

레이레이 페이딩 채널에서 단축된 리드-솔로몬 부호를 사용한 하이브리드 재전송요구방식의 성능분석

正會員 李 丁 雲*, 梁 景 喆**

Performance Analysis of Hybrid Automatic Repeat Request Systems Using Shortened Reed-Solomon Codes over Rayleigh Fading Channel

Jung Woon Lee*, Kyeong Cheol Yang** *Regular Members*

* 이 논문은 한국학술진흥재단 자유공모과제(과제번호: 01-E-0949)에 의한 결과임

요 약

본 논문에서는 채널상태에 대한 적응력을 가미한 변형된 II형 하이브리드 재전송요구방식을 제안하고, 정보처리율과 신뢰도에 대한 이론적인 분석을 하였다. 그리고 AWGN 채널과 느린 주파수 비선택 레일레이 페이딩 채널에서 I형 및 일반적인 II형 재전송요구방식과 성능을 비교하고 모의실험을 통해 타당성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a modified Type-II HARQ system having adaptive power to channel and analyze its performance in terms of throughput and reliability. Its performance is also compared with Type-I and Type-II HARQ systems and is verified using computer simulations over AWGN and frequency-nonselective, slowly Rayleigh fading channels.

I. 서 론

디지털 데이터를 전송매체를 통해 전송하거나 여러 가지의 기억장치들에 저장하고자 할때 전송 매체에 존재하는 잡음, 간섭, 그리고 기억장치의 결함 등으로 인해 데이터에 손상이 생기고 오류가 발생한다 [1], [2]. 최근에 들어서는 이러한 오류를 극복한 신뢰성 있는 디지털 데이터 전송과 저장장치(storage systems) 등이 크게 요구되고 있다 [3].

*데이콤 종합연구소

**한양대학교 전자통신공학과
Dept. of Electronic Communication Engineering, Hanyang University
論文番號: 95309-0905
接受日字: 1995年 9月 5日

채널에서 발생한 오류를 극복하여 시스템의 신뢰도(reliability)를 향상시키는 기술을 오류제어기술(error control techniques)이라 하며, 순방향 오류제어(FEC, forward error control)방식과 재전송요구(ARQ, automatic repeat request)방식으로 나눌 수 있다 [1], [2]. ARQ 방식은 오류가 발생했을때 재전송하는 방식으로 간단하면서도 높은 신뢰도를 유지한다. 그러나 정보처리율이 채널의 상태에 크게 좌우되기 때문에 채널의 상태가 나빠져서 오류의 발생확률이 커지게 되면, 재전송을 요구하는 빈도가 커져서 정보의 처리율은 급속도로 저하되게 된다 [1], [3].

반면에 FEC 방식은 수신된 벡터에서 일단 오류가 검출되면 오류정정을 시도하고 복호된 부호어가 맞는 지의 여부에 관계없이 수신측의 사용자에게 보내게 된다. 따라서 FEC 방식은 채널에서의 오류 확률에 관계없이 일정한 정보처리율을 가진다. 그러나 일반적으로 복호를 잘못할 확률은 오류를 검출하지 못할 확률보다 훨씬 크기 때문에 FEC 방식만으로 높은 신뢰도를 유지하는 것은 어렵다 [1].

그러므로 고도의 신뢰성을 유지하면서 높은 정보처리율을 갖게 하려면 ARQ 방식과 FEC 방식을 적절히 결합하는 것이 바람직인데, 이러한 방식을 하이브리드 재전송요구방식(HARQ, Hybrid ARQ systems)이라 한다. 여기서 FEC의 역할은 빈번하게 일어나는 오류들을 정정함으로써 재전송의 빈도수를 현격하게 줄여 정보의 처리율을 증가시키고, ARQ는 고도의 신뢰도를 제공한다 [4]. 결과적으로 하이브리드 방식은 FEC 방식보다는 높은 신뢰도를, ARQ 방식보다는 높은 정보처리율을 가진다. 또한 FEC는 오류의 수가 작은 경우에만 오류정정을 하기 때문에 부호기 및 복호기의 구현이 용이하게 된다 [1], [2].

HARQ 방식은 I형과 II형으로 나눈다 [5], [6]. I형 HARQ 방식에서는 하나의 오류정정부호로 동시에 오류검출과 오류정정을 행하며, II형은 수신기가 오류정정을 해야할 경우에만 패리티 심벌들을 송신하는 개념에 기초를 두고 있다 [4]. 본 논문에서는 AWGN(additive white Gaussian noise) 채널과 페이딩 채널에서 각 정보블럭에 대해 처음 전송할때는 I형 방식과 같이 오류정정을 시도하고, 정정을 못하는 경우에는 패리티 비트의 재전송을 요구하는 변형된 II형 HARQ 방식의 성능을 분석하고 모의실험으로 타당

성을 입증한다.

II. II형 HARQ 방식과 그 변형된 II형 HARQ 방식의 모델

2.1 일반적인 II형 HARQ 방식 모델

II형 HARQ 방식은 두개의 부호를 사용하여 정보를 전송한다. 오류검출을 위해 사용되는 높은 부호율의 $[n, k]$ 부호 C_1 과, 오류 정정과 오류 검출을 동시에 할 수 있는 부호율이 $1/2$ 인 $[2k, k]$ 가역부호(invertible code) C_2 가 사용된다. 일반적으로 C_2 는 C_1 의 오류 정정능력보다 훨씬 큰 오류정정능력을 가진다. 여기서 가역부호란 하나의 부호어 내에서 정보블럭과 패리티블럭 사이에 일대일 대응관계를 갖도록 함으로써 정보블럭은 패리티블럭을 유일하게 결정하고, 역으로 패리티블럭도 정보블럭을 유일하게 결정할 수 있는 부호를 말한다. 그리고 C_1 은 오류검출능력이 뛰어나면서도 부호율이 큰 부호로 선택되는데, 이는 HARQ 방식의 정보처리율을 높이기 위함이다.

II형 HARQ 방식은 다음과 같이 동작된다. 먼저 k 비트의 정보 u 를 전송하고자 할 때 C_1 에 의해 $n-k$ 개의 패리티 비트 $f(u)$ 를 계산하여 부호어 $v = (f(u), u)$ 를 구성하여 전송한다. 이때 송신기에서는 C_2 의 부호기를 이용하여 정보 u 에 대한 k 개의 패리티 비트 $q(u)$ 를 계산하여 저장한다. 부호어 v 에 해당하는 수신된 벡터를 $\bar{v} = (\bar{f}(u), \bar{u})$ 라 할 때, C_1 에 의해 오증(syndrome)을 계산함으로써 오류의 유무를 결정하게 된다. 오류가 없다고 판단되면 사용자에게 전달되고, 오류가 검출되면 수신자는 \bar{u} 를 보관하고 송신자에게는 패리티 전송을 요구하게 된다.

송신자는 수신자의 요구에 따라 k 비트의 패리티 $q(u)$ 를 C_1 의 부호기로 부호어 $v^* = (f[q(u)], q(u))$ 를 만들어 전송하게 된다. 부호어 v^* 에 해당하는 수신된 벡터를 $\bar{v}^* = (\bar{f}[q(u)], \bar{q}(u))$ 라 할때 C_1 에 의해 오증을 계산하여 오류가 없다고 판단되면 정보 u 를 역과정(inversion process)에 의해 $\bar{q}(u)$ 로부터 복원한다. 오류가 검출되면, 벡터 $(\bar{q}(u), \bar{u})$ 에 대해 C_2 로 오류정정을 시도한다. 오류정정이 가능한 경우는 오류정정을 함으로써 복원된 정보 u 를 얻을 수 있고, 오류검출은 가능하지만 오류정정을 할 수 없을 때는 수신자는 $\bar{q}(u)$ 를 저장하고 송신자에게 재전송을 요구하게 된다. 송신자는 재전송요구를 받게되면 $v = (f(u), u)$ 를 다시 보

내게 된다. 이러한 재전송 과정은 정보 u 가 올바로 수신될 때까지 계속된다 [4], [7].

2.2 변형된 II형 HARQ방식

일반적인 II형 HARQ 방식에 대한 변형된 II형 HARQ 방식의 가장 큰 다른점은 처음 수신된 벡터에 C_1 으로 약간의 정정능력을 부여하는 것이다. 그러나 이러한 오류정정은 정보의 처음 전송시에만 행하고, 재전송시부터는 C_1 으로는 오류검출만 행한다. 이렇게 하는 가장 큰 목적은 처음 전송시 C_1 에 약간의 정정능력을 부여함으로써 전송되는 채널의 상태를 파악하는 것이다. 약간의 정정능력으로도 복호가 성공한다는 것은 채널의 상태가 비교적 양호함을 뜻하고, 실패한다면 채널의 상태가 나쁘다는 것을 의미한다. 채널의 상태가 비교적 양호하다면 약간의 정정능력으로도 대부분의 오류패턴을 고칠수 있으므로 정보 처리율을 높일 수 있게 된다. 그리고 약간의 정정능력으로 오류가 정정되지 않으면 채널의 상태는 나쁜 것으로 판단하여 재전송시 C_1 보다 정정능력이 훨씬 좋은 C_2 로 부호화 해서 C_2 의 패리티 블록을 전송하여 오류의 정정 효율을 높인다. 그림 1의 순서도는 이러한 과정을 자세하게 설명하고 있다.

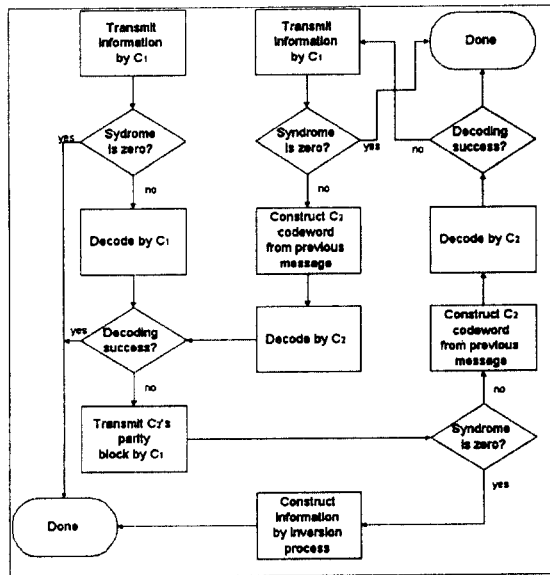


그림 1. 변형된 II형 HARQ 방식 순서도.
Fig. 1 Flow chart of a modified Type II HARQ system.

III. Rayleigh 페이딩 채널상에서 비트오율

진폭변화가 느린 주파수 비선택적 페이딩 채널에서는 하나의 신호구간동안 채널의 진폭을 상수로 간주하고 위상변화를 측정할 수 있기 때문에 어떤 고정된 채널진폭 α 에 대해 수신된 SNR이 γ_b 일때 BPSK에 대한 오류 확률은 다음과 같이 주어진다 [8].

$$P(\gamma_b) = Q(\sqrt{2\gamma_b}) \quad (1)$$

여기서 E_b 가 신호의 비트에너지, N_0 가 잡음의 단측 전력밀도를 나타낼때 γ_b 는 $\alpha^2 E_b/N_0$ 가 되고 $Q(\cdot)$ 는 Q 함수(Q function)이다. $\alpha=1$ 이면 식 (1)은 AWGN 채널의 오류확률이 된다. α 의 확률밀도함수(pdf, probability density function) $p_\alpha(\alpha)$ 는

$$p_\alpha(\alpha) = 2\alpha e^{-\alpha^2} \quad (2)$$

와 같이 모델링되며, 이때 γ_b 의 확률밀도함수 $p_{\gamma_b}(\gamma_b)$ 는 다음과 같이 얻어진다.

$$p_{\gamma_b}(\gamma_b) = \frac{1}{\bar{\gamma}_b} e^{-\gamma_b/\bar{\gamma}_b} \quad \gamma_b \geq 0 \quad (3)$$

여기서 $\bar{\gamma}_b$ 는 평균 SNR이고 $E(\alpha^2)$ 이 α^2 의 평균이라 할때 다음과 같다.

$$\bar{\gamma}_b = \frac{E_b}{N_0} E(\alpha^2) \quad (4)$$

α 가 랜덤변수일때 γ_b 도 랜덤변수가 되므로 평균 오류 확률 ϵ 은 $P(\gamma_b)$ 를 γ_b 의 확률밀도함수(pdf, probability density function)로 평균함으로써 얻어진다. 즉, ϵ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon = \int_0^\infty P(\gamma_b) p_{\gamma_b}(\gamma_b) d\gamma_b \quad (5)$$

식 (1)과 식 (3)을 식 (5)에 대입하여 적분하면 평균 오류 확률 ϵ 는 다음과 같이 주어진다 [8].

$$\epsilon = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_b}{1 + \bar{\gamma}_b}} \right\} \quad (6)$$

본 논문에서는 단축 잡음 전력밀도가 N_0 인 백색가산 가우시안 잡음에 의한 영향을 받고 채널의 진폭 α 가 식 (2)와 같은 pdf를 갖는 주파수 비선택적 레일레이(frequency-nonselective Rayleigh) 페이딩 채널상에서 HARQ 시스템들의 성능을 분석한다. 정보를 전송할 때 부호율이 R 인 오류정정부호를 사용할 경우 위 식들에서 E_b 대신 RE_b 를 대입하면 비트오율을 구할 수 있다.

IV. 변형된 II형 HARQ 방식의 성능 분석

HARQ 방식의 성능은 정보의 처리율(throughput)과 신뢰도(reliability)로 측정된다. 정보의 처리율은 단위시간당 전송되는 심벌수에 대한 수신단의 사용자에게 전달되는 평균 정보심벌수의 비를 말한다. 그리고 신뢰도는 수신기가 검출하지 못하는 오류를 가지고 있는 복호 메시지를 받아들일 확률로 평가된다 [6], [7], [9].

본 논문에서 고려하는 II형 HARQ 방식에서는 수신단의 버퍼 크기가 무한대이고, 재전송요구방식(ARQ)의 형태는 선택적 반복법(selective repeat, SR)이다. 채널은 가산성 백색가우시안 잡음(AWGN)의 영향을 받으면서 γ_b 의 pdf가 식 (3)과 같은 레일레이 페이딩을 가진다. 귀환채널(return channel)은 이상적(error free)이라고 가정한다. 변조 방식은 BPSK 방식을 사용한다. 전송되는 부호심벌(code symbol)들에 대한 오류는 서로 독립적이고 각각의 심벌들이 잘못 수신될 확률은 같다.

$GF(2^m)$ 에서 심벌을 취하는 부호어를 BPSK 변조로 전송하는 방식에서 채널의 비트 오율을 ε 이라 할때, 심벌오류확률 p_e 는 다음과 같다[1], [2]:

$$p_e = 1 - (1 - \varepsilon)^m. \quad (7)$$

유한체 $GF(2^m)$ 에서 심벌을 취하는 $[n, k]$ RS 부호와 관련된 오류확률을 구할 때에는 RS 부호가 선형 부호(linear code)이기 때문에 zero 부호어가 전송되었다고 가정한다. 이때 $[n, k]$ RS 부호에서 zero 부호어를 전송했을 때 가중치가 j 인 부호어의 복호영역안에 수신된 벡터가 포함될 확률 $P_{d_e}^{(j)}$ 는 다음과 같다 [10]:

$$P_{d_e}^{(j)} = \sum_{v=0}^{\lfloor \frac{d_e-1}{2} \rfloor} \sum_{w=0}^{\lfloor \frac{d_e-2v}{2} \rfloor} \binom{n-j}{v} \binom{j}{w} (2^m - 1)^{w-j} \cdot \left(1 - \frac{p_e}{2^m - 1}\right)^w (1 - p_e)^{n-j-v} p_e^{j+v-w}. \quad (8)$$

여기서 d_e 는 복호영역의 유효직경으로서 선택된 오류정정능력의 2배가 된다.

그리고 심벌을 $GF(q)$ 에서 취하는 $[n, k, d_{min}]$ RS 부호에서 가중치가 j 인 부호어의 수 A_j 은 다음과 같다[11]:

$$A_j = \binom{n}{j} (q-1) \sum_{i=0}^{j-d_{min}} (-1)^i \binom{j-1}{i} q^{j-i-d_{min}}. \quad (9)$$

따라서 식 (8)과 식 (9)를 이용하면 검출되지않는(undetected) 복호오류확률 P_E 는 아래와 같이 표현됨을 알 수 있다[10]:

$$P_E = \sum_{j=d_{min}}^n A_j P_{d_e}^{(j)}. \quad (10)$$

재전송요구는 수신된 벡터가 어떤 부호어의 복호 영역에 들어가지 않을 경우에만 발생하므로 재전송을 요구할 확률 P_R 은 다음과 같이 계산된다[1], [10]:

$$P_R = 1 - P_E - \sum_{v=0}^{\lfloor \frac{d_e-1}{2} \rfloor} \binom{n}{v} p_e^v (1 - p_e)^{n-v}. \quad (11)$$

일반적으로 ARQ 방식의 신뢰도와 정보처리율의 성능 분석은 신호흐름도(signal flow graph)를 이용하여 분석할 수 있다 [9], [12]. 본 논문에서 고려하는 HARQ 방식의 신호흐름도는 그림 2와 같다. 그림 2에서 IT는 처음 전송(Initial Transmission), CA는 부호어 수용(Codeword Acceptance), FEC는 순방향 오류정정(Forward Error Correction), ED는 오류검출(Error Detecting)상태를 각각 나타낸다. 그리고 FEC나 ED의 뒤에 붙은 숫자는 오류정정이나 오류검출을 하기 위해 사용하는 부호를 의미한다. 즉 뒤에 붙은 숫자가 '1'이면 C_1 을, '2'이면 C_2 을 의미한다. 상태와 상태 사이의 가지는 부호어의 전송과 복호과정이 진행되어 가는 방향을 나타낸다.

신뢰도 해석을 위해서는 해당되는 사건의 발생확률을 가지위에 표시하고, 정보처리율을 해석하기 위

해서는 전송되는 심분수를 나타내는 색인을 가지에 표시한다. 변형된 II형 HARQ 방식의 신뢰도와 정보 처리율을 결정하기 위한 각각의 색인은 표 1과 같다. 메이슨 공식(Mason's formula)을 이용하여 흐름도에 대한 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{CA}{IT} = ac + \frac{ab(d+eg)}{1-ef} \quad (12)$$

표 1의 정보처리율 색인에서 변수 T^n 는 하나의 심분을 보내는데 필요한 단위시간, P_R 은 재전송을 야기시킬 확률, $1-P_R$ 은 부호어를 받아들일 확률, P_E 는 복호 오류(오정정확률)가 발생할 확률을 의미한다. 그리고 각 확률값의 아래첨자에서 '1'은 처음 전송, '2'는 재전송을 각각 나타내고, 위첨자는 규정된 부호어를 의미한다. 예를들면 $P_{R1}^{(1)}$ 은 C_1 을 사용하여 부호어를 처음 전송시킬때 재전송을 야기시킬 확률을, $P_E^{(2)}$ 는 C_2 을 사용하여 복호할 때 복호오류(오정정확률)를 의미한다. 정보처리율에 대한 생성함수는 표 1에 나타난 바와 같이 각 가지에서 정보처리율에 해당하는 색인을 식(12)에 대입함으로써 구해진다. 즉,

$$G(T) = T^n(1 - P_{R1}^{(1)}) + T^{2n} P_{R1}^{(1)} \left[\frac{1 - P_{R2}^{(1)} + P_{R2}^{(1)}(1 - P_R^{(2)})}{1 - T^n P_{R1}^{(1)} P_R^{(2)}} \right] \quad (13)$$

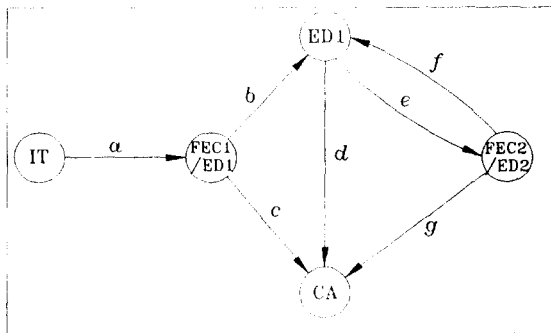


그림 2. 변형된 II형 HARQ 방식에 대한 상태도.
Fig 2. State diagram of a modified Type II HARQ system.

생성함수 $G(T)$ 를 T 로 편미분하여 T 에 1을 대입하면, 전송된 전체 심분의 수가 된다[9]. 따라서 정보처리율 η 는 단위시간당 전송되는 심분수에 대한 수신자가 받아들이는 정보심분수의 비를 뜻하므로 다음과

표 1. 정보처리율과 신뢰도 생성함수의 유도를 위한 그래프 색인

Table 1. Index for derivation of a generation function on throughput and reliability.

| 가지명 | 정보처리율 색인 | 신뢰도 색인 |
|-----|--------------------------|----------------|
| a | T^n | 1 |
| b | $P_{R1}^{(1)} \cdot T^n$ | $P_{R1}^{(1)}$ |
| c | $1 - P_{R1}^{(1)}$ | $P_{E1}^{(1)}$ |
| d | $1 - P_{R2}^{(1)}$ | $P_{E2}^{(1)}$ |
| e | $P_{R2}^{(1)}$ | $P_{R2}^{(1)}$ |
| f | $P_R^{(2)} \cdot T^n$ | $P_R^{(2)}$ |
| g | $1 - P_R^{(2)}$ | $P_E^{(2)}$ |

같이 계산할 수 있다:

$$\eta = k \cdot \left(\frac{\hat{c}}{\partial T} G(T) \Big|_{T=1} \right)^{-1} = \frac{k}{n} \cdot \frac{1 - P_{R2}^{(1)} P_R^{(2)}}{1 + P_{R2}^{(1)} - P_{R2}^{(1)} P_R^{(2)} + 2 P_{R1}^{(1)} P_{R2}^{(1)} P_R^{(2)}} \quad (14)$$

신뢰도는 상태도의 전달함수에 표 1의 신뢰도에 해당하는 색인을 대입함으로써 얻을 수 있다. 즉 수신측에서 복호된 부호어에 심분오류를 포함할 확률 $P(E)$ 는 다음과 같이 계산된다:

$$P(E) = P_{E1}^{(1)} + P_{R1}^{(1)} \cdot \frac{P_{E2}^{(1)} + P_{R2}^{(1)} P_E^{(2)}}{1 - P_{R2}^{(1)} P_R^{(2)}} \quad (15)$$

식 (10)과 식 (11)에서 구한 P_E 와 P_R 을 식 (14)와 식 (15)에 대입하면, 변형된 II형 HARQ 방식의 정보처리율과 신뢰도를 구할 수 있다.

V. 변형된 II형 HARQ 방식의 성능에 대한 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서는 변형된 II형 HARQ 방식에 MDS (maximum distance separable) 부호인 RS 부호를 사용한다. C_1 의 오류정정능력을 변화시키면서 변형된 II형 HARQ 방식의 성능을 정보처리율과 신뢰도의 관점에서 분석하고, 일반적인 II형 HARQ 방식 및 I형 HARQ 방식의 성능과 비교 평가한다.

HARQ 방식에 RS 부호를 사용하는 이유는 다음과 같다. RS 부호는 MDS 부호이기 때문에 오류검출과 정정을 동시에 하거나, 혹은 오류정정만을 위해 사용

할 경우 성능이 매우 뛰어나다. 그리고 강한 가역성(invertibility)과 강한 분리성(separability)을 가지고 있어서 II형 HARQ 방식에 매우 적합하기 때문이다 [9], [13].

본 논문에서 HARQ 방식에 사용하는 부호어의 각 심벌들은 GF(2⁸)에서 취한 것이다. GF(2⁸)에서 심벌을 취하는 RS 부호의 부호길이는 255이다. 따라서 C₁과 C₂는 부호길이가 255인 RS 부호를 단축해서 얻는다. C₁은 [50, 40] RS 부호, C₂는 [80, 40] RS 부호를 사용했다. C₁의 최소거리(minimum distance)는 11이므로 최대 5개의 심벌오류를 정정할 수 있고, C₂는 최소거리가 41이므로 최대 20개의 심벌오류를 정정할 수 있다. 본 논문에서는 C₂의 오류정정능력을 10, 오류검출능력을 30으로 선택했다.

그림 3과 4는 레일레이 페이딩 채널상에서 I형 HARQ 방식과 여러 형태의 II형 HARQ 방식의 정보 처리율과 신뢰도를 이론적으로 분석한 결과이다. AWGN 채널과 페이딩 채널에서의 성능 곡선이 비슷한 형태로 나타남을 알 수 있다. 동일한 오류정정능력을 부여한 같은 부호를 사용한다면, II형 HARQ 방식이 I형 HARQ 방식보다 정보처리율이나 신뢰도면에서 훨씬 좋은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

그러나 II형 HARQ 방식(t₁=0)보다는 오류정정능력을 각각 1, 2, 3 등으로 변화시킨 변형된 형태들이 일반적인 형태보다 정보처리율면에서는 훨씬 뛰어나지만, 신뢰도면에서는 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 오류정정능력을 2, 3으로 했을 때에 대해 정정능력을 1로 했을 때를 비교해 볼때 정보처리율이 증가하는 비율이 신뢰도가 감소하는 비율보다 훨씬 크다. 그리고 일반적인 II형 HARQ 방식에 대해 오류정정능력을 1로 했을 경우를 비교해 볼때 정보처리율이 증가하는 비율과 신뢰도가 감소하는 비율이 비슷하다. 따라서 오류정정능력을 1로 했을 경우 가장 좋은 성능을 나타낸다. 따라서 이런 최적의 정정능력을 찾아내는 것이 필요하다. 그리고 정정능력을 조절함으로써 정보처리율 성능과 신뢰도 성능사이의 적당한 절충(trade-off)을 할 수 있다.

그림 5와 6 그리고 그림 7과 8은 각각 AWGN 채널과 레일레이 페이딩 채널상에서 II형 HARQ 방식과 변형된 II형 HARQ 방식의 정보처리율에 대한 이론치와 모의실험 결과를 나타낸 것이다. 그림 7과 그

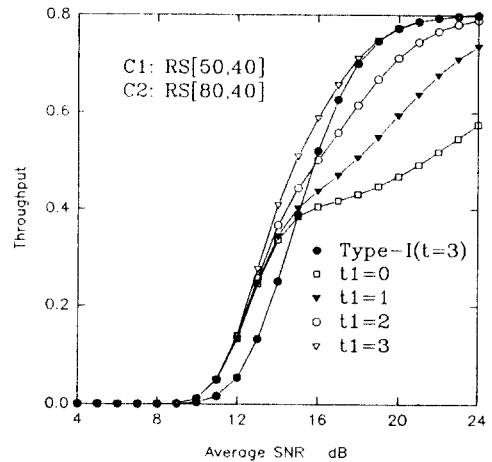


그림 3. 레일레이 페이딩채널에서 I형 HARQ 방식과 여러 형태의 II형 HARQ 방식의 정보처리율.
Fig 3. Throughput of Type I and Type II HARQ system in Rayleigh fading channel.

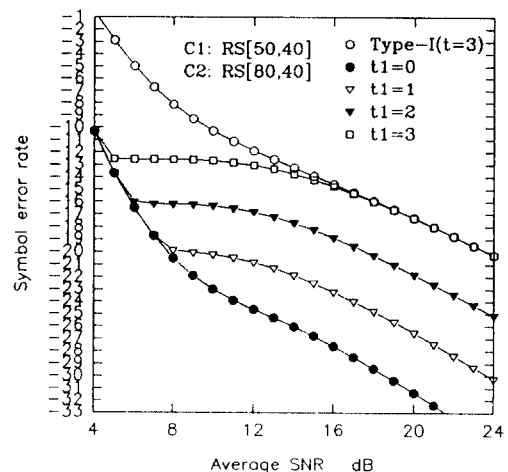


그림 4. 페이딩채널에서 I형 HARQ 방식과 여러 형태의 II형 HARQ 방식의 신뢰도.
Fig 4. Reliability of Type I and Type II HARQ systems in Rayleigh fading channel.

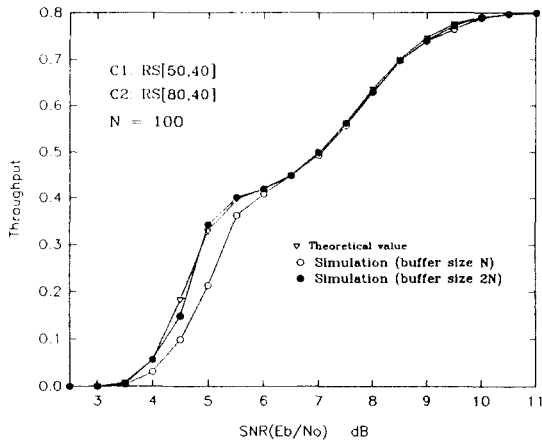


그림 5. AWGN 채널에서 일반적인 II형 HARQ 방식의 정보처리율(N=100).

Fig 5. Throughput of a general Type II HARQ system in AWGN channel.

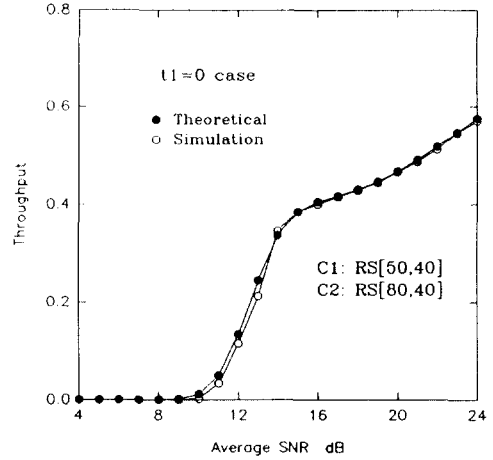


그림 7. 레일레이 페이딩채널에서 일반적인 II형 HARQ 방식의 정보처리율.

Fig 7. Throughput of a general Type II HARQ system in Rayleigh fading channel.

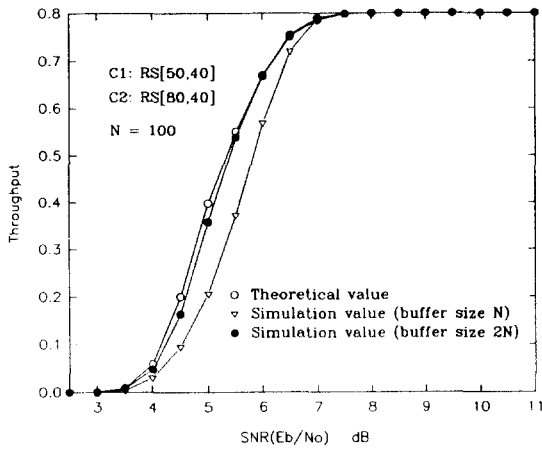


그림 6. AWGN 채널에서 변형된 II형 HARQ 방식의 정보처리율(N=100).

Fig 6. Throughput of a modified Type II HARQ system in AWGN channel.

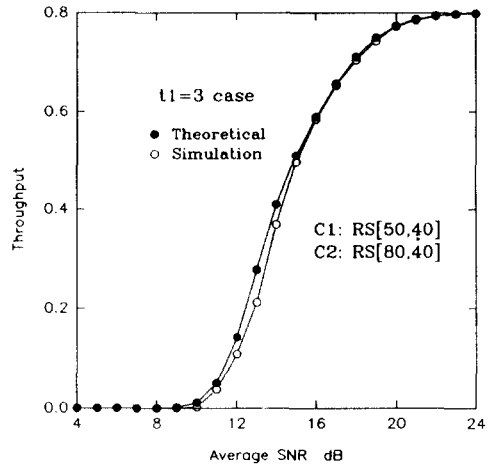


그림 8. 레일레이 페이딩채널에서 변형된 II형 HARQ 방식의 정보처리율.

Fig 8. Throughput of a modified Type II HARQ system in Rayleigh fading channel.

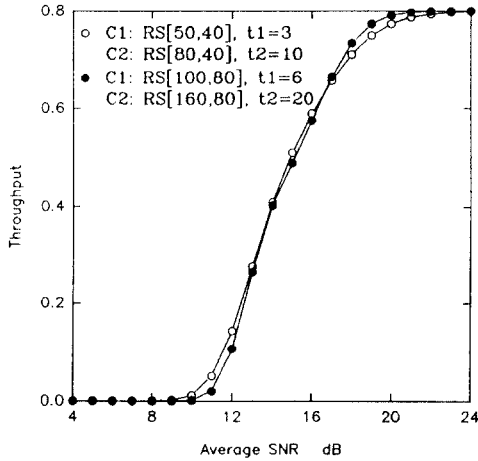


그림 9. 레이레이 페이딩채널에서 부호장의 변화에 따른 변형된 II형 HARQ 방식의 정보처리율.

Fig 9. Throughput of a modified Type II HARQ in Rayleigh fading channel as a function of code length.

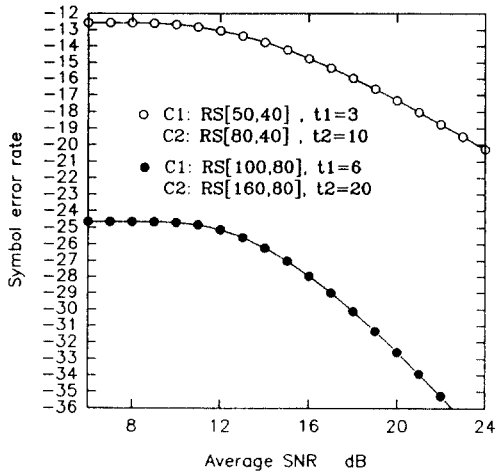


그림 10. 페이딩채널에서 부호장의 변화에 따른 변형된 II형 HARQ 방식의 신뢰도.

Fig 10. Reliability of a modified Type II HARQ in Rayleigh fading channel as a function of code length.

림 8에 나타난 변형된 II형 HARQ 방식에서 사용되는 부호 C_1 은 정정능력을 3으로 선택했다. 왕복지연 시간 N 은 100으로 선택했다. 수신단의 버퍼 크기는 AWGN 채널에서는 각각 $N, 2N$ 으로 선택해 모의실험을 수행했고, 수신단의 버퍼의 크기가 $2N$ 일 경우 이론치와 거의 비슷하기 때문에 페이딩 채널에서는 버퍼의 크기를 $2N$ 으로 했다.

그림 9과 10는 레이레이 페이딩채널상에서 부호장과 정정능력의 비는 일정하게 하고 부호장을 증가시키면서 변형된 II형 HARQ 방식의 정보처리율과 신뢰도를 비교한 그림이다. 이 그림에서 부호장을 증가시키면 정보처리율은 거의 비슷하지만 신뢰도는 훨씬 좋아짐을 알 수 있다. 이는 부호장이 클수록 정정가능한 오류패턴들을 더 많이 포함할 수 있기 때문이다. 그러나 부호장이 커지면 복호 알고리즘이 복잡하게 되어 복호시간이 길어지는 단점이 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 백색 가우시안 채널상에서 뿐만 아니라 레이레이 페이딩 채널상에서 변형된 II형 HARQ 방식, 일반적인 II형 HARQ 방식, I형 HARQ 방식의 정보처리율과 신뢰도의 성능을 각각 분석 비교해 보았다. II형 HARQ 방식이 I형 HARQ 방식보다 정보처리율과 신뢰도 성능이 훨씬 좋음을 알 수 있었다. 또한 부호장과 오류정정능력 비는 일정하게 하고 부호장을 증가시키면 정보처리율은 거의 같지만 신뢰도가 매우 좋아짐을 알 수 있었다.

그리고 변형된 II형 HARQ 방식이 일반적 II형 HARQ 방식보다 정보처리율면에서는 훨씬 뛰어나지만, 신뢰도면에서는 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 변형된 II형 HARQ 방식에서 정정능력을 증가시키면 정보처리율은 증가하지만 신뢰도는 떨어졌다. 그러나 정보처리율의 증가율이 신뢰도의 증가율보다 높은 오류정정능력을 찾을 수 있었다. 따라서 변형된 II형 HARQ 방식에서는 최적의 오류정정능력을 찾거나 오류정정능력의 적절한 선택을 통해 정보처리율과 신뢰도 사이에 적절한 절충을 함으로써 원하는 성능을 얻을 수 있을 것이다. 또한 부호장의 크기에 따른 복호시간 지연과 HARQ 방식의 성능사이에도 적당한 절충이 필요하다.

참 고 문 헌

1. S. B. Wicker, Error Control Systems for Digital Communication and Storage. Prentice Hall, 1995.
2. S. Lin and D. J. Costello, Jr., Error Control Coding. Prentice-Hall, 1983.
3. E. R. Berlekamp, R. E. Peile and S. P. Pope, "The application of error control to communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 25 pp. 44-57, April 1987.
4. S. Lin and P. S. Yu, "A hybrid-ARQ scheme with parity retransmission for error control of satellite channels," *IEEE Trans. Communications*, vol. COM-30, pp. 1701-1719, July 1982.
5. J. Du, M. Kasahara. and T. Namakawa, "Separable codes on type-II hybrid ARQ systems," *IEEE Trans. Communications*, vol. 36, pp. 1089-1097, Oct. 1988.
6. S. B. Wicker and M. J. Bartz, "The design and implementation of type-I and Type-II hybrid-ARQ protocols based on first-order Reed-Muller codes," *IEEE Trans. Communications*, vol. 42, pp. 979-987, April 1994.
7. Y. M. Wang and S. Lin, "A modified selective-repeat type-II hybrid ARQ system and its performance analysis," *IEEE Trans. Communications*, vol. COM-31, pp. 593-607, May 1983.
8. J. G. Proakis, Digital Communications. McGraw-Hill, 1989.
9. S. B. Wicker and M. J. Bartz, "Type-II hybrid-ARQ protocols using punctured MDS codes," *IEEE Trans. Communications*, vol. 42, pp. 1431-1439, April 1994.
10. S. B. Wicker, "RS error control coding for data transmission over Rayleigh fading channel with feedback," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 41, no 2, pp. 124-133, May 1992.
11. R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes. Addison-Wesley, 1983.
12. D. L. Lu and J. F. Chang, "Analysis of ARQ protocols via signal flow graphs," *IEEE Trans.*

Communication, vol. 37, no. 3, March 1989.

13. T. Kasami and S. Lin, "On the probability of undetected error for the maximum separable codes," *IEEE Trans. Communications*, vol. COM-32, pp. 998-1006, Sep. 1984.



李 丁 雲(Jung Woon Lee) 정회원
 1993년 2월: 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1996년 2월: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 1996년 3월~현재: 데이콤 종합연구소 연구원

※주관심분야: 부호 및 정보이론, 무선통신

梁 景 喆(Kyeong Cheol Yang) 정회원

1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월: 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1992년 12월: University of Southern California, 전기공학과 졸업(Ph.D.)
 1990년 6월~9월: Bellcore 연구원(미국 New Jersey주 Morristown 소재)

1993년 3월~현재: 한양대학교 전자통신공학과 조교수
 ※주관심분야: 부호 및 정보이론, 암호이론, 이산수학의 응용