

3GPP ARQ를 위한 재정렬 버퍼의 점유량 조절 방식

신우철, 박진경, 하준, 최천원
단국대학교 전기전자컴퓨터공학부
전화 : 02-709-2919

Occupancy Control Scheme for Reordering Buffer at 3GPP ARQ

Woo Cheol Shin, Jin Kyung Park, Jun Ha, Cheon Won Choi
School of Electrical, Electronics and Computer Engineering
Dankook University
E-mail : cchoi@dku.edu

Abstract

3GPP's RLC protocol specification adopted an error control scheme based on selective repeat ARQ. In 3GPP ARQ, distinctive windows are provided at transmitting and receiving stations so that those stations are prohibited to send or receive data PDU's out of window. An increase in window size enhances delay performance. Such an increase, however, raises the occupancy at reordering buffer, which results in a long reordering time. Aiming at suppressing the occupancy at reordering buffer, we propose a occupancy control scheme in this paper. In this scheme, a threshold is created in the receiving station's window and a data PDU out of the threshold (but within the window) is treated according to go back N ARQ. By the employment of the occupancy control scheme, the occupancy at the reordering buffer is apparently reduced, while the delay performance may be degraded due to the properties of go back N ARQ. We, thus, investigate the peak occupancy and mean delay performance by a simulation method. From numerical examples, we observe a trade-off in both performance measures and conclude that the peak occupancy is effectively reduced by setting a proper threshold under a constraint on mean delay performance.

This work is partially supported by KIPA ITRC project.

I. 서론

제 3세대 GSM(Global System for Mobile Communications) 네트워크의 구축과 이를 위한 W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 접속 기술과 단말기 등에 관한 세부 규약서를 작성하기 위해 1998년 ETSI(European Telecommunications Standards Institute), ARIB/TTC(Association of Radio Industries and Businesses / Telecommunication Technology Commission), TTA(Telecommunications Technology Association) 등을 중심으로 3GPP(3rd Generation Partnership Project)가 결성되었다 [1]. 3GPP는 참여 단체간에 발전된 무선 통신 접근 기술을 포함하여 세계적으로 응용될 수 있는 이동 통신 시스템의 기술 명세서와 기술 보고서를 개발하고 유지하는데 상호 운용 지원함을 목표로 하였고 RLC(radio link control) 기술 명세서를 포함한 일련의 표준안을 발표하였다.

3GPP의 RLC 기술 명세서에서는 이동 통신 시스템의 고속 데이터 전송에서 신뢰성 있는 통신을 제공하기 위해 오류 제어 방식으로 selective repeat ARQ(automatic repeat request) 방식에 기초한 ARQ 방식이 채택되었다 [2]. 3GPP의 ARQ 방식에서 수신국은 수신한 data PDU(protocol data unit)에 대해 (예를 들어 일정한 주기로) 오류 검출을 수행한 후 그 결과를 송신국에 알린다. 이 때 오류 검출 결과는 status PDU에 실리고 검출 내용을 status PDU에 기재하는 구체적인 방법으로 LIST, Bitmap, RLIST 등이 사용된다. 한편 송신국 및 수신국에는 각각 window가 설

정되어 송신국은 순차 번호가 상대적으로 해당 window를 넘어서는 data PDU는 전송하지 않고, 수신국은 순차 번호가 상대적으로 해당 window를 넘어서는 data PDU는 수신하지 않는다. 이러한 3GPP의 ARQ 방식에서 data PDU의 지연 성능을 향상시키는 방안으로 window의 크기를 확장할 수 있으나 이로 인해 수신국의 재정렬 버퍼(reordering buffer)에 누적되는 data PDU의 양이 증가하고 결과적으로 data PDU의 재정렬 시간이 증가하는 문제가 야기된다 [3].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 재정렬 버퍼의 점유량(occupancy) 조절 방식을 제안한다. 점유량 조절 방식에서 수신국의 window 안에 threshold가 설정되고, 수신된 data PDU의 순차 번호가 상대적으로 (window는 넘지 않으나) threshold를 넘어서면 이러한 data PDU는 go back N ARQ 방식으로 처리된다. 즉, 순차 번호가 상대적으로 threshold를 넘어서는 data PDU는 순서대로 재정렬 버퍼에 저장된다. 점유량 조절 방식은 재정렬 버퍼의 점유량을 억제하는 효과를 가져오나 selective repeat ARQ에 대한 go back N ARQ의 상대적인 단점으로 인한 지연 및 최대 throughput 성능의 열화를 불러 올 수 있다. 따라서 본 논문에서는 점유량 조절 방식의 성능을 평가하기 위한 척도로 재정렬 버퍼의 최고 점유량(peak occupancy)과 data PDU의 평균 지연 시간을 선정하고, 모의 실험(simulation) 방법으로 성능 평가를 수행하여 3GPP ARQ에서 재정렬 버퍼의 점유량 조절 방식의 유용성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에는 3GPP ARQ의 특징과 본 논문에서 제안되는 점유량 조절 방식이 서술되고, 3 절에는 점유량 조절 방식의 성능 평가를 위해 시행되는 모의 실험의 환경과 그 결과에 대한 관찰 및 분석이 기술된다.

II. 재정렬 버퍼의 점유량 조절 방식

3GPP 표준안에 규정된 ARQ 방식은 기본적으로 selective repeat ARQ 방식이다. 3GPP ARQ에서 수신국은 수신한 data PDU에 대해 오류 검출을 수행하고 그 결과를 status PDU에 담아 송신국으로 보낸다. 이때 status PDU에는 오류가 검출된 첫 번째 data PDU부터 마지막으로 수신된 data PDU까지 모든 data PDU에 대한 오류 검출 결과 혹은 수신 여부가 기록되고, 이러한 status PDU는 (예를 들어) 주기적으로 송신국에게 발송된다. Status PDU를 접수한 송신국은 오류 검출 내역 혹은 수신 여부를 판독하여 오류가 검출되었거나 혹은 기 송신하였으나 수신되지 않은 data

PDU를 재전송한다. 한편 송신국과 수신국에는 각각 고유의 window가 설정되어, 송신국은 순차 번호가 상대적으로 해당 window를 넘어서는 data PDU는 전송하지 않고, 수신국은 순차 번호가 상대적으로 해당 window를 넘어서는 data PDU는 수신하지 않는다. 예를 들어 송신국의 window 크기가 W_T 이고 수신국으로부터 긍정적 응답을 받은(positively acknowledged) 마지막 data PDU의 순차 번호가 N_T 라면 송신국은 순차 번호가 $W_T + N_T$ 보다 큰 data PDU는 전송하지 않는다. 한편 수신국의 window 크기가 W_R 이고 현재 수신된 data PDU 중 오류가 검출된 첫 번째 data PDU의 순차 번호가 $N_R + 1$ 이라면 수신국은 순차 번호가 $W_R + N_R$ 보다 큰 data PDU의 수신을 거부한다. 위 예에서 수신국의 재정렬 버퍼에 저장된 첫 번째 data PDU의 순차 번호는 $N_R + 1$ 보다 크고 재정렬 버퍼의 최대 점유량은 $W_R - 1$ 임을 알 수 있다.

본 논문에서 제안되는 재정렬 버퍼의 점유량 조절 방식에서는 수신국의 window 안에 threshold가 설정되고, 순차 번호가 상대적으로 threshold를 넘어서는 data PDU는 go back N ARQ 방식으로 처리된다. 즉, 수신국은 순차 번호가 상대적으로 threshold를 넘어서는 data PDU에 대해서 앞선 data PDU가 모두 (오류가 검출되지 않고) 재정렬 버퍼에 저장된 후에야 수신한다. 그러나 순차 번호가 상대적으로 threshold에 못 미치는 data PDU는 기존의 selective repeat ARQ 방식으로 계속 처리된다. 위 예에서 threshold가 $\nu \in (0, \dots, W_R)$ 로 설정되었다면 수신국은 순차 번호가 $N \in (N_R + \nu + 1, \dots, N_R + W_R)$ 인 data PDU를 순차 번호 $N_R + \nu + 1$ 부터 $N - 1$ 까지의 data PDU를 모두 수신하여 오류가 검출되지 않을 때까지 수신 거부한다.

III. 모의 실험을 통한 성능 분석

본 절에서는 제안된 재정렬 버퍼 점유량 조절 방식의 평균 지연 및 최고 점유량 성능을 모의 실험 방법으로 분석한다. 이러한 모의 실험을 위해 설정된 환경은 다음과 같다. 송신국에 도착하는 data PDU는 길이가 일정하게 고정되어 있다. 송신국이 수신국으로 data PDU를 보내는 데이터 채널은 슬롯화되어 있고 한 슬롯의 길이는 data PDU 하나를 전송하는데 소요되는 시간과 같다. 송신국에 data PDU가 도착하는 유형은 Bernoulli batch process를 따른다. 즉, 매 슬롯마다 data PDU의 batch 하나가 도착할 확률은 α 로 일정하고 batch가 도착하지 않을 확률은 $1 - \alpha$ 이며 슬롯마다

batch가 도착하는 사건은 서로 독립이다. (하나의 batch에 포함된 data PDU의 수는 동일한 파라미터 γ 의 shifted geometric distribution을 가지며 각 batch에 포함된 data PDU의 수는 서로 독립이다.) 이렇게 송신국에 도착한 data PDU의 전송은 항상 슬롯이 시작될 때 시작되고, 데이터 채널을 통해 전송되는 임의의 data PDU에서 오류가 발생할 확률은 ϵ 으로 일정하다. 한편 수신국은 수신된 data PDU에 대해 완벽한 오류 검출을 수행하고 그 결과를 status PDU에 담아 주기적으로 응답 채널을 통해 송신국에 보낸다. 이 때 status PDU를 보내는 주기는 슬롯의 정수배가 되도록 설정되고 응답 채널을 통해 전송되는 임의의 status PDU에서 오류가 발생할 확률은 δ 로 일정하다. 이러한 송신국과 수신국은 round trip delay(즉, data PDU 전송 시간, status PDU 전송 시간 그리고 양 방향 전파 지연 시간의 합)가 슬롯 지속 시간의 두 배에 못 미치도록 위치하고 있다고 가정된다.

그림 1과 2에는 송신국에서의 트래픽 부하에 따른 수신국 재정렬 버퍼의 최고 점유량과 data PDU의 평균 지연 시간의 추정값이 각각 도시되어 있다. (최고 점유량의 추정값으로는 점유량의 99th percentile의 추정값이 사용된다.) 이 그림에서 송신국과 수신국의 window 크기는 data PDU 8 개로 설정되어 있고 status PDU가 송부되는 주기는 4 개의 data PDU를 전송하는데 소요되는 시간으로 설정되어 있다. 한편 데이터 채널과 응답 채널에서 임의의 data PDU 혹은 status PDU에 오류가 발생할 확률은 0.1로 고정되어 있다. 그림 1과 2에서 threshold를 설정함으로써 그렇지 않은 경우와 비교하여 재정렬 버퍼의 최고 점유량은 감소하고 data PDU의 평균 지연 시간은 증가하는 성능 척도간의 trade-off가 일어남을 관찰할 수 있다.

그림 3과 4에는 데이터 채널의 data PDU 오류율에 따른 재정렬 버퍼의 최고 점유량과 data PDU의 평균 지연 시간의 추정값이 각각 도시되어 있다. 이 그림에서 송신국과 수신국의 window 크기는 data PDU 16 개로 설정되어 있고 status PDU가 송부되는 주기는 8 개의 data PDU를 전송하는데 소요되는 시간으로 설정되어 있다. 한편 트래픽 부하는 0.4 (data PDU's/time unit)로 고정되어 있고 응답 채널에서 임의의 status PDU에 오류가 발생할 확률은 데이터 채널에서 임의의 data PDU에 오류가 발생할 확률과 동일하게 설정되어 있다. 그림 1과 2에서와 마찬가지로 그림 3과 4에서도 재정렬 버퍼의 최고 점유량과 data PDU의 평균 지연 시간간의 trade-off를 관찰할 수 있고 이러한 성능 trade-off는 data PDU의 오류율이 증가할수록 심화됨을 알 수 있다.

그림 5와 6에는 파라미터 γ 로 결정되는 batch당 평균 data PDU 수에 따른 재정렬 버퍼의 최고 점유량과 data PDU의 평균 지연 시간의 추정값이 각각 도시되어 있다. 이 그림에서 송신국과 수신국의 window 크기는 data PDU 16 개로 설정되어 있고 status PDU가 송부되는 주기는 8 개의 data PDU를 전송하는데 소요되는 시간으로 설정되어 있다. 한편 트래픽 부하는 0.5 (data PDU's/time unit)로 고정되어 있고 데이터 채널과 응답 채널에서 임의의 data PDU 혹은 status PDU에 오류가 발생할 확률은 0.1로 고정되어 있다. 그림 5와 6에서 threshold가 설정되지 않은 경우와 비교하여 data PDU가 보다 균일하게 송신국에 도착할 때 threshold를 설정하여 효율적으로 최고 점유량을 줄일 수 있음을 관찰할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서 selective repeat ARQ에 기초한 3GPP의 ARQ 방식에서 수신국에 위치한 재정렬 버퍼의 점유량을 줄이기 위한 방안으로, 수신국의 window 안에 threshold를 설정하여 순차 번호가 threshold를 넘어서는 data PDU를 go back N ARQ 방식으로 처리하는 재정렬 버퍼의 점유량 조절 방식을 제안하였다. 이러한 점유량 조절 방식의 성능 평가를 위한 척도로 최고 점유량과 data PDU의 평균 지연 시간을 설정하고 모의 실험 방법으로 그 성능을 분석하였다. 다양한 환경에서의 모의 실험 결과로부터 최고 점유량과 평균 지연 시간간의 성능 trade-off를 관찰하였고, 평균 지연 시간의 제약 하에서 최적의 threshold를 도입하여 점유량을 최소화할 수 있는 점유량 조절 방식의 유용성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1]H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS - Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. John Wiley & Sons, 2000.
- [2]3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, "Radio Link Control (RLC) Protocol Specification," 3GPP TS 25.322 version 5.3.0, December 2002.
- [3]U. Yoon, S. Park and P. Min, "Performance Analysis of Multiple Rejects ARQ for RLC (Radio Link Control) in the Third Generation Wireless Communication," Proceedings of IEEE WCNC, pp. 460-464, 2000.

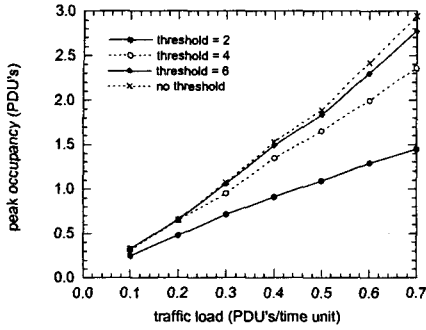


그림 1 트래픽 부하에 따른 재정렬 버퍼의 최고 (99th percentile) 점유량의 추정값

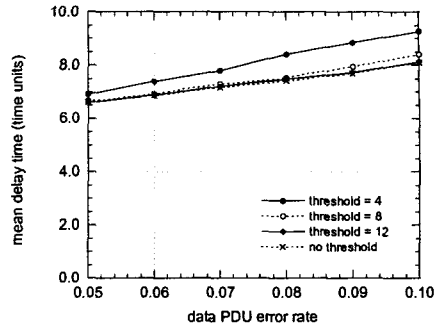


그림 4 data PDU의 오류율에 따른 data PDU의 평균(mean) 지연 시간의 추정값

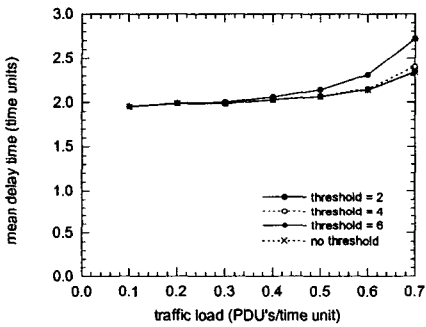


그림 2 트래픽 부하에 따른 data PDU의 평균 (mean) 지연 시간의 추정값

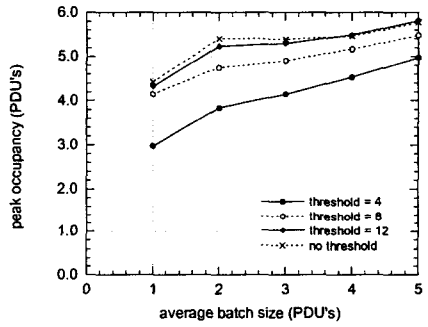


그림 5 평균 batch 크기에 따른 재정렬 버퍼의 최고(99th percentile) 점유량의 추정값

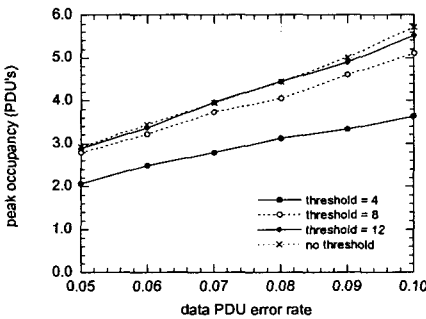


그림 3 data PDU의 오류율에 따른 재정렬 버퍼의 최고(99th percentile) 점유량의 추정값

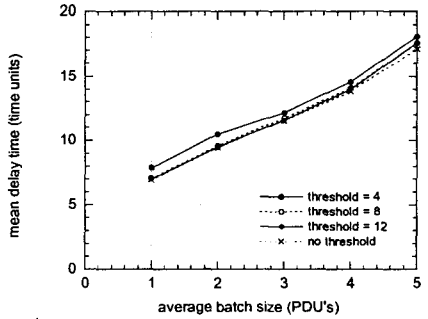


그림 6 평균 batch 크기에 따른 data PDU의 평균(mean) 지연 시간의 추정값