論文2002-39TC-7-2

무선 ATM 환경에서 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 기법

(Hybrid ARQ scheme using RCPC codes in Wireless ATM Networks)

韓 恩 貞 *, 趙 榮 鐘 **

(Eun-Jung Han and Young-Jong Cho)

요 약

본 연구에서는 무선 ATM 환경에서 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스를 모두 고려한 새로운 하이브리드 ARQ 방법을 제안한다. 실시간 처리와 비 실시간 처리 서비스는 각각의 서비스 특성을 가지며 차별화 된 에러 제어 방법을 요구한다. 이러한 서비스 환경과 차세대 이동 통신 환경을 고려할 때 가변 부호율을 가진 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법은 최적의 해결책이 된다. 연속적으로 전송되는 프레임의 특성 및 채널 상태에 따라 가변적으로 부호율이 적용되므로 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법은 UEP의 효과를 가져온다. UEP는 모든 정보에 대해 동일한 에러 보호 수준을 적용하는 게 아니라 더 중요한 정보에 대해 높은 에러 보호를 적용하는 방법이다. 실시간 처리 서비스에 대해서는 에러 정정 능력이 높은 수준의 UEP를 적용하고, 비 실시간 처리 서비스에 대해서는 에러 정정 능력이 낮은 수준의 UEP를 적용하면서 재전송 기법을 사용하게 된다. 이러한 하이브리드 ARQ 방법은 채널의 이용 효율을 높이며 에러 정정의 처리율을 향상시킨다.

Abstract

In this paper, we propose a new hybrid ARQ scheme to consider real-time and non real-time services in a wireless ATM network. Real-time and non-real-time services require different error control schemes according to each service characteristics. Therefore, in the next generation mobile communication environments where these service scenarios should be deployed, hybrid ARQ scheme using RCPC code with variable coding rate becomes one of the most suitable solutions. Because the variable coding rate is applied according to traits of transmitted frame and channel status, hybrid ARQ scheme using RCPC code can expect UEP effect. The UEP scheme does not apply equal error protection level to all information, but does high error protection level to more important information. In Our scheme, UEP of high error protection level is applied to real-time service, and UEP of low error protection and retransmission techniques are applied to non real-time service. We show that the proposed hybrid ARQ scheme improves channel utilization efficiency and yields high error correction behaviors.

Keywords : RCPC codes, Hybrid ARQ, UEP, error control

* 正會員, 現代네트웍스
(Hyundai Networks)
** 正會員, 亞州大學校 情報및컴퓨터工學
(Division of Information and Computer Engineering, Ajou University)
※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:97 0100-14-01-5) 지원으로 수행되었음
接受日字:2002年1月8日, 수정완료일:2002年6月14日

Ⅰ. 서 론

무선 ATM 기술은 멀티미디어 이동 통신 서비스가 가능하도록 하는 종전의 ATM 기술에 무선 구간을 확장한 차세대 이동 통신망 기술이다. 무선 ATM 환경에서는 신뢰성 있는 고품질의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 여러 가지 에러 제어 방법들이 제시되고 있다. 본 논문에서는 고품질, 고속, 대용량을 요구하는 차세대 멀티미디어 서비스를 위해 실시간 처리 서비스(real-time service)와 비 실시간 처리 서비스(non-real-time service)를 고려한 적응적인(adaptive) 에러 제어 방법을 제안하고자 한다.

기존에 실시간 처리 서비스를 위한 에러 정정 방법으로는 적응적인 FEC(Forward Error Correction)를 고려하게 되고, 비 실시간 처리 서비스에 대해서는 재전송을 통한 에러 복구를 수행하였다. 그러나 본 논문에서는 두 서비스를 모두 만족시키는 통합된 환경을 고려한다. 지연에 민감한 실시간 처리 서비스와 손실 없는 전송을 요구하는 비 실시간 처리 서비스의 특성을 고려 할 때 이 통합된 환경에서는 차별화 된 하이브리드 ARQ (Automatic Repeat Request) 방법이 요구된다. 즉, 계속적으로 전송되는 프레임에 대해 각각 다른 에러 보호(error protection) 요구사항을 만족시킬 수 있는 하이브리드 ARQ 방법을 정의하여야 한다. 따라서 이러한 요구조건을 만족시키면서 대역폭의 낭비를 줄이고, 성능을 향상시키기 위해 RCPC(Rate-Compatible Puncturing Convolutional) 코드 방법을 고려할 수 있다. RCPC 코드는 다양한 채널 조건 및 서비스에 따른 여러 개의 채널 에러 제어(multi-rate channel error control) 기능을 제공하는 적응적인 FEC 코드이다.[1]

RCPC 코드 방법은 UEP(Unequal Error Protection)의 효과를 기대할 수 있다. UEP는 모든 정보에 대해 동일한 에러 보호 수준을 적용하는 게 아니라 더 중요한 정보에 대해 더 높은 에러 보호 수준을 적용하는 방법이다.[5, 8, 11] 고속, 고 품질의 비디오 전송 및 전송 데이터가 음성, 화상, 이미지와 같은 신호일 때 UEP의 필요성은 더욱 나타난다. 즉, 의미 있는 정보나 신속성과 정확성을 요구하는 정보에 대해 높은 수준의 UEP를 적용하게 되고, 이로써 높은 처리 성능을 가져오게 된다. 기존 논문에서 이미 UEP의 성능은 언급되어지고 있다.[7-11]

선 ATM 환경에서 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 무 ARQ 방법은 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스 각각에 대해 차별화 된 방법을 적용한다. 실시간 처리 서비스에 대해서는 코드색인(rate index)에 따른 RCPC 코드를 적용하고, 비 실시간 처리 서비스에 대해서는 실시간 처리 서비스에 비해 낮은 코드색인을 적용한 RCPC 코드와 재전송 방법을 사용한다. 제안하는 하이브리드 ARQ 기법의 성능 분석을 위해 무선 환경의 노이즈 AWGN(Additive White Gaussian Noise)과 Rayleigh 페이딩 채널 특성을 고려한다.

결과적으로 본 논문에서는 무선 ATM 환경에서 RCPC 코드를 적용한 하이브리드 ARQ 방법을 적용했을 때의 BER(Bit Error Rate), FER(Frame Error Rate)과 처리율(throughput)을 유도하고, 시뮬레이션을 통해 UEP의 성능과 동일한 에러 요구 조건을 갖는 EEP (Equal Error Protection)와의 성능을 비교 분석한다.

논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장은 시스템 환경을 소개하고, Ⅲ장은 본 논문에서 제안하는 하이브리드 ARQ 기법에 대해 설명하고, Ⅳ장은 본 논문에서 적용하고 있는 RCPC 코딩에 따른 성능분석을 나타낸다. Ⅴ장은 무선 ATM 환경에서 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 기법에 대한 모의 실험 결과를 보여준다. Ⅵ장은 본 논문의 마지막으로 결론을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 환경

1. 무선 ATM 환경

본 논문에서는 ATM 기반의 무선 광대역 서비스 및 무선 멀티미디어 서비스와 관련된 여러 프로젝트 중에서 RDRN(Rapidly Deployable Radio Network) 프로젝트를 근거로 한 시스템 모델을 사용한다. RDRN 프로젝트는 캔사스 대학에서 연구된 시스템으로 이동성의 지원 및 재구성의 용이성, 종단의 ATM LAN과 WAN의 통합된 연결 등을 지원하는 고속의 무선 ATM 시스템 개발을 목적으로 한다.[4]

RDRN의 아키텍처는 무선 ATM의 물리계층, 무선 MAC계층, W-DLC(Wireless-specific data link control) 계층, ATM 계층 등으로 구성된다. W-DLC 계층은 무선 상의 신뢰성 있는 데이터 전송을 제공한다. W-DLC 프로토콜은 음성과 같은 지연에 민감한 트래픽과 화상과 같이 손실에 민감한 트래픽 등을 분류하여 네트워크의 표준 ATM QOS 요구사항을 준수한다.

그림 1 은 RDRN 아키텍처에서 무선 ATM 프레임의

구조를 나타낸다. 기본적으로 무선 ATM 프레임은 한 개이상의 표준 ATM 셀 또는 W-DLC/W-MAC의 컨트롤 정보 등을 포함하는 가변 길이의 구조를 갖는다. 여러 개의 가상회선에서 발생된 ATM 셀들은 같은 W-DLC 트래픽 분류에 따라 같은 무선 ATM 프레임을 구성한다. 지연에 민감한 트래픽 전송 시, 에러를 수신하면 무선 ATM 프레임은 제거된다. 반면에 손실에 민감한 트래픽 전송은 에러를 수신하거나 데이터 손실이 있을 때 무선 ATM 프레임은 재전송 된다.

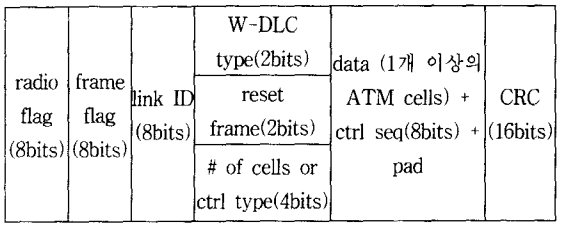


그림 1. 무선 ATM 프레임 형식
Fig. 1. Wireless ATM Frame Format.

그림 1의 무선 ATM 프레임에서 무선 플래그(radio flag)와 프레임 플래그(frame flag)는 무선 물리 계층의 헤더에 포함되는 정보이다. 링크 식별자(link ID)는 무선 MAC을 위한 정보이고, W-DLC 유형 등은 W-DLC 프로토콜의 프레임 형태와 컨트롤 정보를 나타낸다.[4]

2. 서비스 특성

무선 ATM 환경에서 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스를 모두 고려한 하이브리드 ARQ 시스템을 구축하기 위해서는 두 서비스의 특성을 이해하고, 각 요구사항을 최대한 만족시키도록 고려해야 한다. 표 1은 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스의 특성을 나타낸다. 실시간 처리 서비스는 지연에 민감하고 어느 정도의 데이터 손실을 허용하므로 적응적인 FEC를 이용한 에러 제어 방법을 사용하면 보다 효과적이다. 비 실시간 처리 서비스는 손실에 민감하나 어느 정도의 지연을 허용하므로 재전송을 통한 에러 복구가 가능하다. 따라서 ARQ 방법을 이용한 에러 제어 방법을 사용하게 된다.

표 1. 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스 특성
Table 1. real-time and non-real-time service characteristics.

실시간 처리 서비스	비 실시간 처리 서비스
• 음성, 화상 등의 서비스 • 지연에 민감 • 제한된 데이터 손실 허용 • 비 실시간 처리 트래픽에 비해 지속적인 전송 • BER : 10^{-3} ~ 10^{-7}	• 원거리 로그인(remote login), FTP, 이메일 등의 서비스 • 손실에 민감 • 어느 정도 지연 허용 • BER : 10^{-5} ~ 10^{-8}

본 연구에서는 두 서비스의 특성과 요구사항을 만족시키기 위해서 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법을 제안한다.

Ⅲ. 제안하는 하이브리드 ARQ 기법

제안하는 방법은 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법이다. 본 장에서는 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법의 블록 구조도와 동작원리에 대해 기술한다.

1. RCPC 코드

RCPC 코드는 다양한 채널 조건에 따라 여러 부호율(code rate)을 가지고 채널의 에러 제어를 제공한다. 즉, 연속적으로 전송되는 데이터 프레임 내에 각각에 대한 에러 보호 요구사항에 맞게 부호율을 정의한다. 그림 2는 일반적으로 고려되어지는 부호어의 전송 방법을 나타낸 것이다. SSI(Source Significance Information)는 송신 단에서 각 송신 데이터에 대한 에러 보호 요구사항 등을 보내는 정보이고, CSI(Channel State Information)는 채널 상태에 대한 기록을 나타내는 정보이다.[1]

RCPC 코드는 천공 콘볼루션(puncturing convolutional) 코드에 의해 만들어진다. 천공 콘볼루션 코드의 부호율은 보통 (n−1/n)의 형태로 사용된다. 이러한 콘볼루션 코드에 천공 절차를 적용하여 가변의 부호율을 구현한다.[1] 천공 콘볼루션 코드는 천공 절차를 통해 일부 데이터를 '0'으로 천공(삭제)하여 새로운 심볼을 만들게 된다. 그리고 역으로 수신 단에서는 심볼이 지워진 자리에 널 심볼(null symbol)을 삽입하여 복호화 함으로써 에러를 복구하게 된다. 이러한 천공 콘볼루션 코드를 적용하여 일정한 규칙에 따라 코드를 정의한 것이 RCPC 코드이다.

RCPC 코드의 부호율은 $P/(P + l)$과 같다. P는 천공 주기이고, l은 P 정보 비트마다 추가적으로 전송되는 비트 수이다. 여기서 높은 부호율은 낮은 부호율의 집합

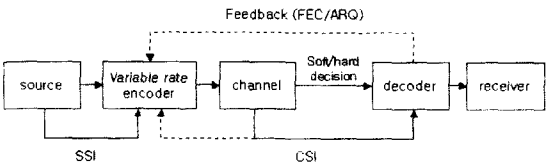


그림 2. 일반적인 부호어 전송 방법
Fig. 2. General Coded transmission scheme.

에 포함되는 관계를 볼 수 있다. 예를 들어, P의 주기 값이 4이면, 4/5, 4/6, 4/7, 4/8 등의 가변적인 부호율을 갖을 수 있고, 높은 부호율 4/5는 낮은 부호율 4/8에 속하게 된다. 이때 4/8은 어미 코드(mother code)가 된다. 만약 높은 부호율로 에러 정정이 안 된다면, 보다 낮은 부호율에 따른 여분의 정보를 다시 전송하게 된다. 그림 3은 연속적으로 전송되는 n개의 프레임에서 각각 RCPC 코드에 따른 코드색인과 부호율이다. 처음 프레임 n_1을 전송할 때 코드색인은 M_1이 되고, 해당 부호율에 해당하는 R_1을 전송하게 된다. 이때 채널 상태 및 프레임의 에러 보호 요구사항에 따라 다음 프레임 n_2에서 코드색인 M_2에 해당하는 부호율 R_2를 전송하게 된다.[1]

본 논문에서 참고하는 천공표는 표 2와 같다. 여기서

	n_q	...	n_3	n_2	n_1
Code index	$M_q >$	...	$M_3 >$	$M_2 >$	M_1
Code rate	$R_q <$	...	$R_3 <$	$R_2 <$	R_1
Perforation Matrix	a_q	...	a_3	a_2	a_1
Free Distance	$d_q >$	...	$d_3 >$	$d_2 >$	d_1

그림 3. 연속적인 프레임에 할당되는 RCPC 코드 값
Fig. 3. Assigned RCPC code values in a series of frame.

표 2. 천공 표
Table 2. puncturing table.

8/9	8/10	8/12	8/14	8/16
1111 0111	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111
1000 1000	1000 1000	1010 1010	1110 1110	1111 1111
0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000	0000 0000

8/18	8/20	8/22	8/24
1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111
1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1111
1000 1000	1100 1100	1110 1110	1111 1111

고려되는 어미 코드는 1/3이고, 메모리는 4, 천공주기는 8로 정의하였다.

RCPC 코드는 천공 표에 근거해서 피드백 정보에 의한 코드색인 변화가 발생한다. 표 3은 RCPC 코드의 코드색인을 나타낸다.

표 3. 코드색인 표
Table 3. rate index table.

code index	1	2	4	6	8	10	12	14	16
code rate	8/9	8/10	8/12	8/14	8/16	8/18	8/20	8/22	8/24

위의 코드색인에 근거해서 연속적으로 전송되는 프레임에 대해 각 부호율이 적용되게 됨으로써 채널의 이용효율을 높일 수 있으며, 신뢰성 있는 데이터 전송의 높은 처리율을 기대 할 수 있다. 기존에 적응적인 FEC 방법들이 많이 제안되고, 연구되어지고 있지만 그 중 가장 신뢰할 수 있고, 좋은 성능을 기대할 수 있는 방법으로 RCPC 코드가 언급되어지고 있다. RCPC 코드에 대한 부호율과 처리율에 따른 성능 분석은 V장에서 기술하도록 한다.

2. 제안하는 시스템의 블록 구조도

그림 4는 본 논문에서 제안하는 하이브리드 ARQ 시스템의 블록 구조도 이다.

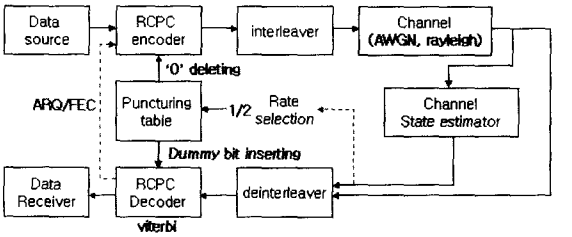


그림 4. 블록 구조도
Fig. 4. Block diagram.

그림 4에서는 단계적으로 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 시스템을 보여준다. 송신 단에서 데이터를 인코딩할 때 RCPC 인코더는 천공 표에 근거해서 인코딩을 수행한다. 이때 해당 부호율의 천공 표에서 '0'에 해당하는 부분은 삭제를 시켜서 전송하므로 채널의 이용효율을 높일 수 있게 된다. 부호율의 변화는 어미 코드에 근거한 부호율이 적용된다.

수신 단에서 디코딩과정에 들어가면, 이때 널 비트를 삽입시키고 데이터를 복구하게 된다. 채널의 특성 및 서비스의 특성에 따라 부호율이 변경이 되며, 이는 피드백 정보의 하나로써 송신 단의 인코딩에 영향을 미치게 된다.

실시간 처리 서비스를 전송할 때에는 대체로 낮은 부호율을 적용한 RCPC 코드로써 동작하게 되고, 비 실시간 처리 서비스를 전송할 때는 대체로 높은 부호율을 적용한 RCPC 코드로써 동작하게 된다. 이때 비 실시간 처리 서비스의 경우는 어느 정도 지연을 허용하게 되므로 재전송을 수행하게 된다. 즉, 각 RCPC 코드에서 허용하는 부호율로도 에러 정정이 안되면 이때 선택적 재전송(selective repeat) ARQ 방식을 적용하게 된다. 다음절에서는 본 논문에서 제안하는 하이브리드 ARQ 방법의 동작원리를 기술한다.

3. 하이브리드 ARQ 방법의 동작원리

본 논문에서는 무선 ATM 환경에서 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스를 모두 만족하는 에러 제어를 위해서 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 기법을 고안하게 되었다.

1) 실시간 처리 서비스를 위한 하이브리드 ARQ 기법

무선 ATM 환경에서 실시간 처리 서비스 전송에 대한 에러 제어를 위해 대체로 낮은 부호율을 적용한 RCPC 코드를 사용하게 된다. 실시간 데이터 처리 시, 처음 프레임 전송 시에는 코드색인 4에 해당하는 부호율 8/12로 전송되어 진다. 이때 수신 단에서 에러 정정이 이루어지지 않으면 코드색인 8에 해당하는 부호율 8/16에 해당하는 여분의 정보에 대해 송신 단에서 재전송이 이루어진다. 이는 Type-2 하이브리드 ARQ 방식의 하나가 된다. 여기서 적용하는 어미 코드는 8/24이다. 실시간 처리 서비스는 지연에 민감하고 어느 정도의 손실을 허용하므로 RCPC 코드를 적용한 FEC 방법만으로 에러 제어를 하게 된다. 실시간 처리 서비스가 허용할 수 있는 지연시간은 지극히 작은 값이 할당된다. 따라서 손실 발생에 대한 에러 정정을 위해 여분의 정보를 재전송하는 시간을 제한적으로 허용한다. 본 논문에서는 이러한 특성을 고려하여 표 4와 같은 코드색인과 부호율을 가정하였다. 표 4는 실시간 처리 서비스를 위한 하이브리드 ARQ 방법에서 사용하는 RCPC 코드의 코드색인을 나타낸다.

2) 비 실시간 처리 서비스를 위한 하이브리드 ARQ 기법

비 실시간 처리 서비스 전송에 대한 에러 제어는 실시간 처리 서비스에 비해 대체로 높은 부호율을 적용한 RCPC 코드를 사용하게 된다. 비 실시간 데이터 처리 시, 처음 프레임 전송 시에는 코드색인 2에 해당하는 부호율 8/10으로 전송되어 진다. 이때 수신 단에서 에러 정정이 이루어지지 않으면 코드색인 6에 해당하는 부호율 8/14에 해당하는 여분의 정보에 대해 송신 단에서 재전송이 이루어진다. 이러한 방법으로 각 프레임의 특성과 채널 조건에 따라 점차로 낮은 부호율을 적용하게 된다. 마찬가지로 이는 Type-2 하이브리드 ARQ 방식의 하나가 된다. 여기서 적용하는 어미 코드는 실시간 처리 서비스와 같은 8/24이다. 비 실시간 처리 서비스는 지연을 허용하고, 손실에 민감하므로 FEC와 ARQ 방식이 적절히 배합된 하이브리드 방식이 적합하다. 따라서 비 실시간 처리 서비스는 지연의 허용 값이 크므로 표 5와 같은 여러 부호율을 적용할 수 있으며 만약 8/24의 부호율에 의해서도 에러 정정이 되지 않으면 선택적 재전송 ARQ 방식에 의한 재전송이 발생한다. 일반적으로 수신 단에서 데이터를 완전히 수신하기 전까지 재전송을 하는 것이 기본적인 가정이나 본 논문에서는 재전송을 해서 에러 정정이 충분히 이루어질 정도의 한정된 재전송 횟수를 부여해도 에러가 발생되는 경우에는 상위 계층에서 처리하도록 가정한다. 표 5는 비 실시간 처리 서비스를 위한 하이브리드 ARQ 방법에서 사용하는 RCPC 코드의 코드색인을 나타낸다.

위에서 언급하고 있는 RCPC 코드는 가변의 부호율을 능동적으로 적용함으로써 UEP의 효과를 가져온다. 즉, 모든 프레임에 동일한 에러 보호 요구사항을 적용하는

표 4. 실시간 처리 서비스를 위한 코드색인
Table 4. rate index for real-time service.

code index	4	8	16
code rate	8/12	8/16	8/24

표 5. 비 실시간 처리 서비스를 위한 코드색인
Table 5. rate index for non-real-time service.

code index	2	6	8	12	16
code rate	8/10	8/14	8/16	8/20	8/24

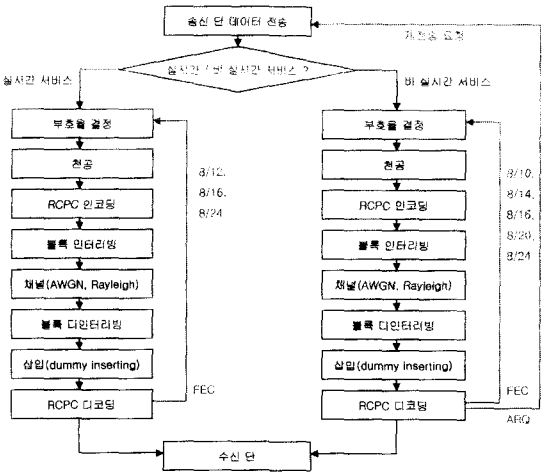


그림 5. 실시간/비 실시간 처리 서비스에 대한 전송 구조
Fig. 5. Transmission system for real-time / non-real-time service.

것이 아니라 각각의 프레임 특성 및 채널 특성에 맞게 유동적인 에러 보호 요구사항을 적용하게 된다. 이러한 효과는 채널 이용 효율 뿐 아니라 에러 제어에 대한 처리율을 높이게 된다. 이를 UEP 효과라고 말한다. 그림 5는 위에서 언급된 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스에 대한 전송 구조를 도식화 한 것이다.

4. UEP의 기대 효과

UEP는 블록 코드나 콘볼루션 코드 등 모두에 적용 가능한 방식이며 다른 정보에 비해 더 중요한 정보에 더 높은 에러 보호 요구사항을 적용하는 차별화 된 에러 제어 방법이다.[7, 9] 모든 서비스는 동일한 에러 보호 수준을 요구하지 않는다. 즉, 비디오 스트림 전송 시에도 더 중요한 프레임이 있으며 그 프레임에 더 높은 에러 보호 수준을 할당하게 된다.[8]

본 논문에서는 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스를 두 개의 큰 그룹으로 보고 각각에 대해 높은 수준의 UEP, 낮은 수준의 UEP를 적용한다. 앞서 언급했듯이 높은 수준의 UEP로 간주되는 실시간 처리 서비스에 대해서는 낮은 부호율을 적용함으로써 보다 높은 처리 효율을 가져오게 하였고, 낮은 수준의 UEP로 간주되는 비 실시간 처리 서비스에 대해서는 보다 높은 부호율과 재전송 기법을 적용하여 에러 제어를 하였다.

UEP는 여분의 정보를 갖지 않고 전송되는 방대한 에러에 대한 제어 방법에서 제안되기 시작하였다. 즉, 비디오 전송 스트림 내 비트(I-프레임 등)나 ATM 셀 내 중요 비트(헤더 등)를 고려하면서 UEP의 개념을 정립하였다. 전송 데이터가 음성, 화상, 이미지 등과 같은 신호일 때 UEP의 필요성은 더욱 나타난다. 즉, 의미 있는 비트는 덜 의미 있는 비트보다 더 중요하기 때문에 의미 있는 비트에게 더 높은 에러 보호 수준을 적용함으로써 높은 성능을 기대할 수 있다. 특히 UEP는 고속, 고 품질의 비디오 전송 등에서 EEP 보다 나은 성능을 보인다. 이러한 UEP의 특성은 기존 논문에서 많이 언급되어지고 있다. 하이브리드 ARQ 방식에서는 효율적인 여분의 정보 사용이 요구되므로 UEP는 이러한 특성에 적당하며 채널 사용의 효율성을 가져온다.

Ⅳ. RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ의 성능분석

본 장에서는 RCPC 코드의 부호율에 대해서 살펴보고, 에러 제어 시스템에서 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법의 처리율을 계산한다. RCPC 코드는 어미코드 1/N을 갖는다. RCPC 코드의 부호율은 식(1)과 같이 표현할 수 있다. P는 천공주기를 나타내고, l은 P 정보 비트마다 추가적으로 전송되는 비트 수를 나타낸다.[1]

$$r=\frac{P}{P+l}, \qquad l=1,2,\ldots,(N-1)P \tag{1}$$

RCPC 코드는 P/(P+1)에서 1/N사이의 값을 가지며, '0'과 '1'로 구성된 천공 표를 가진 부호율에서 '0'은 삭제를 의미한다. 식(1)에 근거해서 식(2)과 같이 전체 전송되는 프레임의 평균 부호율 R을 구할 수 있다.

$$R=\frac{\sum_{k=1}^{K} n_k}{\sum_{k=1}^{K} n_k \cdot (P+ l_k)/P} \tag{2}$$

식(2)은 K개의 프레임을 전송했을 때의 평균 부호율을 계산한다. 이러한 평균 부호율의 계산식은 기존의 다른 에러 제어 방법들의 평균 부호율과 비교될 수 있다.

식(3)은 RCPC 코드의 평균 처리율을 나타낸다.

$$\eta_{AV}=\frac{n}{n+c}\cdot\frac{P}{P+ l_{AV}} \tag{3}$$

n은 정보 비트를 나타내며, c는 패러티 체크 비트를 나타낸다. 식(3)에서 보여주는 평균 처리율은 원래의 송신 정보 비트 n을 전송하기 위해 필요한 정보 비트의

총 정보 비트 수 (n+c)에 평균 부호율을 곱한 비율이 된다. l_{AV} 는 P 정보 비트마다 추가적으로 전송되는 평균 비트 수로써 FER에 영향을 받는다. 이는 식(4)과 같이 정의한다.

$$l_{AV}=\sum_{k=1}^{K} l_k(1-P_{EF}(l_k))\cdot\prod_{i=0}^{k-1}P_{EF}(l_i) + l_K\prod_{i=0}^{K}P_{EF}(l_i) \quad (4)$$

$$FER=P_{EF}(l_k) \quad (5)$$

여기서 $P_{EF}(l_0)=1$이라고 정의하고, $P_{EF}(l_K)$는 FER로써 나타낼 수 있다. 위 식(2), (4), (5)에 의한 수식 모델은 실제 모의 실험을 통한 평균 처리율 결과와 비교해 볼 수 있다. 앞서 언급한 수학적 분석 모델은 RCPC 코딩에 따른 수학적 성능분석이다.

본 연구에서는 선택적 재전송 ARQ 방법을 채택하여 하이브리드 ARQ 방법을 고려한다. 선택적 재전송 ARQ 방법의 처리율 식은 식(6)과 같다.[3]

$$\eta_{SR}=\left(\frac{k}{n}\right)\left(\frac{1}{T_r}\right)=R(1-P_r) \quad (6)$$

$$\begin{aligned}T_r&=(1-P_r)+2P_r(1-P_r)+3P_r{}^2(1-P_r)+\cdots\\&=(1-P_r)\sum_{k=1}^{\infty}k\,P_r{}^{k-1}\\&=(1-P_r)\frac{\partial}{\partial P_r}\left(\sum_{k=0}^{\infty}P_r{}^k\right)\\&=(1-P_r)\frac{\partial}{\partial P_r}\left(\frac{1}{1-P_r}\right)=\frac{1}{1-P_r}\end{aligned} \quad (7)$$

T_r은 하나의 패킷이 전송되기 위해 걸리는 평균 전송 시간으로 식(7)과 같다. P_r은 재전송 요청에 대한 확률 값이다. FEC 시스템에서 부호율 R = k/n으로 나타낼 수 있으며, 식(7)을 대입하면 식(6)과 같은 선택적 재전송 ARQ 방법의 처리율을 얻을 수 있다. 다음 장의 모의 실험에서는 선택적 재전송 ARQ 방법을 적용하여 하이브리드 ARQ에 대한 처리량을 계산하였다.

V. 모의 실험

본 모의 실험은 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 시스템의 성능 평가를 목적으로 수치 모델에 따른 결과와 실제 RCPC 코드 구현을 통한 모의 실험 결과를 제시한다. 가변 길이의 무선 ATM 프레임 단위의 RDRN 무선 ATM 프로젝트 환경을 근거로 하였으며, 무선 환경에서의 AWGN과 Rayleigh 페이딩 채널 환경을 고려하였다.

본 모의 실험에서는 SNR(Signal-to-Noise Ratio)에 따른 BER과 FER의 성능을 보고, RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ의 성능을 평가하는 처리율을 보도록 한다. 또한 UEP 방법을 적용한 본 논문의 하이브리드 ARQ 방식과 기존의 EEP 방법을 적용한 하이브리드 ARQ 방식의 성능을 비교해 본다. 이러한 결과는 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법이 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스에 대한 에러 제어 방법으로 적절하다는 근거가 될 것이다.

1. 모의 실험 환경

표 6은 모의 실험을 위해 적용한 환경 변수를 표로 나타내었다.

표 6. 모의 실험 환경 변수
Table 6. simulation parameters.

항목		값
프레임 길이(1~10개의 ATM 셀)		6개(최적의 ATM 셀 개수)
채널 환경		AWGN, Rayleigh
변복조 방식		BPSK
CRC 방법		CRC-16
FEC 방법		RCPC
주파수 대역		5.2GHz
RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 구현	제한 길이 (K)	7
	메모리 (M)	4
	천공 주기 (P)	8
	어미 코드 (r)	1/3
	디코딩 알고리즘	Viterbi(Soft decision)
	재전송 방법	선택적 재전송 ARQ

본 모의 실험은 SUN OS 상에서 C로 구현된 RCPC model을 이용하였으며, 표 6과 같은 환경 변수를 적용하였습니다. 또한 1개 이상의 ATM 셀을 포함하는 가변 길이 프레임 구조를 가지며, 기존 논문에 근거하여 최적의 ATM 셀 개수 6 개를 포함한 프레임을 가정하여 모의 실험을 하였다. 변복조 방식으로 BPSK을 사용하였으며, 프레임 내 에러 검출을 위한 CRC 방법으로 CRC-16을 적용하였다. 채널 환경은 AWGN와 단말의 속도를 15km/h로 인해 발생하는 Rayleigh 환경을 고려하였다. RCPC 코드 구현을 위한 각각의 요소로서 표 6과 같은 값으로 구현하였다.

2. 모의 실험 결과

그림 6은 한 프레임 내에 ATM 셀 수를 6개로 가정하여 AWGN의 채널 환경에서 모의 실험하였다. 여러 부호율 r에 대해 SNR에 따른 BER의 결과를 나타내고 있으며 같은 SNR에서 부호율이 낮을수록 더 나은 BER 값을 보여준다.

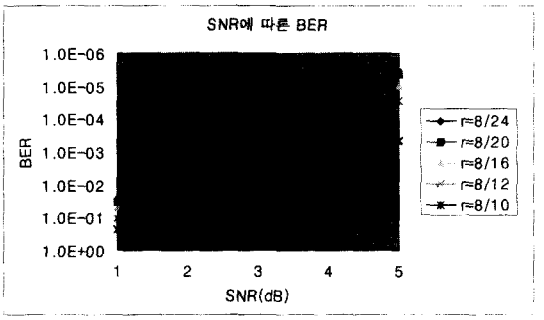


그림 6. AWGN환경에서의 SNR에 따른 BER
Fig. 6. Bit error rate according to signal-to-noise in an AWGN channel.

그림 7은 SNR에 따른 FER 결과를 보여준다. 위 모의 실험과 마찬가지로 한 프레임 내에 ATM 셀 수를 6개로 가정하여 AWGN의 채널 환경을 고려하였다. 그림 7은 같은 SNR에서 부호율이 낮을수록 더 나은 FER 값을 보여준다.

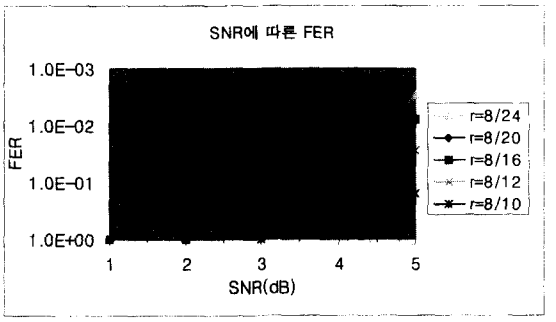


그림 7. AWGN환경에서의 SNR에 따른 FER
Fig. 7. Frame error rate according to signal-to-noise in an AWGN channel.

그림 8은 AWGN 환경에서 RCPC 코드를 적용한 하이브리드 ARQ 시스템의 처리율을 모의 실험을 통한 결과와 수학적 모델에 의한 결과를 비교한 것이다. 그림 8의 결과를 얻기 위해 한 프레임의 크기는 2360이라 하였고, 천공 주기 P는 8, 어미 코드는 1/3, 추가 정보 비트 l은 2, 4, 6, 8, 12, 16의 값을 할당하여 모의실험 하였다. 수학적 모델에 의한 결과는 BER을 고려한 SNR 값을 적용하여 하이브리드 ARQ의 처리율을 계산하였다. 여기서 재전송 방법은 선택적 재전송 ARQ 방법을 적용하여 모의 실험하였다. 그림 8의 결과에서 보듯이 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ의 처리율은 채널 상태가 좋지 않더라도 어느 정도의 처리율을 갖게 된다.

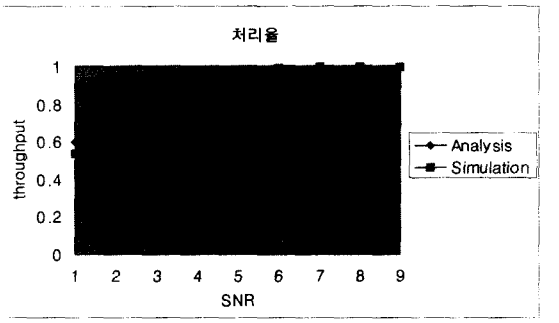


그림 8. AWGN 환경에서 하이브리드 ARQ의 처리율
Fig. 8. Throughput of the hybrid ARQ scheme.

그림 9는 AWGN 환경에서 RCPC 부호율에 따른 처리율을 나타낸 것이다. 어미코드가 8/24일 경우와 8/16일 경우를 고려하여 처리율을 계산해 보았다. 이 결과는 채널 환경이 좋지 않은 상태에서 RCPC의 부호율이 더 낮은 값이 더 나은 성능을 가진다는 것을 보여준다.

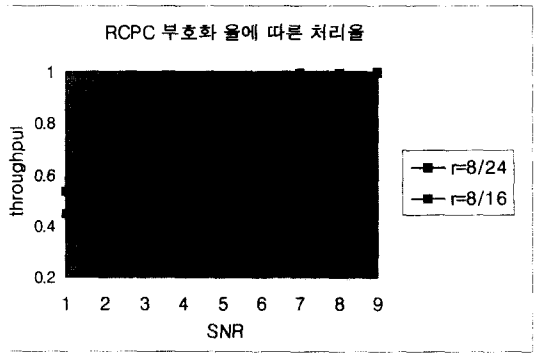


그림 9. RCPC 부호율에 따른 처리율
Fig. 9. Throughput according to RCPC code rates.

그림 10은 Rayleigh 환경에서 RCPC 부호율에 따른 처리율을 나타낸 것이다. Rayleigh 페이딩 환경을 고려한 모의 실험에서는 SNR 값이 낮을 수록 더 낮은 처리율을 보여준다.

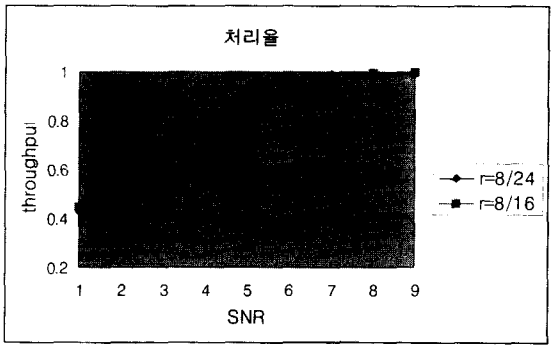


그림 10. Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 RCPC 부호율에 따른 처리율

Fig. 10. Throughput according to RCPC code rates in a Rayleigh fading channel.

마지막으로 그림 11은 UEP 방법을 적용한 본 논문의 하이브리드 ARQ 방식과 기존의 EEP 방법을 적용한 하이브리드 ARQ 방식의 성능을 비교한 결과이다. UEP의 처리율은 그림 8의 모의 실험 환경과 동일하게 각 서비스에 대해 차별화 된 부호율을 적용했을 때의 결과를 나타낸 것이고, EEP의 처리율은 여러 다른 서비스에 대해서 같은 조건을 주고 에러 제어를 모의 실험한 결과이다. EEP의 처리율 계산을 위해 평균 부호율을 1/2로 하고 결과를 도출하였다. EEP 환경에서 낮은 부호율을 정의한다고 하여 항상 좋은 결과를 얻을 수 있는 것은 아니다. 채널 환경이 좋아지면 불필요한 정보 비트의 낭비를 가져 올 수 있기 때문이다.

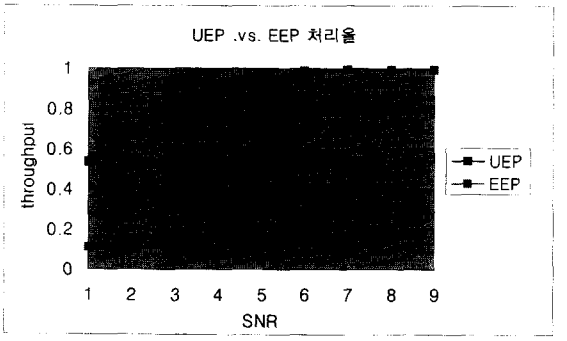


그림 11. UEP와 EEP의 처리율 비교

Fig. 11. Throughput comparison of unequal and equal error protections.

VI. 결 론

본 논문에서는 무선 ATM 환경에서 실시간 처리 서비스와 비 실시간 처리 서비스를 모두 만족시키는 에러 제어 방법으로 RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법을 제안하였다. 이 방법은 적응적인 FEC 방법 중의 하나로써 채널 이용의 효율성 및 에러 정정의 성능을 높일 수 있는 최적의 해결책이다. RCPC 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방법은 연속된 프레임의 전송에서 각각의 프레임에 대해 가변의 부호율을 적용하여 차별화된 에러 보호 수준을 제공함으로써 UEP의 효과를 가져온다. 실시간 처리 서비스에 대해서는 높은 수준의 UEP가 적용되고, 비 실시간 처리 서비스에 대해서는 낮은 수준의 UEP가 적용된다. UEP의 효과는 차별화 된 서비스, 음성, 화상, 이미지 등에서 EEP 보다 더 나은 성능을 가져온다는 것을 본 논문을 통해 확인 할 수 있다. 또한 여러 시스템의 새로운 에러 제어 방법의 하나로써 제안 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] J. Hagenauer, "Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes(RCPC codes) and their Applications", IEEE Trans. Comm., Vol. 36, No. 4, April 1988.

[2] S. Lin, D. J. Costello, "Error Control Coding: Fundamentals and Applications", Prentice Hall, 1983.

[3] S. B. Wicker, "Error Control Systems for Digital Communication and storage", Prentice Hall, 1995.

[4] R. J. Sanchez, F. F. Wahhab, J. B. Evans, V. S. Frost, G. J. Minden, "Design and Evaluation of an Adaptive Data Link Control Protocol for Wireless ATM Networks", GLOBECOM'98, November 1998.

[5] Z. Sun, S. Kimura, Y. Ebihara, "Adaptive two-level Unequal error protection convolutional code scheme for wireless ATM networks", INFOCOM 2000, 2000.

[6] J. B. Cain, "A Recommended Error Control Architecture for ATM Networks with Wireless Links", IEEE JSAC., Vol. 15, No. 1, Jan. 1997.

[7] I. M. Boyarinov, G. N. Katsman, "Linear Unequal Error Protection Codes", IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-27, No. 2, March 1981.

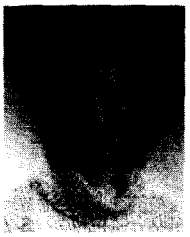
[8] A. R. Calderbank, N. Seshadri, "Multilevel codes for Unequal error protection", IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.39, July 1993.

[9] B. Masnick, J. Wolf, "On Linear Unequal Error Protection Codes", IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.13, No.4, Oct. 1967.

[10] W. J. V. Gils, "Two topics on linear unequal error protection codes : bounds on their length and cyclic code classes", IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-29, No. 6, Nov. 1983.

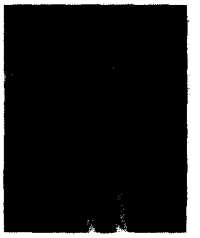
[11] M. Matsunaga, R. Kohno, "Adaptive unequal error protection scheme using several convolutional codes", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E81-A, No.10, Oct.1998.

저 자 소 개



韓 恩 貞(正會員)

1999년 : 아주대학교 정보통신대학 컴퓨터공학과 학사. 2002년 : 아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과 석사. 2002년 : 현대네트웍스 연구원. <주관심분야 : 광대역 통신, 초고속 인터넷 통신 등>



趙 榮 鐘(正會員)

1983년 : 서울대학교 전자공학과 학사. 1985년 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 석사. 1989년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사. 1990년 : 금성정보통신연구소 책임연구원. 1991년 : 미국 AT&T Bell Lab 교환연구원. 1993년 : LG정보통신연구소 ATM 교환실 실장. 1996년 : 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 조교수. 2000년 : 아주대학교 정보및컴퓨터공학교 부교수. <주관심분야 : 광대역 통신, 유/무선 ATM, 큐잉시스템, 성능분석, 초고속 인터넷 장비 개발>