (P_{ACK})^{w-i} (1 - P_{ACK})^i \right) + P_{ACK}^w \frac{wt}{R_1} \right) \\ &\cdot \binom{k}{n} = \frac{wt}{R_1} - \frac{wt(1 - P_{ACK})}{R_1} \\ &= \frac{wt}{R_1} P_{ACK} \binom{k}{n}, \quad w < \frac{R_1}{t} \text{일 때} \quad (12) \end{aligned}$$

여기서, $R_i = i(p_1 + t) + p_2 + p_3 + 2d$, $i = 1, 2, 3, \dots, w$ 이다.

변조방식은 coherent BPSK방식으로 가정하고, type-I hybrid ARQ의 에러를 검출하기 위한 코드는 CRC-16을 사용하고 에러를 정정하기 위한 코드는 BCH 코드를 사용하였다.

AWGN 환경 채널의 비트 에러 확률은 다음과 같다^[8].

$$p_c = Q\left(\sqrt{\frac{2(k/n)E_b}{N_0}}\right) \quad (13)$$

BCH 코드의 에러 정정 능력을 $ec = \lfloor (d_{min} - 1)/2 \rfloor$ 라고 했을 때 프레임의 에러날 확률은 다음과 같이 주어진다^[9].

$$p_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=ec+1}^n i \binom{n}{i} p_c^i (1 - p_c)^{n-i} \quad (14)$$

여기서 P_c 는 채널 비트 에러율이다.

따라서 SR ARQ방식을 사용한 type-I hybrid ARQ의 throughput은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \eta_{type-I} &= (1 - p_{BCH}) \left(\frac{wt}{R_1} \right) \binom{k}{n} \\ &= P_{ACK} \left(\frac{wt}{R_1} \right) \binom{k}{n} \end{aligned} \quad (15)$$

IV. 파라미터에 따른 Type-I hybrid ARQ의 성능

본 논문에서의 수치해석과 시뮬레이션에 대한 조건은 BPSK 변복조는 동기식으로 가정되었습니다. 또한 FEC 코더로서 BCH코드를 선택하여 수치해석 및 시뮬레이션을 시행하였습니다. 또한 채널환경은 AWGN환경으로 가정되었으며 CRC-16 코드를 사용하였습니다.

그림 3은 에러 검출을 위해 CRC-16을 사용하고, 에러 정정능력이 4인 BCH(127,99) 코드를 사용하였으며, 윈도우 크기=3, $R_b=100$ Kbps, $R_c=$

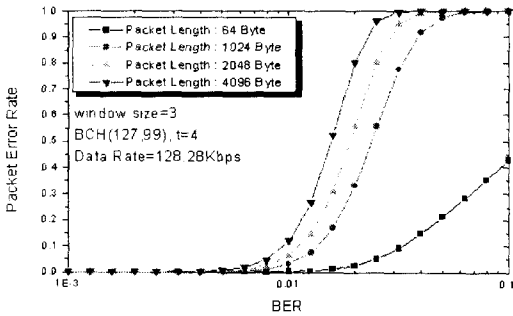


그림 3. 패킷 길이의 변화에 따른 패킷의 에러 확률

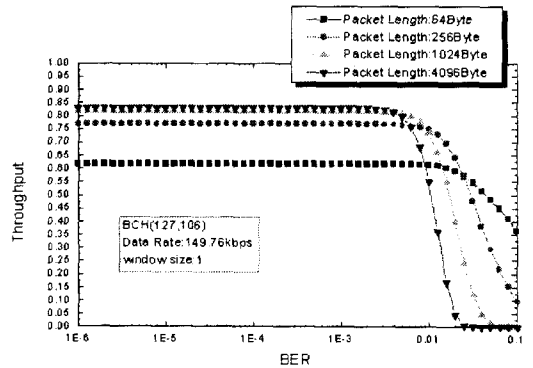


그림 5. 패킷의 길이의 변화에 따른 BER대 Throughput(type-I hybrid ARQ)

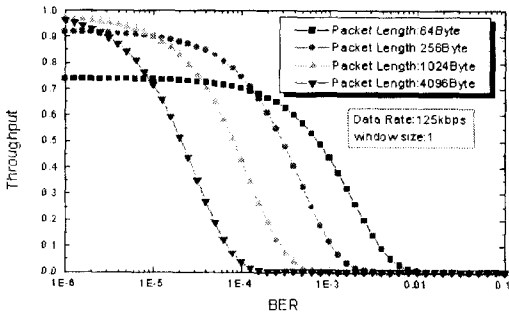


그림 4. 패킷의 길이의 변화에 따른 BER대 Throughput(SR ARQ)

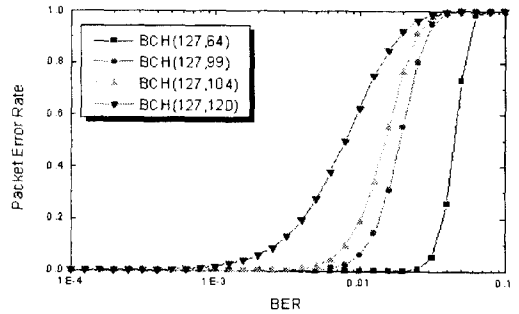


그림 6. BCH 코드율의 변화에 따른 BER에 대한 패킷 에러 확률

128.28 Kbps, $p_1 = 0.00004$, $p_2 = 0.0002$, $p_3 = 0.0004$ (파라미터 p_1 , p_2 , p_3 의 값은 [6]에서 인용), $d = 0.333$ 인 파라미터를 이용하여 BER의 변화에 따른 패킷의 에러율을 보이고 있다. 그림 3에서 패킷의 길이가 클수록 패킷의 에러율이 증가함을 알 수 있다.

그림 4는 SR ARQ에 대한 BER대 throughput의 성능을 나타내고 그림 5는 type-I hybrid ARQ에 대한 BER대 throughput 성능을 나타내고 있다. 그림 4와 그림 5는 $p_1 = 0.00004$, $p_2 = 0.0002$, $p_3 = 0.0004$, $d = 3.3333 \times 10^{-4}$ 인 파라미터를 사용하였으며, 그림 5는 에러 정정능력이 3인 BCH(127, 106)인 코드를 사용하였다. 그림 4와 그림 5 모두에서 패킷의 길이가 길수록 낮은 BER환경에서는 성능이 우수하지만 높은 BER에서는 길이가 짧은 패킷이 보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 또

한 SR ARQ를 사용한 그림 4보다 type-I hybrid ARQ를 사용한 그림 5의 throughput 성능이 높은 BER 환경에서 우수함을 확인할 수 있다.

그림 6, 그림 7, 그림 8은 BCH(127, 64), BCH(127, 99), BCH(127, 104), BCH(127,120)인 코드를 사용하였으며, 패킷 길이 2048 바이트, 윈도우 크기 5, $p_1 = 0.00004$, $p_2 = 0.0002$, $p_3 = 0.0004$, $d = 0.3333$, 코딩하기 전의 데이터율은 100 Kbps를 사용하였다. 그림 6에서 코드율이 낮을수록 동일한 BER에 대해 낮은 PER(Packet Error Rate)를 나타내고 있다. 따라서 BCH 코드의 에러 정정능력이 높을수록 PER(Packet Error Rate)가 낮음을 확인할 수 있다. 그림 7은 채널 환경이 나쁠 때보다 낮은 코드율을 갖는 FEC 코드를 선택하는 것이

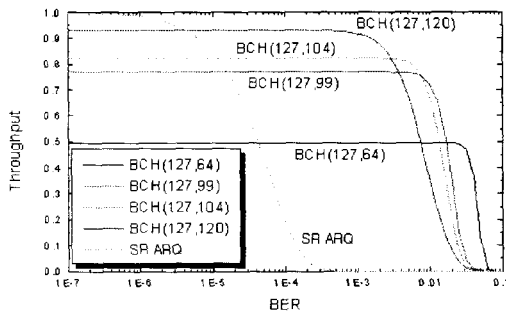


그림 7. BCH 코드율의 변화에 따른 BER에 대한 Throughput

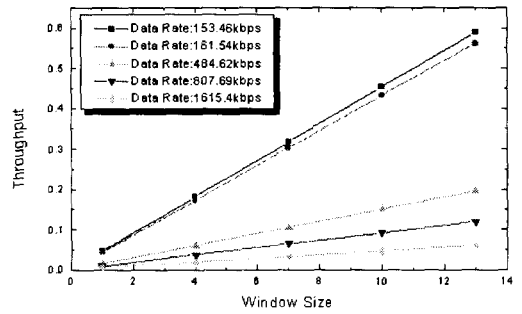


그림 9. 윈도우 크기의 변화에 따른 Throughput의 성능

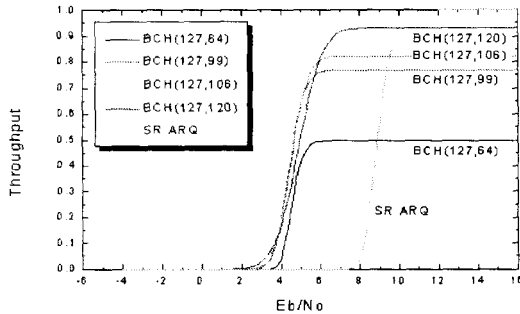


그림 8. BCH 코드율에 따른 E_b/N_0 에 대한 Throughput

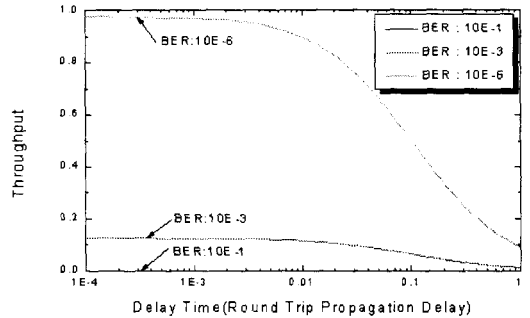


그림 10. SR ARQ에서 왕복지연시간($2d$)에 따른 Throughput

유리함을 나타내고 있다. 그림 8은 BPSK 변조방식을 사용하였을 때 그림에서 알 수 있듯이 순수한 SR ARQ 방식보다는 채널 코딩을 적용한 type-I hybrid ARQ방식의 성능이 낮은 E_b/N_0 에 대해 우수함을 알 수 있다.

그림 9는 윈도우의 크기와 throughput의 관계를 나타내고 있다. 사용한 코드는 BCH(63,39), 에러정정능력 4, BER = 10^{-2} , PER = 0.00963인 조건하에서 데이터율을 변화시켜가면서 throughput 성능을 구하였다. Throughput 성능은 데이터율이 낮을수록 윈도우의 크기에 큰 영향을 받으며 데이터율이 높을수록 윈도우의 크기에 덜 민감함을 알 수 있다.

그림 10과 그림 11은 순수한 전파지연시간($2d$)에 따른 SR ARQ와 type-I hybrid ARQ의 throughput 성능을 나타내고 있다. 그림 10에서 사

용된 파라미터는 데이터율 100 Kbps, 패킷길이 256 Byte를 사용하였으며 BER 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-6} 에서의 throughput을 각각 나타내고 있다. 그림 10은 FEC 코딩을 사용하지 않은 순수한 SR ARQ방식이며, CRC-16을 사용하였다. 그림의 결과에서, BER이 낮을수록 높은 throughput을 나타내고 있다. BER 10^{-1} 에서는 PER(Packet Error Rate)값이 높기 때문에 거의 throughput이 0의 값을 나타내고 있다. 그림 11은 BCH(127,64) 코딩을 사용한 type-I hybrid ARQ방식을 나타내고 있으며 데이터율 198.44 Kbps, 에러 정정능력 10, 패킷의 길이는 256 Byte를 사용하였다. 그림 11에서는 BER의 값이 10^{-3} 보다 낮은 값에서는 throughput의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이것은 type-I hybrid ARQ에서의 FEC를 사용했기 때문이며, BER 10^{-1}

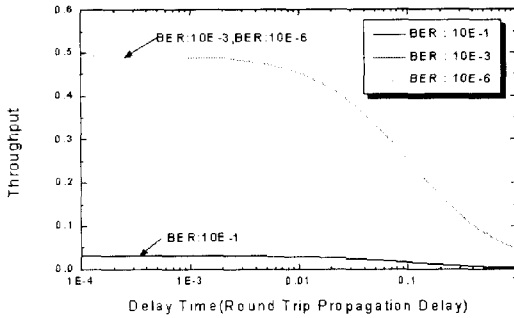


그림 11. type-I hybrid ARQ에서 왕복지연시간(2d)의 변화에 따른 Throughput

에서는 PER(Packet Error Rate)의 값이 너무 높기 때문에 throughput이 매우 낮음을 확인할 수 있다. 또한 그림 10에서는 BER의 변화에 따라서 throughput이 많이 변함을 알 수 있으나 그림 11에서는 BER이 변하더라도 throughput이 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 즉 BER 0.1인 경우에는 PER(Packet Error Rate)의 에러 확률이 너무 높아 type-I hybrid ARQ의 경우나 SR ARQ의 경우나 throughput이 거의 0에 가까우나 BER이 0.01 이하인 경우 type-I hybrid ARQ의 경우는 거의 일정한 throughput 성능을 유지하고 있음을 알 수 있다.

그림 12와 그림 13은 정지위성에 대한 시간지연을 고려한 throughput을 나타내고 있다. 정지위성의 최소지연시간(2d의 최소값)과 최대지연시간(2d의 최대값)은 식 (16)과 식 (17)과 같다^[10].

$$T_{\min} = 2(h/c) = 238[\text{ms}] \quad (16)$$

여기서 $h=35786.1$ km, $c = 3 \times 10^8$ m/s 이다.

$$T_{\max} = (2(h + R_E) \cos 8.7^\circ) / c = 278[\text{ms}] \quad (17)$$

여기서 적도반경, $R_E = 6378.1$ km이다.

그림 12와 그림 13은 BCH(127,64), 에러정정능력 10, CRC-16, 패킷길이는 256 Byte를 사용하였

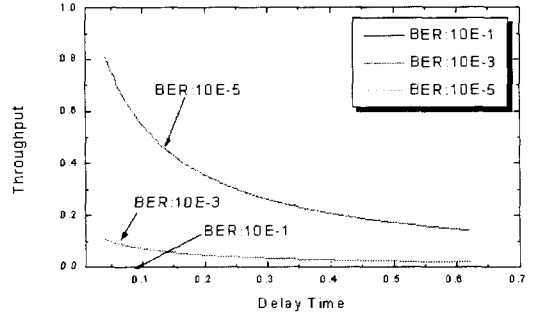


그림 12. 지연시간이 긴 경우(정지위성의 경우)의 Throughput(SR ARQ)

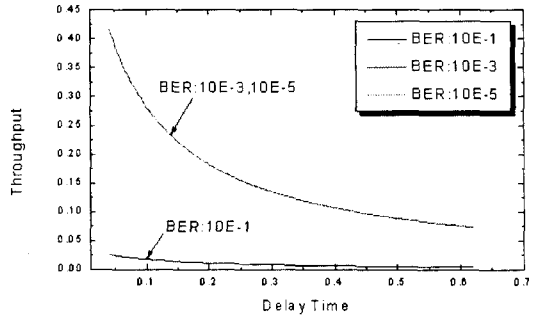


그림 13. 지연시간이 긴 경우(정지위성의 경우)의 Throughput(type-I hybrid ARQ)

고, $p_1=0.00004$, $p_2=0.0002$, $p_3=0.0004$, $t=0.0206$ 초이다. 최소 왕복지연시간은 238ms, 최대 왕복지연시간은 278ms이다. 그림 12와 그림 13의 x축의 지연시간은 $p_1 + p_2 + p_3 + 2d + t$ 이다. 그림 12는 전송 데이터율 100 Kbps, SR ARQ의 경우에 대한 throughput을 나타내고 있다. 그림 12의 결과에서 BER이 낮은 경우 PER(Packet Error Rate)가 낮기 때문에 throughput성능이 우수함을 알 수 있으며 BER= 10^{-1} 인 경우 PER이 1이 되므로 throughput은 0이 된다. 그림 13은 전송 데이터율은 198.44 Kbps인 type-I hybrid ARQ방식의 throughput을 나타내고 있다. 그림의 결과에서 BER= 10^{-3} 이하인 경우 throughput이 동일함을 알 수 있다. 이것은 BCH코딩으로 인해 얻어진 에러정정 능력 때문에 PER값이 0이 되기 때문이다.

V. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 14는 패킷 길이 2048 byte, 윈도우 크기 1, BCH(127,106), 에러정정능력 3, 데이터율 119.81 Kbps, $p_1=0.00004$, $p_2=0.0002$, $p_3=0.0004$, $t=0.1683$, $d=0.0033$ 인 환경에서의 throughput을 나타내고 있다. 2 dB이하인 경우와 5 dB 이상인 경우의 throughput은 거의 일치하며 그 사이에 있는 값에 대해 오차가 발생하였다. 이는 긴 시뮬레이션 시간으로 인해 데이터 샘플의 수를 작은 값을 선택함으로써 발생되었을 것으로 고려된다.

그림 15와 그림 16은 패킷길이 256 Byte, $p_1=0.00004$, $p_2=0.0002$, $p_3=0.0004$, 윈도우 크기 2, BCH(127,64), 에러정정능력 10, 데이터율 198.44 Kbps인 조건하에서 type-I hybrid ARQ의 throughput에 대한 수치해석과 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 그림 15에서 $E_b/N_0=2$ dB 이하일 때는 거의 throughput이 0에 가까운 것을 볼 수 있으며 4 dB 이상에서는 지연시간이 짧을수록 throughput 성능이 우수함을 알 수 있다. 그림 16에서는 E_b/N_0 의 값이 0 dB, 1 dB와 2 dB에서 throughput 성능이 그림 15보다 우수한 성능을 보이고 있으나 이는 시뮬레이션 시간으로 인해 시뮬레이션 데이터의 수를 작은 값을 선택함으로써 기인한 오차로 생각할 수 있으며 높은 E_b/N_0 에서는 throughput

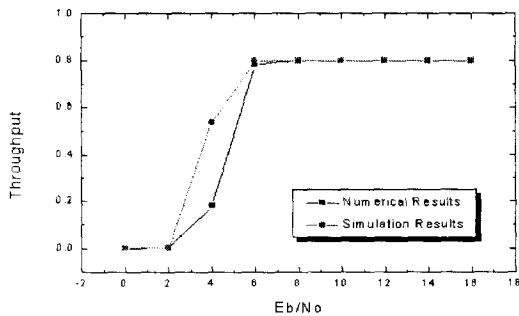


그림 14. E_b/N_0 의 변화에 따른 Throughput의 수치 해석과 시뮬레이션 결과

성능이 수치해석의 결과와 유사함을 알 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 type-I hybrid ARQ는 여러 가지 파라미터에 의해 throughput 성능이 변함을 확인할 수 있었다. 패킷의 길이가 짧을수록 PER(Packet Error Rate)의 에러율이 낮아지게 되고 throughput은 증가하게 된다. SR ARQ의 경우 채널 BER이 높아질수록 throughput의 성능이 급격하게 나빠지게 되나 type-I hybrid ARQ의 경우 채널 BER이 나빠지더라도 SR ARQ에 비해 throughput 성능이 보다 우수함을 알 수 있다. type-I hybrid ARQ에서 윈도우의 크기가 클수록 throughput 성능은 우수하나 윈도우 크기는 식 12의 조건에 의해 제한을 받게 된다. 또한 윈도우 크기에 따른 throughput의 변화는 전송 데이터율이

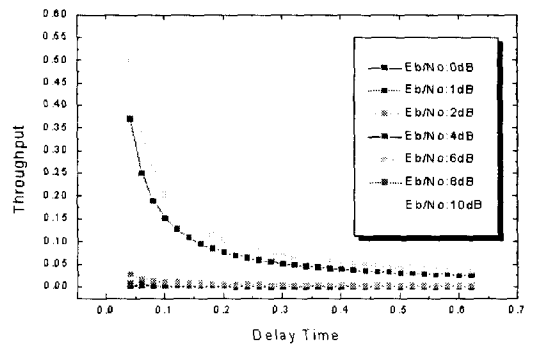


그림 15. Delay time에 대한 Throughput(Numerical Results)

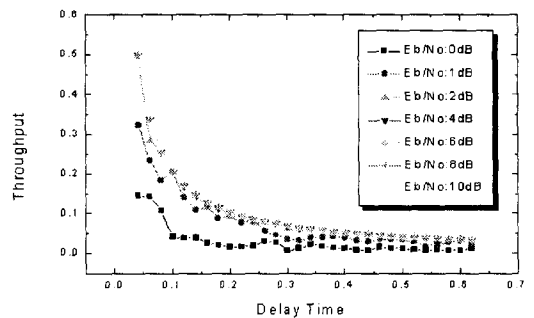


그림 16. Delay time에 대한 Throughput(Simulation Results)

클수록 영향이 적으며 전송 데이터율이 작아질수록 큰 영향을 받게 된다. 전송 지연시간에 따라 SR ARQ와 type-I hybrid ARQ 방식 모두 throughput에 큰 영향을 미치게 되며 전송 지연시간이 짧을수록 throughput 성능은 우수하며 전송 지연시간이 클수록 throughput은 성능이 나빠지게 된다. type-I hybrid ARQ 방식을 사용함으로써 그림 12와 그림 13에서 BER 10^{-3} 의 경우 SR ARQ 방식의 throughput 성능에 비해 type-I hybrid ARQ 방식의 throughput 성능이 우수함을 알 수 있다.

VI. 결 론

type-I hybrid ARQ의 성능을 여러 가지 파라미터에 따른 throughput 성능을 평가하였다. 전반적으로 채널 상태가 양호한 경우 SR ARQ 방식의 throughput 성능이 우수하며 채널 환경이 열악해질수록 type-I hybrid ARQ 방식의 throughput 성능이 우수함을 알 수 있었다. 특히, 기존의 논문에서 고려하지 않았던 전송지연시간에 대한 파라미터가 포함된 type-I hybrid ARQ의 식을 유도하였다. 또한 패킷의 길이변화에 따른 PER(Packet Error Rate)과 throughput을 구하였으며, BCH 코드율에 따른 PER과 throughput을 구하였다. 또한 BPSK 변, 복조와 AWGN 환경 하에서 Ed/No의 변화에 따라 BCH 코드율에 따른 throughput을 구하였으며, 윈도우의 크기에 따른 throughput성능을 구하였다. 또한 전송 지연시간에 따른 throughput을 SR ARQ방식과 type-I hybrid ARQ방식에 대해 수치해석과 더불어 시뮬레이션을 통하여 검증하였으며, 정지위성의 경우를 가정하여 전송지연시간을 고려한 throughput성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Christian Schule, Optimization and Adaptation of Error Control Algorithms for Wireless ATM, *International Journal of Wireless Information Networks*, vol 5, no. 2, 1998.
- [2] Necmi Taspinar, Ahmet Sabri Kesgin, "Generalized type-II hybrid ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding for Point-to-Multipoint Communication over Interleaved Rayleigh Fading AWGN Channel," *IEEE*, 1995.
- [3] Shu Lin, Daniel J. Costello, *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1983.
- [4] Inwhae Joe, *An Adaptive hybrid ARQ Scheme with concatenated FEC codes for Wireless ATM*, MOBICOM 97.
- [5] Samir Kallel, David Haccoun, "Generalized type II hybrid ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 38, no. 11, November 1990.
- [6] T. Ozugur, M. Naghshineh and P. Kermani, "Comparison of ARQ and SREJ Modes of HDLC over half-duplex and full-duplex links and the effect of window size and processor speed in utilization", *Proc. of the 9th IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications(PIMRC'98)*, pp. 708-712, Boston, USA, Sept, 1998.
- [7] Sampei, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice-Hall, 1997.
- [8] Stephen B. Wicker, *Error Control Systems for Digital Communication and Storage*, Prentice-Hall, 1995.
- [9] John G. Proakis, *Digital Communications*,

Third Edition, McGraw-Hill, 1995.

[10] 홍완표, 인공위성과 위성통신, Ohm사, 1994.

조 치 원

1997년 2월: 청주대학교 전자공학과(공학사)
1998년 2월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 통신신호처리

유 흥 균

1982년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)
1984년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학석사)
1989년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학박사)
1988년 2월~현재: 충북대학교 전자공학과 전임강사, 조
교수, 부교수, 정교수
[주 관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 통신신호처
리, 통신회로설계