

무선 데이터 서비스를 위한 이중모드 SR ARQ 메카니즘의 성능 분석

정희원 박 성 수*, 송 영 재*, 조 동 호**, 김 영 섭***, 이 상 연***

Performance Analysis of Dual-mode Selective Repeat ARQ Mechanism for Wireless Data Service

Seong-Soo Park*, Young-Jae Song*, Dong-Ho Cho**,
Young-Sup Kim***, Sang-Yun Lee*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 데이터 서비스를 위한 재전송 기반의 오류복구를 수행하는 DSR(dual-mode selective repeat) ARQ 메카니즘을 제안하였다. DSR 방안에서는 정상 전송모드와 복구모드의 2가지 전송모드를 지원한다. 정상 전송모드에서 ACK 응답은 이전 프레임까지의 확인응답을 포함하게 되며, NAK 응답은 현재 프레임에 대한 응답의 의미만을 가진다. 따라서 이전 프레임에 대한 복구가 완료되지 않은 상태에서도 현재 프레임에 대한 재전송이 가능하도록 하였다. 또한 복구모드에서는 송수신 버퍼가 full일 경우 발생하는 성능의 저하를 막기위해 송신 버퍼의 첫 번째 프레임과 오류 프레임에 대한 중복 재전송을 수행함으로써 빠른 복구가 가능하도록 하였다. DSR 메카니즘에 대한 성능분석 결과, 무선 채널과 같은 환경에서 SR 메카니즘에 비해 우수한 데이터 프레임 전송성능을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose DSR(dual-mode selective repeat) ARQ which performs error recovery based on retransmission for wireless data service. DSR mechanism supports two different modes such as normal transmission and recovery mode. In normal transmission mode, ACK responses have the means of acknowledgement response to previous data frame, and NAK responses have the means of acknowledgement response to only current data frame. Thus, DSR mechanism could perform the retransmission of current data frame, although error recovery for previous data frame is not finished. Also, in recovery mode, to prevent the performance degradation occurring in the case that transmission and receiving buffers are full, sender performs duplicate retransmission for the first frame of sending buffer. From performance analysis for data transmission, DSR mechanism shows better performance than conventional SR mechanism in the wireless channel environments.

I. 서 론

최근 10년동안 사용자들에게 제공되는 통신 서비스는 그 형태와 하부구조에 있어서 많은 변화가 있었다. 인터넷 접속, 클라이언트 서버 응용, VOD(video on

demand), 대화형 멀티미디어 서비스 등이 보편화되었으며, 동시에 단말의 이동성에 따른 제약을 극복하기 위한 무선 네트워크 영역에서의 연구가 수행되었다. 무선 링크를 통한 효율적인 데이터 전송을 위해 새로운 채널 액세스 기술이 개발되었으며, 서비스에 대한 다양

* 경희대학교 전자계산공학과(sspark@infocomm.kyunghee.ac.kr, yjsong@nms.kyunghee.ac.kr) 정희원,

** KAIST 전기 및 전자공학과(dhcho@ee.kaist.ac.kr) 정희원, *** SK 텔레콤(ykim@sktelecom.com, ysl@sktelecom.com) 정희원

논문번호 : 98229-0520, 접수일자 : 1998년 6월 20일

※이 논문은 1995년도 과학재단 연구비 지원에 의한 결과임(과제번호 : KOSEF 951-0907-113-2)

한 요구사항들은 무선 기술에서의 새로운 기술적인 시도를 유도하고 있다.

인터넷 브라우저, E-mail, 게임 등과 같은 응용을 고려할 경우, 인터넷 통신에서의 가장 중요한 핵심사항은 효과적인 IP 패킷의 전송이 된다. IP 전송기술은 이미 유선망에서는 보편화되어 있으므로, 이를 무선 전송 시스템으로 확장할 경우에 패킷전송에 대한 중요성이 증가한다. 무선 전송 시스템에서의 IP 패킷 전송에서는 유선링크에 비해 열악한 전송링크의 품질과 부족한 스펙트럼과 제한된 용량 등이 고려되어야 한다. 특히, 무선 데이터의 전송에 있어서는 보다 높은 오율 환경에서 안정적으로 동작할 수 있는 데이터링크 계층의 에러제어 기법이 요구된다.

일반적으로 오류제어는 ARQ 기법과 FEC 기법의 두영역으로 나누어지는데, ARQ 기법은 재전송을 통한 신뢰성있는 데이터 전송을 위해 사용되며, FEC는 수신 데이터에 대한 오류정정을 통해 신뢰성있는 데이터의 전송을 수행한다. ARQ 기법에서 성공적인 패킷 수신시 이루어지면 ACK를 전송하고 오류가 발생하였을 경우에는 NAK를 전송한다. NAK 응답을 수신한 패킷에 대해서는 재전송을 수행하게 된다. 이러한 ARQ 기법중에서 GBN(Go-back-N)과 SR>Selective Repeat) 메카니즘이 일반적으로 사용된다[1, 2]. 이러한 방법은 채널전송의 신뢰성이 보장되는 낮은 비트오율을 가지는 유선망에서의 데이터 전송에 효율적으로 사용되며, 채널전송 환경이 상대적으로 열악한 무선 네트워크에서는 보다 높은 비트오율 환경에서 안정적으로 동작할 수 있는 메카니즘이 요구된다.

데이터 전송을 위한 무선 데이터링크 프로토콜은 효율적인 전송 측면과 자원의 효율적인 이용 측면에서 연구가 진행되고 있다. 효율적인 전송측면에서의 연구, H.Tanaka는 선택적 재전송 기법과 다중 copy 기법을 혼용하여 사용하는 하이브리드 ARQ 기법을 제안하였다[3]. 이 방안에서는 SR 모드에서 하나의 데이터 프레임에 대해 n 번의 전송오류가 발생할 경우에 시스템은 MC(multicopy) 모드로 전환하게 된다. 이 방안은 Go-back-N 메카니즘이나 다른 기존의 하이브리드 방안보다 높은 오율환경에서 우수한 처리성을 보인다. 이 방안을 확장하여 A.R.Prasad와 K.Seki는 IP 패킷의 데이터 전송을 위해 모든 데이터는 SR모드로 전송하고, 새로운 프레임 전송이 완료된 후, NAK 패킷에 대해서는 MC모드를 적용하여 재전송하는 하이브리드 ARQ 기법을 제안하였다[4]. 이 기법은 높은 BER 환경에서 IP 패킷이 여러개의 fragment로 구성될 경우, 단일 IP 패킷의 전송시간 측면에서는 우수한 성

능을 보인다.

무선자원의 효율적인 이용 측면에서의 연구로는 Y.Inoue와 M.Iizuka는 LAPPR(link access procedure for packet radio) 방안을 제안하였다[5]. LAPPR는 "P/F sliding flow"를 사용하여 순방향 채널에서는 LAPD를 역방향 채널에서는 LAPDC(link access procedure for data control) 형태의 전송을 지원방안이다. 이 방안은 무선 채널상에서의 응답 횟수를 줄임으로서 무선자원의 공유가 가능하도록 하였다. 하지만 채널 오율이 증가할 경우에는 그 성능을 보장할 수 없다.

본 논문에서는 송수신 버퍼가 제한된 환경에서 연속적인 데이터 프레임을 효율적으로 전송하기 위한 데이터링크 계층 프로토콜을 제안하고 그 성능을 분석하였다. 서론에 이어 2장에서는 Go-back-N, SR 및 이를 개선한 방안 등 신뢰성있는 데이터 전송을 위한 ARQ 방안에 대한 기존의 연구에 대해 기술한다. 3장에서는 무선환경에서의 데이터 전송을 위한 기존의 데이터링크 계층 프로토콜의 문제점을 도출하고 이를 개선하기 위한 전송 메카니즘을 제안한다. 4장에서는 데이터링크 프로토콜에 대한 수학적 분석을 수행하고, 5장에서는 시뮬레이션을 통해 기존의 데이터 링크 프로토콜과 제안된 방안의 성능을 비교분석한 후, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 ARQ 프로토콜

기본적인 ARQ 프로토콜로는 일반적으로 SAW(stop-and-wait), GBN, 그리고 SR ARQ 메카니즘 등이 고려된다. SAW는 time-diversity 특성에 따른 이득이 없기 때문에 다른 두가지의 방안에 비해 효율이 떨어진다[6, 7]. 따라서, time-diversity 특성에 따른 이득을 기반으로 슬라이딩 윈도우를 이용하는 GBN과 SR 프로토콜이 주로 사용된다. 또한 높은 오율환경에서의 SR ARQ 프로토콜의 성능저하를 보완하기 위한 multicopy 재전송을 지원하는 방안이 제안되었다.

2.1 GBN ARQ 프로토콜

타이머 제어를 포함하는 GBN ARQ 프로토콜은 정확하게 수신된 모든 패킷에 대해 ACK 응답을 전송한다. 만약 부정확하게 수신된 패킷이 발견되면 NAK 응답을 전송하고, NAK 응답에 대한 프레임이 복구될 때까지 성공적으로 수신된 다른 패킷들은 폐기하게 된다. GBN 프로토콜의 전송 메카니즘은 다음의 규칙을 따른다.

- 전송단은 역방향 채널로 부터 ACK를 수신하는 동안 순서적으로 데이터의 전송을 수행한다.
- NAK_i를 수신하면, 전송단은 패킷 i 부터 모든 프레임 순서적으로 재전송한다.
- 피드백 정보에 오류가 있을 경우에는 이를 무시한다.
- 패킷 i에 대한 확인응답으로 ACK/NAK가 전송된다.
- 패킷 k에 대한 ACK_k는 패킷 i-1(i < k) 번째까지의 확인응답 정보가 포함된다.
- NAK의 피드백 정보가 손실되거나 피드백 정보를 전송하는 채널에 긴 버스트 에러가 발생하여 많은 수의 ACK가 손실될 경우, 그리고 응답의 지연시간이 수용할 수 있는 범위를 초과했을 경우에 오동작을 방지하기 위해 time-out 메카니즘을 적용한다.
- 패킷 i를 전송한 후, t 패킷후에 패킷 i에 대한 재전송을 수행함으로써 deadlock 상황이나 버퍼 overflow를 방지하는데, 이때 $t \geq \text{round-trip delay}$ 를 만족하여야 한다.

이러한 GBN ARQ 메카니즘의 동작절차가 그림 1에 나타나 있다.

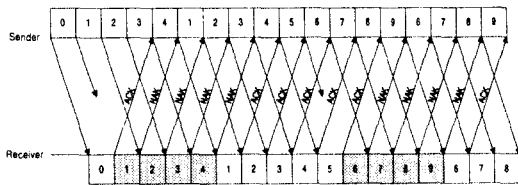


그림 1. GBN ARQ 메카니즘의 동작 예
Fig. 1 The operation of Go-back-N ARQ mechanism

2.2 SR ARQ 프로토콜

일반화된 표준 SR ARQ 프로토콜에서 전송단은 데이터 프레임들을 전송하고 ACK나 NAK와 같은 확인 응답을 수신한다. 전송되는 각 데이터 프레임들은 전송단의 버퍼에 저장되며, 데이터 프레임에 대한 확인 응답을 수신하면 해당 데이터 프레임 버퍼에서 제거한다. 정상적인 동작상태를 가정한다면 전송단은 데이터 프레임 전송한 시점에서부터 m 슬롯(round-trip 지연) 이후에 피드백정보를 수신하게 된다. 기존의 SR 방식에서는 정해진 시간동안 피드백 정보를 수신하지

못하는 것은 NAK와 동일하게 인식되므로 해당 데이터 프레임에 대한 재전송을 수행하게 된다. 이러한 SR ARQ 기법을 이용한 동작 메카니즘이 그림 2에 나타나 있다.

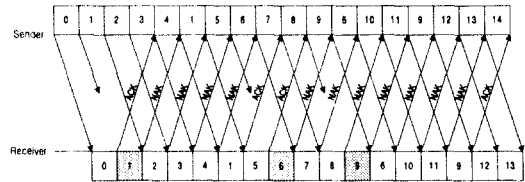


그림 2. SR ARQ 메카니즘의 동작예
Fig. 2 The operation of SR ARQ Mechanism

이러한 SR 모드의 동작을 위해서는 GBN 메카니즘 보다 많은 송수신 버퍼를 요구하게 된다. 하나의 프레임에서 에러가 발생할 경우, 이후의 다른 데이터 프레임들은 비록 정확히 수신이 이루어졌다 하더라도 수신측의 버퍼에 머무르게 된다. 즉, 수신단의 버퍼는 데이터 프레임이 순서에 따라 안전하게 상위 계층으로 전달될 수 있도록 재순서화의 역할을 담당한다. 또한 피드백 정보의 손실로 인한 deadlock 상태를 방지하기 위해 일정 시간동안 응답 수신에 이루어지지 않을 경우 재전송을 수행하는 전송 타이머를 구동하게 된다. 일반적으로 기존의 SR 메카니즘에서는 이 타이머의 값을 round-trip 지연과 동일하게 설정함으로써 즉각적인 재전송이 가능하도록 하였다.

2.3 GBN과 SR을 이용한 수정방안

GBN 프로토콜과 SR 프로토콜은 비교적 채널오류가 낮은 유선링크에서 그 성능연구가 충분히 이루어졌다. 하지만 무선링크는 유선링크와는 달리 버스트한 에러특성을 가지므로 무선 데이터 통신을 위한 데이터링크 계층 프로토콜의 성능연구에서는 이를 고려하여야 한다. H. Tanaka는 열악한 채널환경과 제한된 버퍼, round-trip 지연 등을 고려하여 multicopy를 사용하는 SR ARQ 기법을 제안하였다[3].

이 방안은 데이터의 재전송을 위해 SR과 multicopy의 두가지 모드를 지원한다.

- SR 모드: 전송단이 ACK를 수신하면 새로운 데이터 프레임 전송하며, NAK를 수신할 경우에는 해당 프레임 재전송하는 SR ARQ 프로토콜

모드로 동작한다.

- **Multicopy(MC) 모드**: 이 모드는 송신단의 버퍼에 저장되어 있는 오류가 발생한 모든 데이터 프레임이 성공적인 전송이 이루어질 때까지 반복적으로 전송한다. 이 경우, 전송단이 재전송 데이터 프레임 순환 반복적으로 전송함으로써 신속한 복구가 가능하다.

Multicopy 재전송을 지원하는 SR ARQ 프로토콜의 동작 메카니즘이 그림 3에 나타나 있다. 이 방안에서는 수신단이 ν N 프레임 저장할 수 있는 버퍼를 가진다고 가정하며, SR 모드를 수행한다. 만약 특정 데이터 프레임에 대해 ν 번의 재전송이 실패할 경우 전송단은 MC 모드로 전환하게 된다. MC 모드에서 전송단은 버퍼에 저장된 모든 데이터 프레임이 수신단에 성공적으로 수신될 때까지 순환·반복적인 재전송을 수행한다.

SR 모드에서 N 만큼의 데이터 프레임을 전송하며, round-trip 지연시간 다음에 이에 대한 응답을 수신한다. NAK 응답을 수신한 #2와 #3 프레임을 재전송하며, 재전송 카운터 ν 를 1로 설정한다. 재전송된 #2 프레임에 대한 응답이 다시 NAK로 수신되면 전송단은 재전송 모드로 천이한다. 이 경우 현재까지 NAK를 수신한 #2와 #3을 round-trip 지연동안 반복적으로 재전송한다. s=1에서 #3 프레임에 대한 ACK를 수신하였으므로, s=2 상태에서는 #2에 대한 반복적인 재전송만을 수행한다. 재전송 프레임에 대한 전송이 성공적으로 끝나면 송신단은 SR 모드로 전환하여 새로운 프레임 전송을 수행한다.

III. 이동 데이터 서비스를 위한 새로운 데이터링크 프로토콜

이동 데이터 프레임의 효율적인 전송을 지원하기 위한 데이터 전송 메카니즘은 오용환경이 상대적으로 높은 무선 채널에 대한 고려가 우선적으로 고려되어야 하며, 데이터의 송수신을 위한 버퍼의 크기도 충분히 고려되어야 한다.

3.1 무선 데이터 전송에서 기존 프로토콜의 문제점
 데이터 전송 프로토콜에서 일반적으로 사용되는 Go-back-N 및 SR 프로토콜은 재전송 메카니즘에 의해 에러복구를 수행하게 된다. 송신 데이터 프레임에 오류가 발생하면 수신단은 순서번호의 오류를 감지하고 해당 데이터 프레임의 재전송을 요구하게 된다. 이때 GBN 메카니즘은 오류가 발생한 데이터 프레임부터 모든 프레임을 재전송하는데 반해, SR은 해당 프레임만 재전송을 수행함으로써 데이터의 복구가 가능하다. 이들 슬라이딩 윈도우 프로토콜의 성능을 결정하는 중요한 파라미터로는 송수신 버퍼의 크기(W)와 RTD(round-trip delay)가 있다. RTD는 송신단이 데이터 프레임의 전송을 시작하는 시점에서부터 전송된 데이터 프레임에 대한 수신단의 응답을 수신할 때까지의 시간간격을 말한다. 따라서, $W \geq RTD$ 인 경우에는 데이터의 전송이 연속적으로 이루어질 수 있으며, 대부분의 데이터 전송을 위한 ARQ 기법의 성능연구에는 $W \geq RTD$ 인 환경을 고려한다. 무선 데이터 전송을 위한 ARQ 기법의 성능 연구에서는 무선 채널의 특성과 수신측의 응답에 따른 송신측의 복구 메카니즘과 버퍼와의 관계에 대한 고려가 필요하다. 하지만 기존연구에서는 무선채널 환경에서 피드백 정보에 대한 오류를 고려하지 않았으며[3, 4, 5], 제한된 송수신 버퍼에 대한 고려가 이루어지지 않았다[6, 7].

SR 메카니즘에서 송신측은 수신측의 피드백 정보에 기반하여 재전송과 새로운 프레임의 전송을 결정하

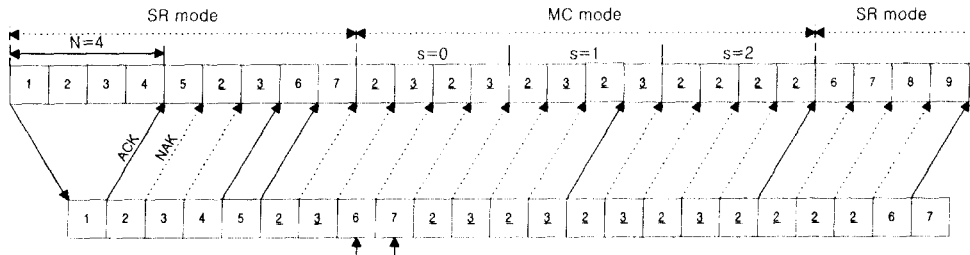


그림 3. Multicopy 재전송을 지원하는 SR ARQ 프로토콜
 Fig. 3 SR ARQ protocol to support multicopy retransmission

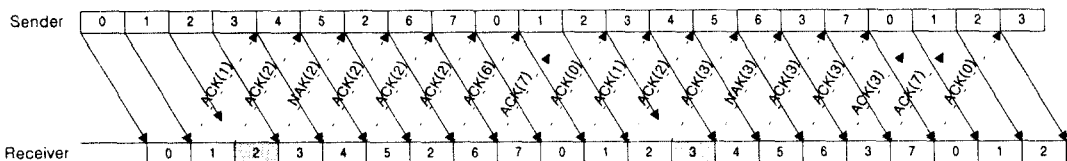
게 된다. NAK 피드백 정보를 수신하면, 송신측은 해당 데이터 프레임의 재송신하고, ACK 피드백 정보를 수신하면, 송신버퍼에서 해당 데이터 프레임을 삭제하고 새로운 데이터 프레임을 전송한다. 수신단은 송신측으로부터 k번째 데이터 프레임을 수신하였다면, 송신단으로 k번째 데이터 프레임까지의 확인응답의 의미를 가지는 ACK/NAK 프레임을 전송하거나 k 번째 데이터 프레임에 대한 확인응답의 의미만을 가지는 ACK/NAK 프레임을 전송하게 된다. 이러한 SR 매커니즘에서의 두가지 동작모드가 그림 4에 나타나 있다.

그림에서 알 수 있듯이 k-1번째 프레임까지의 확인응답을 의미하는 경우에는 피드백 정보의 손실로 인한 재전송을 일정시간 지연시킴으로서 다음 피드백 정보를 통해 현재의 피드백 정보를 복원할 수 있다는 장점이 있다. 피드백 정보가 k번째 프레임에 대한 확인응답만을 포함할 경우에는 피드백 정보의 손실에 의한 복구가 불가능하므로 송신측은 손실을 NAK로 인식하고 해당 프레임을 즉시 재전송하므로 피드백 정보가 손실된 프레임에 대한 회복이 빠르게 이루어질 수 있다. 전자의 경우에는 피드백 정보의 복원이 가능하므로 복구를 수행한 후에 NAK 프레임에 대해서만 재전송을 수행하게 된다. ACK 피드백 정보가 손실되었을 경우에는 다음 피드백 정보의 수신을 통해 손실을 복원하므로 불필요한 재전송은 수행되지 않는다. 하지만 NAK 응답의 피드백 정보가 손실되었을 경우에는 다음 정상적인 피드백 정보를 수신한 후, 손실 피드백 정보의 복원이 이루어질 때까지 재전송

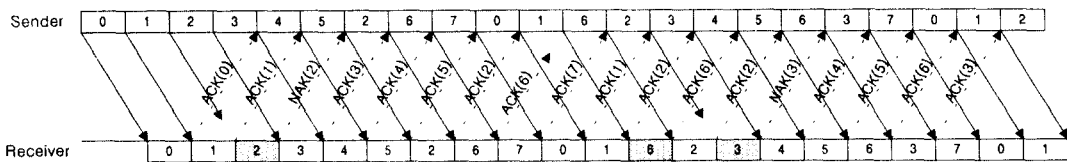
이 수행되지 않음으로서, 데이터 프레임을 복구하는데 있어 지연을 가지게 된다. 후자의 경우에는 메시지의 응답 대기시간을 round-trip 지연과 처리시간 등을 고려하여 동일하게 설정함으로써 피드백 손실에 대한 즉각적인 재전송이 가능하도록 한다. 이 경우에는 NAK 응답의 손실에 대해서 즉각적인 재전송이 이루어지지만, ACK 응답의 손실에 대해서도 즉각적인 재전송이 수행되므로 전송시의 오버헤드가 발생하게 된다.

효율적인 데이터 전송을 위해서는 응답방식과 더불어 송수신에 사용되는 버퍼의 크기도 고려되어야 한다. 송수신 버퍼의 크기를 결정하는 경우, GBN ARQ에서는 피드백 메시지의 복구여부와 RTD만을 고려하면 된다. SR ARQ 매커니즘에서의 버퍼크기는 피드백 메시지의 복구여부와 정도, RTD, 수용가능한 동일 데이터 프레임의 연속적인 전송오류 횟수 등을 고려하여야 한다. 피드백 정보가 이전 프레임까지의 확인응답을 의미할 경우, 이전 프레임에 대한 오류의 복구가 이루어지지 않으면 현재 프레임에 대한 확인응답은 불가능하게 된다. 따라서 송신측은 하나의 프레임에 대해 연속적인 오류가 발생하여 송수신 버퍼가 대기상태의 프레임으로 채워질 경우에는 새로운 프레임에 대한 전송을 중단하고, 버퍼의 full 상태가 해제될 때까지 SAW나 GBN 매커니즘과 동일하게 동작하며 오류 메시지의 복구를 수행하게 된다.

본 연구에서는 제한된 버퍼 크기를 가지는 무선 데이터링크 전송에서 피드백 오류가 존재할 경우에 있어서의 피드백 정보의 복구와 버퍼가 full일 경우 중



(a) k-1 번째 데이터 프레임까지의 응답



(b) k 번째 데이터 프레임에 대한 응답

그림 4. SR 매커니즘에서의 데이터 전송
Fig. 4 Data transmission of SR mechanism

복 재전송을 통한 신속한 오류회복 방안을 제안하여 데이터링크계층 프로토콜의 성능을 개선하였다.

3.2 제안 프로토콜

무선 데이터 서비스를 위한 전송 프로토콜은 송수신단의 버퍼가 제한된 환경에서 열악한 채널환경으로 인해 오류가 발생한 송신 데이터 프레임 및 feedback 정보를 빠르게 효율적으로 복구하기 위한 메카니즘을 제공하여야 한다. 본 논문에서는 피드백 정보의 전송과 오류발생 프레임에 대한 신속한 회복을 통해 데이터링크 계층 프로토콜의 성능을 개선하고자 하였다. 피드백 정보의 오류로 인한 재전송은 상대적으로 전송량이 많은 데이터 프레임의 재전송을 유발하게 된다. 이러한 문제는 피드백 응답에 k-1번째 데이터 프레임까지의 확인응답을 내포하게 함으로서 해결할 수 있다. 하지만 ACK/NAK 확인응답이 모두 k-1번째 프레임까지의 확인응답을 포함할 경우에는 연속적인 오류가 발생하여 송수신 버퍼가 가득찰 경우에 있어서 이를 회복하는데 많은 시간이 소요된다. 즉, 버퍼가 가득찰 경우에는 송수신 버퍼의 첫번째 프레임이 처리될 때 까지 이후의 오류 프레임에 대한 재전송은 전혀 이루어지지 않게 된다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 오류 프레임에 대한 NAK 응답은 하나의 프레임에 대한 확인응답만을 포함하도록 함으로서 재전송이 가능하도록 하여야 한다. 또한 송수신 버퍼가 full인 상태에서의 데이터 프레임 전송은 버퍼를 가용 상태로 변화시킬 수 있도록 전송하는 것이 필요하다. 이러한 사항들을 고려하여 본 논문에서 제안하는 이중모드 SR ARQ 전송 메카니즘이 그림 5에 나타나 있다.

그림에서 알 수 있듯이 송신단은 정상모드와 복구모드의 두가지로 운용된다. 정상모드에서 송신단은 SR

ARQ에 기반한 윈도우 메카니즘으로 동작하며, 피드백 정보가 손실될 경우에는 응답을 수행하지 않는다. 정상모드에서 ACK 응답에 포함되는 프레임 순서번호는 이전 프레임까지의 확인응답을 포함하기 때문에 손실된 피드백 정보를 회복할 수 있다. NAK 응답은 ACK 응답과는 달리 현재 프레임에 대한 응답만을 나타내며, 송신측은 해당 프레임을 즉각적으로 재전송하게 된다. 연속적으로 피드백 정보가 손실되거나 하나의 프레임에 대해 연속적인 오류가 발생할 경우에 송수신 버퍼가 full이 되어 ACK 확인응답을 수신하지 못할 경우에는 더 이상의 새로운 프레임에 대한 전송이 중단된다. 이것은 송수신 버퍼에 대기중인 첫번째 프레임에 대해 ACK 응답수신이 이루어지지 않았기 때문이므로 이에 대한 재전송을 수행하고 확인응답을 기다리게 된다. 제안된 DSR ARQ에서는 RTD 동안 해당 프레임에 대해 연속적인 중복 재전송을 수행한다. 만약, 이 경우에 윈도우 구간내에 NAK 응답이 확인된 다른 데이터 프레임이 존재하면, 이 프레임에 대해서도 재전송을 수행함으로써, 빠른 회복이 가능하도록 한다.

IV. 수학적 성능 분석

본 장에서는 AWGN(additive white gaussian noise) 채널을 고려하여 제안된 ARQ 메카니즘의 성능에 대한 수학적 성능 분석을 수행하였다.

4.1 기존의 ARQ 메카니즘에 대한 분석

채널에 대한 비트오율을 알고 있을 경우에 데이터링크 계층의 데이터 프레임에 대한 오율을 계산은 다음과 같이 계산될 수 있다[4].

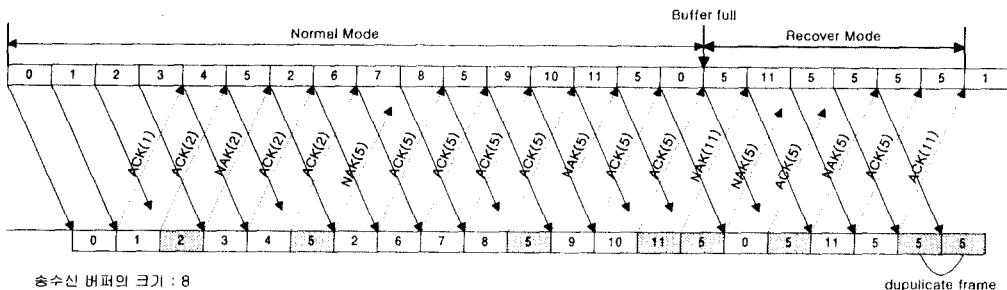


그림 5. 이중 모드(dual-mode) SR ARQ 프로토콜
Fig. 5 Dual-mode SR ARQ protocol

$$P = \sum_{i=1}^M C_i^M p^i (1-p)^{M-i} = 1 - (1-p)^M \quad (1)$$

이때 P 는 데이터링크 계층에서 사용하는 데이터 프레임의 평균 오류이며, p 는 비트당 평균 오류를 나타낸다. 따라서 이를 이용하여 피드백 정보 및 데이터 프레임에 대한 비트오율을 구할 수 있으며, 이를 각각 P_f 와 P_d 라 한다. 데이터 프레임 전송에 대해 SAW, GBN 및 SR ARQ 메카니즘의 성능을 분석하면 다음과 같다.

4.1.1 SAW ARQ 메카니즘

SW ARQ 메카니즘은 송신 데이터 프레임에 대한 ACK를 수신한 후, 새로운 데이터 프레임을 송신하게 된다. 데이터 전송 채널에 대한 오류를 P_d 라 하고 피드백 정보 전송 채널에 대한 오류를 P_f 라 하면, 데이터 프레임을 전송할 경우 채널오류에 의한 재전송 프레임의 수는 다음과 같다.

데이터 프레임의 오류에 의한 재전송 횟수 =

$$P_d + P_d^2 + P_d^3 \dots = \frac{P_d}{1-P_d} \quad (2)$$

피드백 정보의 오류에 의한 재전송 시도 횟수 =

$$P_f + P_f^2 + P_f^3 \dots = \frac{P_f}{1-P_f} \quad (3)$$

따라서 1개의 데이터 프레임을 전송하기 위해 요구되는 전송 데이터 프레임의 수(N_{SAW})는 식 (2)와 (3)에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$N_{SAW} = 1 + \frac{P_d}{1-P_d} + \frac{P_f}{1-P_f} \quad (4)$$

SAW 메카니즘에서는 하나의 데이터 프레임을 전송한 후, ACK를 수신하고, 다음 데이터 프레임을 전송하게 되므로, 확인응답 수신시까지의 전송을 중지하고 대기하게 된다. 따라서 하나의 프레임을 전송하기 위해서는 데이터 프레임 전송후 응답수신시 까지의 시간(K)만큼이 요구되므로 데이터 프레임의 실제 전송성능 S 는 다음과 같다[8].

$$S = \frac{1}{K + \frac{P_d}{1-P_d} + \frac{P_f}{1-P_f}} \quad (5)$$

4.1.2 GBN 메카니즘

GBN 메카니즘에서 송신측이 전송한 데이터 프레임에 오류가 발생할 경우에는 응답대기 시간(K)과 확인응답없이 연속적으로 전송할 수 있는 데이터 프레임 수로 표시되는 윈도우 크기(W)에 기반하여 재전송이 수행된다. w 개의 피드백 정보에 대한 복구가 수행될 경우, 피드백 정보의 오류로 인해 추가적으로 전송되어야 하는 새로운 데이터 프레임의 수(Y)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y &= P_f + P_f^2 + \dots + P_f^w \\ &= P_f \left(\frac{1-P_f^w}{1-P_f} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 피드백 정보의 오류로 인해 반복 전송되는 중복 데이터 프레임의 수(Z)는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} Z &= P_f^w \left(P_f + \frac{P_f^2}{2} + \dots + \frac{P_f^{K+w-1}}{K+w-1} \right. \\ &\quad \left. + \frac{P_f^{K+w}}{K+w} + \frac{P_f^{K+w+1}}{K+w} \dots \right) \\ &= \sum_{i=1}^{K+w-1} \frac{P_f^{w+i}}{i} + \frac{P_f^{K+2w}}{(K+w)(1-P_f)} \end{aligned} \quad (7)$$

이 경우 $K+w-1$ 번째 이상의 재전송에서는 송수신 버퍼 이외의 범위이므로 단지 $\frac{P_f}{K+w}$ 만이 추가되어진다. 따라서 식 (6)과 (7)로 부터 GBN 메카니즘에 의해 전송되는 총 데이터 프레임의 수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} N_{GBN} &= 1 + P_d(K+Y) + P_d^2(K+Y) + \dots \\ &\quad + (1-P_d)^{K-1+w} Z \\ &= 1 + \frac{P_d(K+Y) + (1-P_d)^{K+w} Z}{1-P_d} \end{aligned} \quad (8)$$

만약, 송수신 버퍼크기 만큼의 데이터 프레임에 대해 오류복구를 수행한다고 가정하면 $K+w$ 대신 송수신 버퍼의 크기인 W 값을 적용하면 된다. 따라서, GBN 메카니즘에서의 데이터 프레임 전송 처리율 S_{GBN} 는

다음과 같이 구해진다[8].

$$S_{GBN} = \frac{1}{1 + \frac{P_d(K+Y) + (1-P_d)^{K+W}Z}{1-P_d}} \quad (9)$$

4.1.3 SR ARQ

SR ARQ 메카니즘에서는 오류가 발생한 데이터 프레임 대해서만 재전송을 수행하게 된다. 버퍼의 크기가 무한하다고 가정하고 데이터 전송이 계속적으로 이루어진다고 가정할 경우에는 피드백 정보의 복구가 완벽이 이루어지므로 데이터 프레임에 대한 처리성능은 전송 데이터 프레임의 오류에만 영향을 받게 된다. SR 메카니즘에서는 오류가 발생한 프레임에 대해서만 재전송을 수행하므로 데이터 프레임에 대한 응답시간(K), 수신 버퍼의 크기 및 채널의 오류이 전송성능을 결정하게 된다. 일반적으로 응답시간이 수신 버퍼가 수용할 수 있는 범위내에 있어야만 윈도우 메카니즘에 기반한 SR ARQ 프로토콜의 성능을 평가할 수 있다. SR ARQ 메카니즘에서의 데이터 프레임 전송성능은 다음과 같이 구해진다.

$$S_{SR} = \frac{1-P_d}{1+Z(1-P_d)} \quad (10)$$

피드백 정보의 오류이 1 보다 적은 값이고 데이터의 송수신 버퍼가 무한하다고 가정하면 $Z \rightarrow 0$, $w \rightarrow \infty$ 이므로 ISR의 성능과 동일하게 된다.

송수신 버퍼가 일정크기(W)로 제한될 경우에 있어서, 하나의 메시지에 대해 연속적인 오류가 발생하게 되면 재전송이 반복되고 수신단의 버퍼는 가득차게 된다. 이 경우에는 윈도우 메카니즘에 기반한 전송은 중단되고, 수신단에 가용 버퍼가 생성될 때까지 SAW ARQ 나 GBN ARQ 메카니즘에 의해 재전송이 수행되게 된다. 데이터 송수신 프로토콜에서 사용하는 송수신 순서번호의 모듈로값은 실제 윈도우의 크기 보다는 큰 모듈로 값으로 운용된다. 따라서 송수신 버퍼의 크기가 제한되고 응답시간이 주어질 경우, 버퍼가 full 이 되는 것은 동일 데이터 프레임이 연속적으로 오류가 발생하거나 피드백 정보가 연속적으로 오류가 발생하는 경우이다. 여기서는 버퍼가 full이 되면 데이터의 송수신은 GBN 메카니즘으로 동작하는 것으로 가정한다. 따라서 응답 대기시간이 K이고 송수신 버퍼의 크기가 W로 제한될 경우에 있어서의 평균 데이터 프레임의 수는 다음과 같다[8].

$$N_{SR} = 1 + \sum_{i=1}^{Q-1} P_d^i + P_d^Q N_{GBN} + Z(1-P_d) \sum_{i=0}^{Q-1} P_d^i \quad (11)$$

$$= \frac{1-P_d^Q}{1-P_d} + P_d^Q N_{GBN} + (1-P_d^Q) Z$$

따라서 SR 메카니즘에서의 데이터 프레임의 전송성능(S_{SR})은 다음과 같다.

$$S_{SR} = \frac{1}{\frac{1-P_d^Q}{1-P_d} + P_d^Q N_{GBN} + (1-P_d^Q) Z} \quad (12)$$

4.2 제안된 DSR ARQ

SR 메카니즘에서 ACK/NAK 응답이 k-1까지 프레임에 대한 응답의 의미를 내포할 경우, 오류 프레임에 대한 재전송이 수행될 경우에는 재전송이 완료될 때까지 이후 프레임 오류에 대한 응답을 수신할 수 없다. 제안된 DSR ARQ 메카니즘에서는 ACK 응답에만 이전 프레임까지의 확인응답의 의미를 포함시키고, NAK 프레임에 대해서는 현재 프레임에 대한 응답의 의미만을 부여하였다. 따라서 송신단은 NAK 응답을 수신하면 이전 프레임에 대한 오류복구가 진행중임에도 불구하고 현재 데이터 프레임에 대한 재전송을 수행하게 된다. 따라서 피드백 정보에 대한 오류 복구는 ACK 응답에만 적용되어진다. 피드백 정보에 연속적인 오류가 발생하거나 데이터 프레임의 연속적인 오류가 발생할 경우 제안된 송수신 버퍼는 full상태가 된다. 이 경우 기존의 SR 메카니즘은 버퍼의 처음 프레임에 부터 GBN 메카니즘과 동일한 복구를 수행하게 된다. 이에 반해 DSR ARQ에서는 오류복구 모드로 천이하여 버퍼의 처음 프레임에 대한 복구를 중복 전송을 통해 해결함으로써 신속한 복구가 가능하도록 하였다.

버퍼가 full이 되기 이전까지의 중복전송 데이터 프레임 수

$$= \sum_{i=1}^{Q-1} P_d^i = \frac{P_d(1-P_d^{Q-1})}{1-P_d} \quad (13)$$

버퍼가 full이 되기 이전까지의 피드백 정보 오류에 따른 재전송

$$= Z(1-P_d) \sum_{i=0}^{Q-1} P_d^i = (1-P_d^Q) Z \quad (14)$$

버퍼가 full인 상태에서의 전송오류로 인한 재전송 프레임의 수

$$\begin{aligned}
 &= P_d^Q (1 + KP_d + \sum_{i=2}^{\infty} P_d^i + (1 - P_d) \sum_{i=1}^{\infty} P_f^i) \\
 &= P_d^Q (1 + KP_d + \frac{P_d^2}{1 - P_d} + \frac{(1 - P_d)P_f}{1 - P_f}) \quad (15)
 \end{aligned}$$

송수신 버퍼가 full일 경우에는 송수신 버퍼의 첫 번째 데이터 프레임에 대해서 중복전송을 수행함으로써 SR 메커니즘으로의 복귀가 신속히 이루어지도록 한다. 따라서 중복전송 모드에서는 데이터 프레임의 첫 번째 재전송에 대해서만 K 만큼 전송 오버헤드가 추가되며, 이후에는 재전송횟수 만큼만의 오버헤드가 적용된다. 식 (13), (14), (15)에 의해 제한한 DSR 프로토콜에서의 평균 전송 데이터 프레임의 수(N_{DSR})는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 N_{DSR} = 1 + &\frac{P_d(1 - P_d^{Q-1})}{1 - P_d} + (1 - P_d^Q) Z \\
 &+ P_d^Q (1 + KP_d + \frac{P_d^2}{1 - P_d} + \frac{(1 - P_d)P_f}{1 - P_f}) \quad (16)
 \end{aligned}$$

따라서 제안된 DSR 프로토콜의 데이터 프레임 전송성능(S_{DSR})은 다음과 같다.

$$S_{DSR} = \frac{1}{\frac{1 - P_d^Q}{1 - P_d} + (1 - P_d^Q)Z + P_d^Q (1 + KP_d + \frac{P_d^2}{1 - P_d} + \frac{(1 - P_d)P_f}{1 - P_f})} \quad (17)$$

V. 시뮬레이션 및 결과분석

5.1 시뮬레이션 환경

데이터링크 계층 프로토콜의 성능에 영향을 미치는 파라미터로는 ARQ 전송 메커니즘, 응답 방식, 응답 수신시까지의 대기시간, 메시지 수신후 응답하는 시간, 전송 채널의 오류, 원도우 메커니즘에서 사용되는 모듈로 값, 송수신 버퍼의 크기 등이 있다. 본 논문에서는 AWGN환경의 무선링크 채널에 대해 데이터 프레임의 전송오류와 피드백 정보의 오류, 송수신 버퍼의 크기, ACK 수신시까지의 지연시간 등을 고려하여 데이터 링크계층 프로토콜의 성능을 시뮬레이션 하였다. 논문에서 사용한 가정사항들은 다음과 같다.

- 데이터링크 계층에서 사용하는 모듈로 값은 송수

신 버퍼의 오율을 방지할 수 있을 정도로 충분하다.

- 하나의 데이터 프레임을 전송하는데 소요되는 시간은 데이터 프레임의 크기와 관계없이 단일 프레임 시간으로 동일하다고 가정한다.
- 송수신 버퍼의 크기는 응답 대기시간 K보다 크거나 같다.
- 응답 프레임의 크기는 20옥텟으로 가정한다.

이러한 가정사항들을 기반으로 하여 각 ARQ 기법을 적용하는 데이터링크 프로토콜에 대한 성능을 분석하였다.

무선 데이터 서비스를 위한 데이터링크계층 프로토콜의 성능 분석을 위한 시스템 구성이 그림 6에 나타나 있다.

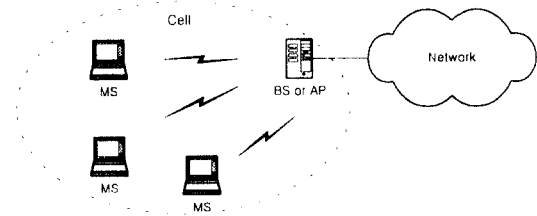


그림 6. 이동 데이터 서비스를 위한 시스템 구성
Fig. 6 The system configuration of mobile data service

각 이동국은 기지국으로 데이터 링크 프레임을 전송하고 기지국은 이에 대한 응답을 전송한다. 송수신 각 프레임에 대해서는 채널의 오류를 적용하여 데이터 프레임의 오류여부를 결정하게 되며, 오류가 발생할 경우에는 재전송 메커니즘에 의해 복구를 수행한다. 데이터 프레임 처리를 위한 처리지연은 고려하지 않으며, 단말의 이동성은 없다고 가정하였다.

5.2 결과분석

무선 데이터 프레임의 전송성능은 채널의 오류 특성에 많은 영향을 받게되며, 아울러 데이터 송수신에서 사용되는 송수신 버퍼의 크기, 그리고 전송응답까지의 지연시간 등도 성능과 밀접한 관계가 있다. 무선링크 채널을 AWGN 채널로 가정하고, BER에 따른 데이터 프레임의 전송성능이 그림 7에 나타나 있다.

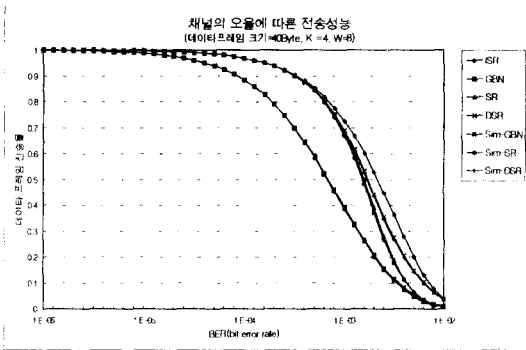


그림 7. BER에 따른 데이터 프레임의 전송성능
Fig. 7 Transmission performance of data frames according to BER

ISR(ideal SR)은 가장 이상적인 형태로 SR 메카니즘이 동작하는 경우를 의미하며, SR은 버퍼 및 응답시간의 제약을 반영한 SR 메카니즘을 나타낸다. DSR은 본 논문에서 제안하고 있는 두개의 전송모드를 가지는 수정된 SR 메카니즘을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 SR 기법을 사용하는 ARQ 프로토콜이 전반적으로 GBN ARQ 프로토콜 보다 우수한 성능을 보인다. 하지만 채널의 오류가 극심한 경우(BER이 10^{-2} 보다 클 경우)에는 그 성능 차이가 줄어들는다. 이는 SR 기법에서 특정 프레임의 연속적인 오류로 인해 송수신 버퍼가 가득차게 되고, 해당 프레임 복구를 위한 재전송은 SAW 또는 GBN으로 동작하게 됨으로서 성능의 저하가 발생하게 된다. 본 논문에서 제안한 DSR ARQ 프로토콜에서는 송수신 버퍼가 full이 되면 송수신 버퍼의 첫번째 프레임에 대해 연속적인 중복 재전송을 수행함으로써 빠른 복구가 가능하게 된다. 따라서, 이러한 전송 메카니즘의 차이로 인해 SR 보다는 DSR 메카니즘이 전송성능에서 이득을 가지게 된다. DSR 메카니즘에서 오류율이 높을 경우에 나타나는 수학적 분석결과와 시뮬레이션 결과의 차이는 수학적 전개의 용이함을 위해 NAK 프레임에 대한 별도의 처리를 고려하지 않은데서 기인한 것이다.

채널의 BER과 버퍼크기 및 응답시간이 동일한 환경에서 데이터 프레임의 크기에 따른 전송성능의 변화가 그림 8에 나타나 있다.

데이터 프레임의 길이가 증가하면 하나의 데이터 프레임에 대한 평균오류도 증가하게 된다. 아울러 성능평가에서 피드백 정보의 크기는 일정하게 적용하였으므로, 데이터 프레임 크기가 증가하여도 피드백 정보에 의한 영향은 동일하게 된다. 이러한 환경하에서

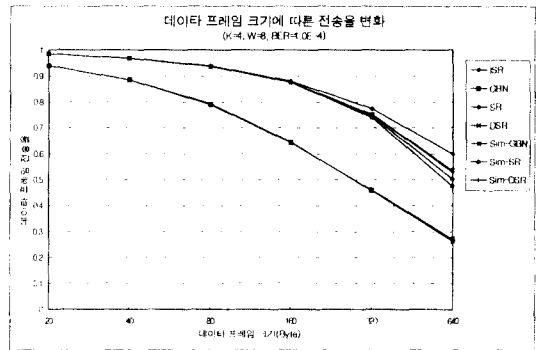


그림 8. 데이터 프레임의 크기에 따른 전송성능의 변화
Fig. 8 The change of transmission performance vs. data frame size

데이터의 전송성능은 단일 데이터 프레임의 크기가 증가함에 따라 감소하게 된다.

일반적으로 윈도우 프로토콜에 기반한 효율적인 데이터의 송수신을 위해서는 송수신 버퍼의 크기는 응답 대기시간 동안 전송되는 프레임용 버퍼링할 수 있어야 한다. 송수신 버퍼의 크기에 따른 데이터 전송율의 변화가 그림 9에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 채널의 오류율이 낮을 경우에는 송수신 버퍼의 크기가 데이터 전송성능에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 즉, 채널의 오류특성이 우수하면 송수신 버퍼는 응답 대기시간보다 약간 많은 데이터 프레임만을 수용할 수 있으면 데이터 전송의 성능보장이 가능하다. 하지만 채널 오류율이 증가하게 되면 응답대기시간에 비해 상대적으로 많은 양의 송수신 버퍼를 요구하게 된다. 따라서 송수신 버퍼는 채널의 오류율과 데이터

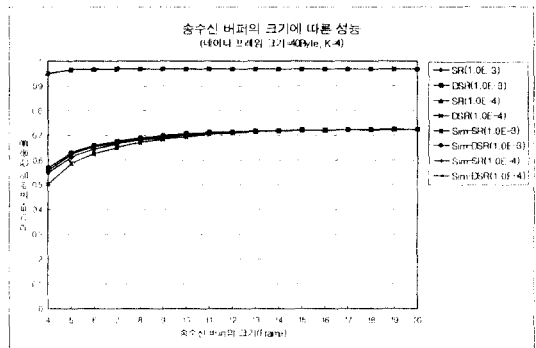


그림 9. 버퍼의 크기에 따른 데이터 프레임 전송성능
Fig. 9 The transmission performance of data frames vs. the size of buffers

프레임의 크기를 충분히 고려하여 설정되어야함을 알 수 있다. 동일한 성능 보장을 위해서 DSR은 SR에 비해 상대적으로 적은 양의 버퍼를 요구하게 되는데 이는 복구모드 동안에 프레임에 대한 중복 재전송을 통해 신속한 오류회복이 가능하기 때문이다.

송수신 버퍼가 일정할 경우, 응답대기 시간에 따른 전송율의 변화가 그림 10에 나타나 있다. 채널의 오율특성이 열악한 환경일수록 응답대기 시간이 증가함에 따라 성능의 감소가 뚜렷하게 나타난다. 제안된 DSR ARQ 방안은 순수한 SR 방안보다 응답대기 시간의 증가에 따른 성능의 감소가 상대적으로 늦게, 그리고 적게 일어남을 알 수 있다.

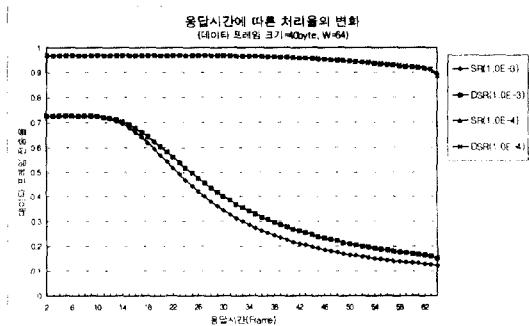


그림 10. 응답지연의 증가에 따른 데이터 프레임의 전송성능
Fig. 10 The transmission performance of the data frames vs. the response delay

송수신 버퍼의 크기를 응답대기 시간의 2배로 설정할 경우에 응답대기 시간에 따른 전송성능의 변화가 그림 11에 나타나 있다.

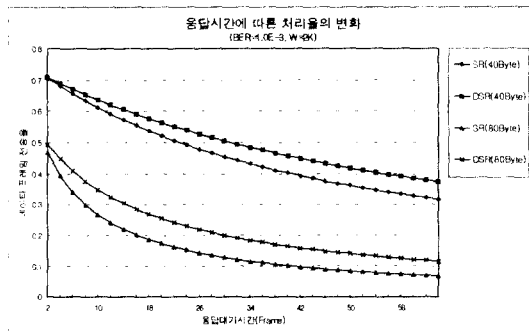


그림 11. 응답대기시간에 따른 데이터 프레임의 전송성능
Fig. 11 The transmission performance of data frames vs. response time

그림에서 알 수 있듯이 응답대기 시간이 짧은 경우에는 즉각적인 재전송 및 회복이 가능하지만 응답대기 지연시간이 길 경우에는 재전송 회복에 많은 지연시간을 요구하게 되고, 이 구간동안의 데이터 프레임의 제어를 위한 보다 많은 송수신 버퍼를 요구하게 됨을 알 수 있다. 이 경우에도 제안된 DSR 메카니즘은 상대적으로 우수한 성능을 보장하게 된다.

데이터 프레임의 전송성능에 대한 분석결과 제안된 DSR 메카니즘은 SR 메카니즘보다 송수신 버퍼와 응답시간이 제한되는 환경에서 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 DSR 메카니즘은 중복 재전송을 통해 송수신 버퍼의 full 상태에 대한 빠른 회복이 가능하므로, 일정 전송성능을 요구하는 경우에 SR 메카니즘에 비해 적은양의 송수신 버퍼가 요구됨을 알 수 있다.

VI. 결론

이동통신 서비스가 보편화됨에 따라 이동 데이터 서비스에 대한 요구도 증가되고 있다. 효율적인 데이터 서비스를 위해서는 전송링크에서 발생하는 전송오류를 복구하기 위한 효율적인 메카니즘의 제공이 요구된다. 일반적으로 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해서는 ARQ 기반의 재전송 메카니즘과 FEC를 통한 데이터 복구 방안이 널리 사용된다. 데이터 프레임의 재전송에 의한 복구 메카니즘은 재전송으로 인한 송수신 지연을 감수해야 하며, 재 순서화를 위한 충분한 버퍼를 요구한다. 이때 FEC 메카니즘은 전송 데이터에 에러정정용 코드를 삽입함으로써 발생하는 오버헤드를 감수하여야 한다.

본 논문에서는 데이터 서비스를 위한 재전송 기반의 오류복구를 수행하는 DSR ARQ 메카니즘을 제안하였다. DSR 방안에서는 정상 전송모드와 복구모드의 2가지 전송모드를 지원한다. 정상 전송모드에서 ACK 응답은 이전 프레임까지의 확인 응답을 포함하며, NAK 응답은 현재 프레임에 대한 응답의 의미만을 포함한다. 이것은 이전 프레임에 대한 재전송이 이루어지는 동안에도 현재 프레임에 대해 재전송을 통한 복구가 가능하다. 또한 송수신 버퍼가 full일 경우에 야기되는 time-diversity 효과의 감소로 인한 성능저하를 방지하기 위해 오류 프레임에 대한 연속적인 중복 재전송을 수행함으로써 그 성능을 향상시켰다.

데이터 프레임에 대한 전송 성능 분석결과, 채널의 오율이 높아질수록 SR 메카니즘에 비해 DSR 메카니즘이 우수한 전송성능을 보임을 알 수 있었다. 또한

DSR 메카니즘이 일정 전송성능을 보장하는데 있어서 SR 메카니즘에 비해 상대적으로 적은용량의 버퍼를 요구하게 된다. 추후에는 무선링크의 채널모델을 적용하여 제안된 DSR ARQ 메카니즘의 성능을 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

1. M. Schwartz, "Telecommunication Networks : Protocols, Modeling and Analysis", Addison Wesley, 1987.
2. F. Halsal, "Data Communications, Computer networks and OSI", Addison Wesley, 1988.
3. H. Tanaka, "A Performance of Selective-Repeat ARQ with Cyclical Multicopy Retransmission", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E79-A, No.9, pp. 1386-1391, September 1996.
4. A. R. Parasad and K. Seki, "Hybrid ARQ for IP Packet Transmission", ICUPC'97, Vol. 2, pp.531-535, 1997.
5. Y. Inoue and M. Iizuka, "A Logical Airlink Control Procedure for Packet Radio System", IEICE Transaction on Communications, Vol. E80-B, No. 8, pp.1192-1197, August 1997.
6. M. Zorzi and R. R. Rao, "Throughput Analysis of ARQ Go-back-N Protocol in Markov Channels with Unreliable Feedback", ICC'95, pp 1232-1237, June. 1995.
7. M. Zorzi and R. R. Rao, "Throughput Analysis of ARQ Selective-Repeat Protocol with Time Diversity in Markov Channels with Unreliable Feedback", Wireless Networks, Vol. 2, pp. 63-75, March. 1996.
8. R. Cam and C. Leung, "Throughput Analysis of Some ARQ Protocols in the Presence of Feedback Errors", IEEE Trans. Commun., Vol. 45, No. 1, pp. 35-44, January. 1997.

박 성 수 (Seong-Soo Park) 정회원
통신학회 논문지 제 23 권 제 7 호 참조
e-mail : sspark@infocomm.kyunghee.ac.kr

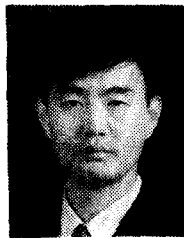
송 영 재 (Young-Jae Song) 정회원
통신학회 논문지 제 23 권 제 7 호 참조
e-mail : yjsong@nms.kyunghee.ac.kr

조 동 호 (Dong-Ho Cho) 정회원
통신학회 논문지 제 23 권 제 7 호 참조
e-mail : dhcho@eeakaist.kaist.ac.kr



김 영 섭 (Young-Sup Kim) 정회원
1994년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1996년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1996년 7월~현재 : SK텔레콤 연구원 근무

<연구분야> 이동통신망



이 상 연 (Sang Yun Lee) 정회원
1983년 2월 : 한국항공대학 전자공학과 졸업(공학사)
1985년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1998년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1985년 3월~1987년 3월 : 금성전기(주) 연구원 근무
1987년 4월~1994년 10월 : LG정보통신(주) 근무
1998년 2월~현재 : SK텔레콤 근무, IMT-2000개발본부 개발1팀장

<연구분야> 이동통신망, 디지털 신호처리