

무선 ATM 시스템을 위한 RS (Reed-Solomon)와 RCC (Rate Compatible Convolutional) 부호를 이용한 적응 하이브리드 ARQ 기법

정회원 심지섭*, 윤원식*

An adaptive hybrid ARQ scheme with RS (Reed-Solomon) and RCC (Rate Compatible Convolutional) codes for wireless ATM system

Ji-Seob Sim*, Won-Sik Yoon* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 무선 ATM에서 요구하는 QoS (Quality of Service)와 무선 채널의 환경에 따라서 RS (Reed-Solomon)와 RCC (Rate Compatible Convolutional) 부호의 부호율을 조절할 수 있는 적응 하이브리드 ARQ 기법을 제안한다. 제안한 방식은 결합 방법을 사용하여 RS와 RCC 부호의 에러 정정 능력을 향상시킬 수 있으며 데이터의 종류에 따라서 ATM 셀의 헤더 (header)와 유효부하 (payload)에 상이한 부호율의 적용이 가능하다. 레일리 및 라이산 페이딩 환경하에서 제안한 기법의 전송된 패킷의 평균 비트 수와 전송효율 (throughput) 성능을 분석한다.

ABSTRACT

This paper proposes an adaptive hybrid ARQ scheme that adjusts code rates of RS and RCC codes to match channel conditions and QoS for Wireless ATM. The proposed scheme increases the error correcting capability of RS and RCC by combining and uses different code rates for the header and the payload of ATM cell according to the type of data. The expected value of transmitted bits and the throughput of the proposed scheme under Rayleigh and Rician fading channels are analyzed.

I. 서론

무선 ATM 통신망은 차세대 광대역 멀티미디어 서비스 제공을 위해서 연구되고 있다^{[1],[2]}. 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 데이터의 종류에 의해서 요구되는 QoS를 만족하여야 한다. 따라서 ATM 셀의 유효부하는 데이터가 요구하는 QoS에 따라서 다양한 에러 정정 능력을 제공하기 위한 부호화가 되어야 한다.

한편, ATM 기술은 매우 넓은 대역폭과 저잡음 특성을 갖는 광섬유 유선 링크를 기반으로 구현된다. 그러나, 무선 채널 환경은 시간에 따라 페이딩과 재밍의 영향에 의하여 변하며 비트에러가 빠르게 나타나는 특성이 있다. 이와같이 무선 환경은 매우 열악하기 때문에 ATM 기술을 무선환경에 그대로 적용하기에는 상당한 어려움이 따르게 되며, 이를 위해 에러정정 기법이 요구되고 있다. 이와같은 에러정정 기법으로는 순방향 에러정정 부호화 (Forward Error Correction) 방법과 ARQ (Auto-

* 아주대학교 전자공학부(brains@madang.ajou.ac.kr, wsyoon@madang.ajou.ac.kr)
논문번호 : 99274-0715, 접수일자 : 1999년 7월 15일

※ 본 연구는 한국과학재단(97-0100-1401-5) 지원에 의해 수행되었습니다.

matic Repeat reQuest) 방법이 사용되고 있다. 하지만 FEC 방법은 대역폭의 낭비를 초래하는 문제점이 있으며, ARQ 방법은 열악한 채널 환경하에서의 지연이 수반되므로 비실시간 서비스에만 적용될 수 있다. 이와같은 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 연쇄부호를 이용한 하이브리드 ARQ 기법이 제안되고 있다^{[3],[4]}.

부호 평처링 (puncturing)은 채널 부호화 기법의 하나이다. RCPC (Rate Compatible Punctured Convolutional) 부호는 제한된 평처링 방식에 의해서 $1/m$ 부호율을 갖는 길쌈부호로부터 얻어지게 된다^[5]. RCPC 부호는 $1/m$ 부호율을 갖는 길쌈부호를 주기 F 를 갖고 평처링함으로써 구할 수 있으며 이와같은 RCPC 부호는 RCC (Rate Compatible Convolutional) 부호의 일종이다. RCC 부호와 ARQ 기법을 사용한 방식에서는 전송된 패킷에 대해서 재전송이 요구될 경우 여분의 비트를 전송하게 되고 수신단에서는 결합 방법을 사용하여 낮은 부호율을 갖는 길쌈부호를 형성하게 된다. 즉, 전송된 패킷과 재전송된 여분의 비트가 결합하여 에러 정정 능력이 향상된 길쌈부호를 형성한다는 것이다.

본 논문에서는 무선 ATM에서 요구하는 QoS와 무선 채널의 환경에 따라서 RS와 RCC 부호의 부호율을 조절할 수 있는 적응 하이브리드 ARQ 기법을 제안한다. 제안한 방식은 결합 방법을 사용하여 RS와 RCC 부호의 에러 정정 능력을 향상시킬 수 있으며 데이터의 종류에 따라서 ATM 셀의 헤더와 유료부하에 상이한 부호율의 적용이 가능하다.

II장에서 ATM 시스템에서의 HEC (Header Error Control) 성능을 셀 손실률 (Cell Loss Ratio) 측면에서 살펴보고, III장에서는 RS와 RCC 부호를 사용한 하이브리드 ARQ 기법을 논한다. 이어서 IV장에서는 레일레이 및 라이지안 페이딩 환경하에서 제안된 기법의 전송된 패킷의 평균 비트 수와 전송 효율 (throughput)에 대한 분석을 하며, V장에서 결론을 맺는다.

II. ATM 시스템에서의 HEC의 성능 분석

ATM 셀의 전체적인 구조는 5 바이트의 헤더와 48 바이트의 유료부하로 구성되며 전체 53 바이트의 길이를 갖는다. ATM 셀 헤더는 4 바이트의 헤더정보 영역과 에러검출 및 정정을 위한 1 바이트 HEC로 구성된다. ATM 셀 헤더정보를 보호하기 위한 HEC의 성능은 단일비트에러정정 (single bit

error correction) 및 다수비트에러검출 (multiple bit error detection)이 가능하다. HEC의 운용은 정정모드 및 검출모드를 가지는 이중모드로 구성된다.

$G(x)$ 를 HEC의 생성 다항식이라 정의하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(x) = x^8 + x^2 + x + 1. \tag{1}$$

$[R(x) \text{ mod } G(x)]$ 는 신드롬이라 하며, 여기서 $R(x)$ 는 수신받은 다항식이다. 256 개의 신드롬 패턴이 존재하며, 이 가운데 한 개의 신드롬만이 에러가 없음을 나타내고 40 개의 신드롬 패턴과 215 개의 신드롬 패턴은 각각 단일비트에러와 다중비트에러를 나타낸다.

셀 손실률에 대한 근사화 식을 구하면 다음과 같다.

$$P_{Cl} = \frac{P_{dm}(P(1)+P(m)) + P_{cm}P(m)}{1 - P(0) - P(0)P(1)} \tag{2}$$

여기서 $P(0) = (1-p)^{40}$ 는 ATM 셀 헤더에 에러가 발생하지 않을 확률, $P(1) = 40(1-p)^{39}p$ 은 ATM 셀 헤더에 단일비트에러가 발생할 확률, $P(m) = 1 - P(0) - P(1)$ 은 ATM 셀 헤더에 다중비트에러가 발생할 확률이다. P_{cm} 과 P_{dm} 은 각각 정정모드와 검출모드에 있을 확률을 나타내며, p 는 비트 에러 확률이다.

III. RS와 RCC부호를 사용한 적응 하이브리드 ARQ 기법

이 절에서는 무선 ATM을 위한 RS와 RCC 부호를 사용한 하이브리드 ARQ 기법을 논한다.

1. 제안한 시스템의 구조

RS와 RCC 부호를 사용한 연쇄부호의 구조를 그림 1에 도시하였다. $GF(2^8)$ 의 RS 부호와 부호율 $1/2$ 과 구속장 7을 갖는 RCC 부호가 사용된다. 피드백 채널은 잡음이 없다고 가정하며 SR (Selective Repeat) ARQ 기법이 사용된다. 그림 1의 구조와 같이 53 바이트의 ATM 셀 패킷은 에러 검출을 위해서 2 바이트의 CRC가 첨가된다. 55 바이트의 패킷은 데이터 종류에 따라서 ATM 셀의 헤더와 유료부하에 다양한 에러 정정 능력을 제공하기 위해서 두 개의 패킷, 즉 H 와 L 로 나뉘지게 된다. H 패킷은 $(n_H, 5)$ RS로 부호화 된다. $(n_H, 5)$ RS

부호는 재전송이 요구될 때 결합 방법을 사용하여 RS 부호의 에러 정정 능력을 향상시키기 위해서 평처링 방식에 의해서 한 쌍의 $(n_H/2, 5)$ RS 부호로 나뉜다. 이 때 RS 부호의 에러 정정 능력은 데이터의 종류와 채널의 환경에 따라서 결정된다. ATM 셀의 유료부하는 데이터가 요구하는 QoS에 따라서 다양한 에러 정정 능력을 제공하기 위한 부호화가 되어야 한다. 따라서 L 패킷은 다양한 에러 정정이 가능하도록 k 바이트로 구성된 m 개의 블록으로 나뉜다. 이때 블록의 길이는 채널의 상황에 따라서 최적의 크기로 결정된다. 각각의 k 바이트의 블록은 (n_p, k) RS 부호로 부호화된다. (n_p, k) RS 부호는 다시 평처링 방식에 의해서 한 쌍의 $(n_p/2, k)$ RS 부호로 나뉘게 된다.

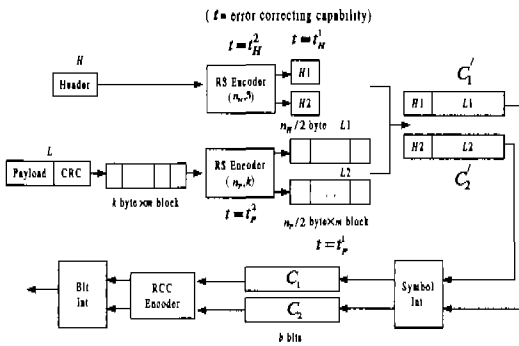


그림 1. 제한한 RS와 RCC 부호를 사용한 연쇄부호 구조

2. 셀 손실률

BPSK 변조와 레일레이 및 라이시안 페이딩 환경 하에서의 RS와 RCC 부호를 사용한 연쇄부호의 셀 손실 확률 (CLP : Cell Loss Probability)에 대해 분석한다. 부호율 7/13과 구속장 7을 갖는 길쌈부호와 GF(2⁸)의 RS 부호를 사용한 연쇄부호가 사용된다. RS 부호의 에러 정정 능력은 $t = \lfloor (n_H - 5) / 2 \rfloor$ 로 나타낼 수 있다. RS 복호기 출력에서의 워드 에러 확률은 다음과 같다.

$$P_{WER} = \sum_{i=t+1}^{n_H} \binom{n_H}{i} P_{vit}^i (1 - P_{vit})^{n_H - i} \quad (3)$$

여기서 P_{vit} 는 비터비 (Viterbi) 복호기 출력에서의 심볼 에러 확률이다. 이 확률은 다음과 같은 한계치로 표현 가능하다.

$$P_{vit} < 8P_{bit} \quad (4)$$

P_{bit} 는 비터비 복호기 출력에서의 비트 에러 확률이며 P_{bit} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[5].

$$P_{bit} \leq \frac{1}{P} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} C_d P_a \quad (5)$$

여기서 d_{free} 는 부호의 자유거리 (free distance)이며, F 는 평처링 주기, P_a 는 거리 a 를 갖는 패스를 선택할 확률이다. 연판정 (soft decision)을 사용할 경우 P_a 는 다음과 같다.

$$P_a = q^d \sum_{k=0}^{d-1} \binom{d-1+k}{k} (1-q)^k \quad (6)$$

여기서 q 는 레일레이 및 라이시안 페이딩 환경 하에서 BPSK 변조의 비트 에러 확률이다.

RS 복호기 출력에서의 심볼 에러 확률은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{SER} = \frac{i}{n_H} P_{WER} = \frac{1}{n_H} \sum_{i=t+1}^{n_H} i \binom{n_H}{i} P_{vit}^i (1 - P_{vit})^{n_H - i} \quad (7)$$

RS 복호기 출력에서의 비트 에러 확률은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{RBIT} = \frac{2^{k-1}}{2^k - 1} P_{SER} = \frac{1}{2} \frac{1}{n_H} \sum_{i=t+1}^{n_H} i \binom{n_H}{i} P_{vit}^i (1 - P_{vit})^{n_H - i} \quad (8)$$

이상에서 구한 식 (8)을 식 (2)에 대입하여 셀 손실률을 계산할 수 있다. BPSK 변조와 레일레이 및 라이시안 페이딩 환경하에서 GF(2⁸) RS와 부호율 7/13과 구속장 7을 갖는 길쌈부호를 사용한 연쇄부호의 셀 손실률을 그림 2와 3에 나타내었다. 또한 그림 2와 3에 부호율 7/13과 구속장 7을 갖는 길쌈부호의 셀 손실률도 함께 나타내었다. 그림 2와 3으로부터 연쇄부호가 길쌈부호만을 사용하는 것보다 손실률 측면에서 보다 나은 성능을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

3. 하이브리드 ARQ 기법

그림 1의 구조에서 각 패킷 C_1 과 C_2 는 다음과 같은 과정을 통해서 전송된다. r'_C 는 C_i 패킷의 i 번째 전송시 P_C 비트당 전송된 비트 수라 정의한다. 여기서 P_C 는 C_i 의 평처링 주기이다.

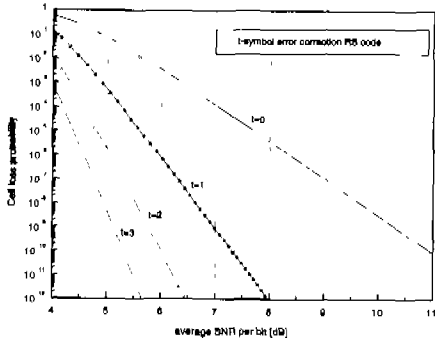


그림 2. 레일리 페이딩 환경하에서 $(n_H, 5)$ RS 와 7/13 길쌈 부호를 사용한 연쇄부호의 셀 손실률

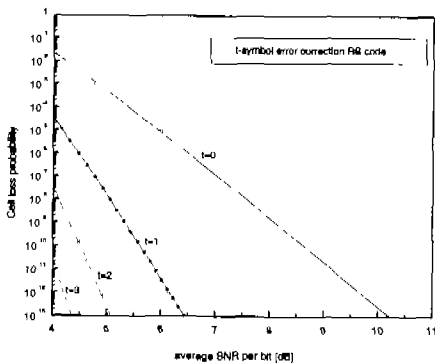


그림 3. 라이시안 페이딩 환경하에서 $(n_H, 5)$ RS 와 7/13 길쌈 부호를 사용한 연쇄부호의 셀 손실률 (라이시안 계수 : 2)

과정 1) C_1 은 $R_{C_1}^1$ 부호율로 부호화된다. 이때 사용되는 $R_{C_1}^1$ 부호율은 데이터의 종류에 따라 요구되어지는 QoS와 채널의 상황에 의해서 선택된다. 이렇게 부호화된 패킷은 인터리버를 거친 후 수신단으로 전송된다. 수신단에서는 수신받은 신호를 비터비 복호기와 에러 정정 능력이 각각 f_H 과 f_V 인 RS 복호기를 이용해서 복호화한다. 최종적으로 CRC를 이용해서 에러를 검출하게 된다. 만약 에러가 검출되지 않을 경우에는 전송이 완료된다. 그렇지 않고 에러가 검출되면 전송된 패킷은 저장되고 송신단으로 재전송을 요구하게 된다.

과정 2) 재전송이 요구되어질 경우에 송신단에서는 C_2 를 $R_{C_2}^1$ 부호율로 부호화한다. 이때 사용되는 $R_{C_2}^1$ 부호율은 데이터의 종류에 따라 요구되어지는 QoS와 채널의 상황에 의해서 선택된다. 이렇게 부호화된 패킷은 인터리버를 거친 후 수신단으로 전송되며 수신단에서는 수신받은 신호를 비터비

복호기와 에러 정정 능력이 각각 f_H 과 f_V 인 RS 복호기를 이용해서 복호화한다. 최종적으로 CRC를 이용해서 에러를 검출하게 된다. 에러가 검출되면 에러 정정 능력이 각각 f_H 와 f_V 인 RS 복호기로 복호하기 위하여 수신받은 패킷에 외해서 생성된 C_2 패킷은 과정 1) 에서 생성된 C_1 패킷과 결합되어진다. 에러 정정 능력이 각각 f_H 와 f_V 인 RS 복호기로 복호화하여도 에러가 검출되면 전송된 패킷은 저장되고 송신단으로 재전송을 요구하게 된다.

과정 3) $r_{C_1}^2$ 의 여분의 비트가 수신단으로 전송된다. 수신단에서는 수신받은 여분의 비트와 과정 1) 에서 수신받았던 패킷을 결합하여 낮은 부호율을 갖는 길쌈부호를 형성하게 된다. 결합 패킷은 비터비 복호기와 에러 정정 능력이 각각 f_H 과 f_V 인 RS 복호기를 이용해서 복호화한다. 복호화가 성공적이지 못할 경우에는 결합 패킷에 의해 생성된 C_1 패킷과 과정 2) 에서 수신받은 패킷에 의해서 생성된 C_2 패킷이 결합하여 에러 정정 능력이 각각 f_H 과 f_V 인 RS 복호기를 이용해서 다시 복호화한다. 이와같이 RS와 길쌈부호의 에러 정정 능력이 향상된다. 최종적으로 CRC를 이용해서 에러를 검출하게 되며 에러 검출시에는 전송된 패킷은 저장되고 송신단으로 재전송을 요구하게 된다.

과정 4) $r_{C_2}^2$ 의 여분의 비트가 수신단으로 전송된다. 수신단에서는 수신받은 여분의 비트와 과정 2) 에서 수신받았던 패킷을 결합하여 낮은 부호율을 갖는 길쌈부호를 형성하게 된다. 결합 패킷은 비터비 복호기와 에러 정정 능력이 각각 f_H 과 f_V 인 RS 복호기를 이용해서 복호화한다. 복호화가 성공적이지 못할 경우에는 에러 정정 능력이 각각 f_H 과 f_V 인 RS 복호기를 이용해서 다시 복호화하기 위하여 결합 패킷에 의해 생성된 C_2 패킷은 과정 3) 에서 결합 패킷에 의해서 생성된 C_1 패킷과 결합된다. 최종적으로 CRC를 이용해서 에러를 검출하게 되며 에러 검출시에는 전송된 패킷은 저장되고 송신단으로 재전송을 요구하게 된다. ATM 셀이 어려없이 전송될 때까지 과정 3) 과 4) 에서 행한 재전송 과정이 반복적으로 수행된다.

IV. 성능 분석

전송효율은 n/N 으로 정의한다. 여기서 n 은 정

보 비트수이며, N 은 b 비트로 구성된 패킷 당 전송된 평균 비트 수이다. b 비트는 C_i 의 패킷 크기이다. $D_{C_i}^1$ 는 C_i 패킷의 1 번째 전송시 전송된 비트들을 수신받은 이후에 RS 복호기에서 복호화 에러가 발생할 사건 (decoding error event)이라 정의한다. N 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N = \frac{b}{R_{C_1}^1} + \frac{b}{R_{C_1}^2} \Pr(D_{C_1}^1) + \frac{br_{C_1}^2}{P_{C_1}} \Pr(D_{C_1}^1, D_{C_1}^2) + \frac{br_{C_1}^3}{P_{C_1}} \Pr(D_{C_1}^1, D_{C_1}^2, D_{C_1}^3) + \dots \quad (9)$$

식 (9)의 $\Pr(D_{C_i}^1, \dots)$ 는 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$\Pr(D_{C_i}^1, D_{C_i}^2, D_{C_i}^3, \dots, D_{C_i}^i) \leq \begin{cases} \Pr[E_{C_i}^1(1)], & i=1, j=1 \\ \Pr[E_{C_i}^1(2)], & i=1, j=2 \\ \Pr[E_{C_i}^1(1)]\Pr[E_{C_i}^1(2)], & i>1, j=1,2 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $[E_{C_i}^1(1)]$ 은 C_i 패킷의 1 번째 전송때 전송된 비트들을 수신받은 이후에 C_i 패킷만을 사용하여 복호화할 경우에 RS 복호기에서 복호화 에러가 발생할 사건을 나타낸다. $[E_{C_i}^1(2)]$ 는 C_i 패킷의 1 번째 전송때 전송된 비트들을 수신받은 이후에 C_1 패킷과 C_2 패킷을 결합하여 복호화할 경우에 RS 복호기에서 복호화 에러가 발생할 사건을 나타낸다. 식 (10)을 이용하여 N 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N \leq \frac{b}{R_{C_1}^1} + \frac{b}{R_{C_1}^2} \Pr[E_{C_1}^1(1)] + \frac{br_{C_1}^2}{P_{C_1}} \Pr[E_{C_1}^1(2)] + \frac{br_{C_1}^3}{P_{C_1}} \Pr[E_{C_1}^2(1)]\Pr[E_{C_1}^2(2)] + \dots \quad (11)$$

$\Pr[E_{C_i}^1(1)]$ 과 $\Pr[E_{C_i}^1(2)]$ 는 식 (3)의 RS 복호기 출력에서의 위드 에러 확률로 나타낼 수 있다. 식 (11)을 n/N 에 대입하면 연쇄부호를 사용한 기법의 전송효율 하한치 (lower bound)를 구할 수 있다.

그림 4와 5는 BPSK 변조를 사용하고 레일레이 및 라이시안 페이딩 환경하에서 b 비트로 구성된 패킷 당 전송된 평균 비트 수를 나타내고 있다. 여기서 b 는 456이다. 그림 1의 구조에서 시작 부호율 (starting code rate) $7/n$ 을 갖는 길쌈부호와 에러 정정 능력 β_H^1 와 β_H^2 가 각각 4와 1인 (14,5)와

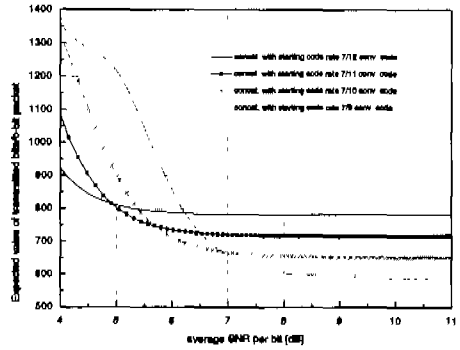


그림 4. 레일레이 페이딩 환경하에서 에러 정정 능력 β_H^1 와 β_H^2 가 각각 4와 1인 (14,5)와 (4,2) RS 부호를 사용한 경우 b 비트로 구성된 패킷 당 전송된 평균 비트 수

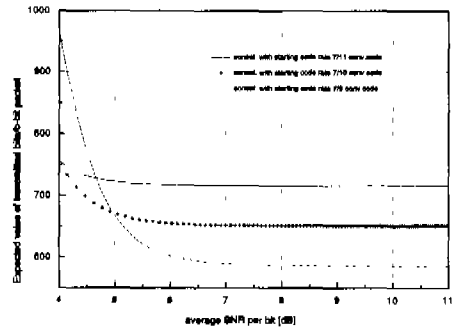


그림 5. 라이시안 페이딩 환경하에서 에러 정정 능력 β_H^1 와 β_H^2 가 각각 4와 1인 (14,5)와 (4,2) RS 부호를 사용한 경우 b 비트로 구성된 패킷 당 전송된 평균 비트 수 (라이시안 계수: 2)

(4,2) RS 부호가 사용되었다. 여기서 n 은 9에서 12까지 변화한다. 그림 4와 5를 통해서 부호율이 낮은 길쌈부호로 구성된 연쇄부호가 SNR이 낮은 곳에서 b 비트로 구성된 패킷 당 전송된 평균 비트 수가 적은 것을 볼 수 있다. 이와같이 SNR이 낮은 곳에서 최대의 전송효율을 갖기 위해서는 낮은 부호율을 갖는 길쌈부호를 사용하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 BPSK 변조를 사용하고 레일레이 및 라이시안 페이딩 환경하에서 제안한 하이브리드 ARQ 기법의 전송효율을 나타낸다. ATM 셀을 두 개의 패킷, 즉 헤더와 유효부호로 나누지 않고 RS와 길쌈부호를 사용한 하이브리드 ARQ 기법도 함께 그림 6에 도시하였다. 그림 6에서 제안한 하이브리드 ARQ 기법이 ATM 셀을 두 개의 패킷으로 나누지 않고 RS와 길쌈부호를 사용한 하이브리드 ARQ 기법보다 나은 성능을 나타

낸다는 것을 볼 수 있다. 그것은 재전송된 패킷과 전에 전송됐던 패킷의 결합작용에 의해서 RS와 길쌈부호의 에러 정정 능력이 향상되기 때문이다.

참 고 문 헌

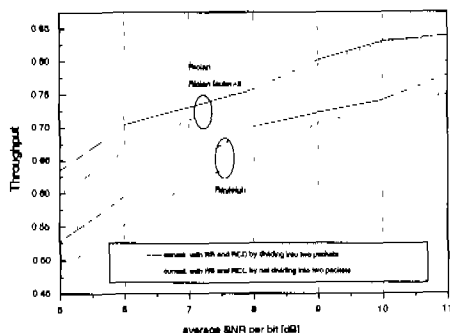


그림 6. 레일레이 및 라이스안 페이딩 환경에서의 RS와 RCC 부호를 사용한 하이브리드 ARQ 기법의 전송 효율

V. 결 론

본 논문에서는 무선 ATM에서 요구하는 QoS와 무선 채널의 환경에 따라서 RS와 RCC 부호의 부호율을 조절할 수 있는 적응 하이브리드 ARQ 기법을 제안하였다. 제안한 방식은 전송된 패킷의 재전송이 요구될 경우 여분의 비트를 전송하게 되고 수신단에서는 결합 방법을 사용하여 낮은 부호율을 갖는 길쌈부호를 형성하게 되며 전에 전송된 패킷과 결합 방법을 사용하여 RS 부호의 에러 정정 능력을 향상시킬 수 있다. 이와같이 제안한 방식은 전송된 패킷의 재전송이 요구될 경우에 결합 방법을 사용하여 RS와 RCC 부호의 에러 정정 능력을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 또한, 데이터의 종류에 따라서 ATM 셀의 헤더와 유효부하에 상이한 부호율의 적용이 가능하다. 레일레이 및 라이스안 페이딩 환경하에서 제안된 기법의 셀 손실확률, 전송된 패킷의 평균 비트 수와 전송효율에 대한 분석을 행하였다. ATM 셀을 두 개의 패킷, 즉 헤더와 유효부하로 나누지 않고 하나의 패킷으로 구성하여 RS와 길쌈부호를 사용한 하이브리드 ARQ 기법과의 비교를 통해 제안한 하이브리드 ARQ 기법이 전송효율면에서 우수하다는 것을 보였다. 그것은 재전송된 패킷과 전에 전송됐던 패킷의 결합작용에 의해서 RS와 길쌈부호의 에러 정정 능력이 향상되기 때문이다.

[1] E. Ayanoglu, K. Y. Eng, and M. J. Karol, "Wireless ATM: Limits, challenges and proposals," *IEEE Personal Communications*, vol. 3, pp. 18-34, Aug. 1996.

[2] D. Raychaudhuri, "Wireless ATM networks: Architecture, system design and prototyping," *IEEE Personal Communications*, vol. 3, pp. 42-49, Aug. 1996.

[3] Y.A. Tesfai and S.G. Wilson, "FEC schemes for ATM traffic over wireless links," in *Proc. MILCOM'96*, pp. 948-953.

[4] M. Chiani and A. Volta, "Hybrid ARQ/FEC techniques for wireless ATM local area networks," in *Proc. PIMRC'96*, pp. 898-902.

[5] J. Hagenauer, "Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-36, pp. 389-400, Apr. 1988.

심 지 섭(Ji-Seob Sim)

정회원



1998년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1998년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 전자공학부 석사과정
 <주관심 분야> 이동통신, Wireless ATM, 확산대역통신

윤 원 식(Won-Sik Yoon)

정회원



1984년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 3월 ~ 1991년 4월 : 금성전기 연구소 신입연구원

1991년 5월 ~ 1994년 8월 : LG정밀 연구소 책임연구원

1995년 9월~1996년 8월 : University of Victoria,
방문교수

1994년 9월~현재 : 아주대학교 전자공학부 부교수
<주관심 분야> 이동통신, 확산대역통신, 통신신호처리