

Spurious NAK Suppression 알고리즘을 통한 RLP 성능향상 RLP Performance Improvement by Spurious NAK Suppression algorithm

이상호*
(Sang-Ho Lee)

개요: 본 논문에서는 Spurious NAK Suppression 알고리즘을 통하여 RLP의 성능향상에 대한 기법을 제안한다. 일반적으로, Hybrid ARQ 기법에서는 MAC과 Physical Layer에서의 Retransmission 및 Error Correction으로 무선환경에서의 Error를 줄이고 latency를 보장하고 있다. 그러나 Hybrid ARQ에서의 Multiple SAW나 Selective-ARQ에 의해서 인접한 Packet들 간의 out-of-sequence 문제가 발생할 수 밖에 없으며, upper layer인 RLP(혹은 RLC)에서는 이를 re-sequencing하여야 하는 부담감이 생기게 된다. 본 논문에서는 RLP receiver에서의 re-sequencing 방법에 있어서, 효율적으로 RLP-NAK의 전송 시점을 결정하는 NAK suppression 방법을 제안하고 있으며, 실험을 통하여 높은 성능향상을 보임을 확인할 수 있다.

Keywords: Hybrid ARQ, RLP, RLC, NAK Suppression

I. 서론

오늘날 이동통신 시스템에서 높은 전송 율과 낮은 Latency를 가지는 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 채널환경 및 서비스의 종류에 따라 다양한 방식의 에러보상기법이 요구된다.

에러보상기법에는 프레임 에러 정정 (FEC, Frame Error Correction) 방식과 재전송 (Automatic Repeat Request) 방식이 있는데, 프레임 에러 정정 방식은 Parity bits와 같은 에러 정정 코드를 이용하여 에러가 발생하더라도 정정할 수 있도록 부가정보를 추가하는 것으로, 에러가 발생하더라도 별도의 재전송 없이 에러를 복구할 수 있다는 장점이 있지만, 추가되는 정정 코드로 인한 전송시간이 길어지게 되어 오버헤드가 크고 양호한 채널환경하에서는 대역폭을 낭비한다는 단점이 있다. 반면 재전송 방식은 에러가 발생하는 경우 재전송을 통해 에러를 보상하는 방식으로, 재전송으로 인한 시간 지연이 생기게 되며, 열악한 채널환경하에서는 오히려 시스템 효율을 떨어뜨리게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 것이 Hybrid ARQ 방식으로 에러정정 방식과 재전송 방식의 두 방식을 결합하여 보다 효율적인 에러보상을 할 수 있다. [1]

현재의 CDMA나 WCDMA 등의 이동통신 시스템에서는 Hybrid ARQ의 에러 정정 방식으로는 Convolutional Coding이나 Turbo Coding의 방식을 주로 사용하고 있으며, 재전송 방식에는 CRC를 통한 에러 검출 및 Multiple SAW(Stop-And-Wait) ARQ 혹은 Selective-ARQ 방식을 통해 재전송을 처리하고 있다. Multiple SAW 혹은 Selective-ARQ 방식은 프레임 에러 발생시 곧바로 NAK를 보내며, 재전송이 이루어지는 동안에도 다음 프레임에 대해서는 연속적으로 송신이 가능하도록 하여 전송속도가 빠르다는 장점이 있지만, 결과적으로 프레임의 순서가 바뀔 가능성이 존재한다.

프레임의 순서가 뒤집히는 것을 바로잡는 역할은 Hybrid ARQ의 상위 Layer에서 수행하며, 일반적으로 데이터 링크

계층인 RLP(혹은 RLC) 계층에서 이를 수행한다.

RLP는 무선 인터페이스상에서 데이터 링크 계층의 역할을 한다. RLP는 Selective-ARQ 방식을 이용하여 Error의 Correction을 수행한다. RLP에서 사용되는 ARQ는 Hybrid ARQ와 별도로 Data Link 계층에서 수행되는 일종의 Outer-ARQ라고 할 수 있다. RLP는 Upper Layer의 Data의 Segmentation 및 Concatenation을 하여 데이터를 Lower Layer로 전송하고, peer RLP로부터 수신되는 Data를 Lower Layer로 전송 받아 이를 Reassembling하여 Upper Layer로 전송하는 역할을 수행한다.

이 때, Data의 Integrity를 보장하기 위해 즉, Lower Layer에서 발생할 수 있는 Error를 복구하기 위해 RLP-NAK를 송신 측으로 보내어 재전송을 받고, 미리 수신된 Packet들과 재전송된 Packet들의 In-sequence Delivery를 위해 Re-sequencing 기능을 수행한다.

본 논문에서는 RLP Layer에서 프레임의 순서를 Re-sequencing함에 있어서 Hybrid ARQ에서의 처리 과정을 Feedback 받음으로써, 효과적인 Re-sequencing 처리를 수행할 수 있는 방법을 제시하며, 실제 3GPP2 IS-856-A (CDMA 2000 1x EV-DO Revision-A) 시스템에서 실험을 통해 성능 효과를 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 Hybrid ARQ에 대한 개요 및 CDMA2000 1x EV-DO Revision A 시스템에서의 Reverse Link상의 Hybrid ARQ 처리 과정을 간략히 살펴본다. 3장에서는 RLP Layer에서의 RLP Receiver의 처리 과정 및 Hybrid ARQ에 의한 Out-of-ordered Packet들의 RLP Re-sequencing 절차에 대해 알아보고, 4장에서는 NAK Suppression 방법에 대해 제안한다. 5장에서는 제안된 기법을 도입한 실험에 대한 효과를 분석한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. Hybrid ARQ

서론에서 언급하였듯이, Hybrid ARQ는 에러 정정 방식과 재전송 방식의 두 방식이 결합된 에러 보상 기법이다. 즉, 프레임 에러 정정 방식을 통하여 에러를 복구하되, 복구 불가능한 에러에 대해서는 NAK를 보내어 재전송을 받는 기법을 이용하는 것이다. 이 재전송 과정에서 기존의 에러가 발생했던 Packet을 버리지 않고 재전송 받은 Packet과 Soft-

* 책임저자 (Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 7. 25, 채택확정 : 2008. 8. 1.

이상호 : LG-Nortel Co. Ltd. CN_R&D) RAN S/W 1 Team 선임연구원
(shagon@lg-nortel.co.kr.)

Combining하여 에리 정정 효과를 높이게 된다. 이 재전송 Packet이 최초 송신된 Packet과 동일하게 전송되도록 하는 방법을 CC (Chase Combining)이라고 하며[2], 추가적인 채널코드의 패리티 비트와 같은 Redundancy를 보내는 기법을 IR (Incremental Redundancy)라고 한다.

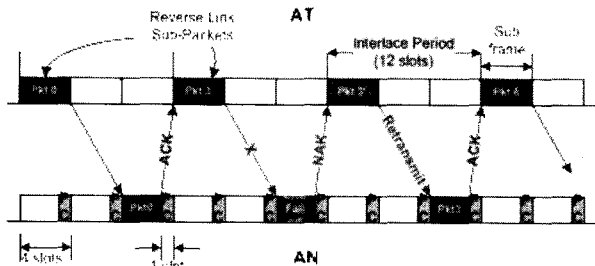


그림 1. IS-856-A Reverse Link Hybrid ARQ

그림1은 IS-856-A 즉, CDMA2000 1X EV-DO Revision-A 시스템에서 Reverse Link의 Hybrid-ARQ의 처리과정의 예를 나타낸 것이다.[3] AT (Access Terminal)에서 AN (Access Network)으로 Packet을 전송할 때는 Sub-Packet단위로 전송하며, Sub-Packet은 4 Slots 즉, 6.67 msec단위이다. 그림에서의 같이 최초 Packet #0가 송신되었으며, AN에서 정상적으로 수신하였으므로 ACK를 전송한다. ACK를 받은 AT는 Packet #3을 전송하게 되며 AN에서는 이번에는 Error복구가 불가능하게 되어 NAK를 전송한다. NAK를 받은 AT는 Packet #3에 대한 두 번째 Redundancy Packet인 Packet #3'를 보내게 된다. IS-856-A의 Reverse Link의 Hybrid ARQ는 Synchronous ARQ이므로, 재전송하여야 할 Packet의 위치는 항상 동일한 Interlacing번호에 Mapping되어야 한다.

III. RLP Processing

1. RLP Receiver Processing

RLP receiver는 AN에서 RLP packet의 수신기능을 담당하고 있다. receiver는 in-sequence버퍼에 들어있는 여러 RLP data를 끄집어내어 upper layer로 송신한다. 만약 AN에서 out of sequence로 data가 수신되는 경우에는 RLP receiver는 re-sequence buffer에 두고 missing bytes에 대해 NAK를 송신하여 AT의 RLP transmitter로 하여금 재전송을 하도록 요구한다. re-sequence buffer에는 여러 RLP data들이 hole에 의해 떨어져 저장되게 된다. data를 수신하면, RLP receiver는 해당 data가 in-sequence buffer에 들어가야 할지 re-sequence buffer에 들어가야 할지 확인하고, re-sequence buffer에 들어가야 한다면 RLP receiver는 빠진 hole만큼 떨어뜨려 data를 저장하게 된다. 만약 이 hole이 abort time period내 채워지지 않게 되면 RLP receiver는 hole을 무시하고 re-sequence buffer의 데이터를 in-sequence buffer로 넘기게 된다.

또한, 제공되는 Service에 따라 RLP receiver는 RLP-NAK 전송을 금지할 수 있도록 구성될 수 있으며, 이 경우, hole이 발생하더라도 hole을 채우기 위한 NAK의 전송 없이 Abort Time이후 곧바로 upper layer로 데이터를 전송하게 된다.

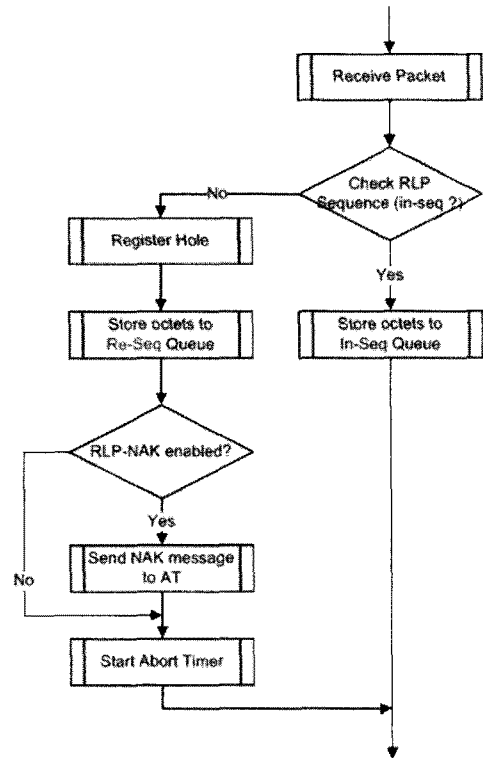


그림 2. 일반적인 RLP Receiver Processing Flow

그림 2에서는 일반적인 RLP Receiver Processing Flow를 나타내고 있다. RLP는 수신된 Packet에 대한 RLP Sequence를 체크하여 Hole이 감지되지 않았다면 즉, Expected Sequence로 Packet이 수신되는 경우에는 그대로 Upper Layer로 Packet을 전송될 수 있도록 In-sequence Queue에 데이터를 저장하고, Hole이 감지되는 경우라면, Hole management queue에 hole을 등록한 후, 수신된 Octet을 Re-sequence Queue에 저장한다. 이후 NAK가 Enabled되어 있는 경우라면 AT로 NAK message를 보내고 미 수신된 Packet이 추후 결과적으로 Re-sequencing이 이루어지지 못해 최종 Upper Layer로 전송되지 못하고 폐기(Abort)되기까지의 Abort Timer를 Start시킨다.

2. RLP Re-sequencing

앞서 살펴본 바와 같이 VoIP와 같은 Low-Latency서비스 즉, Delay Sensitive한 서비스를 제외하고는 일반적으로 NAK가 Enabled되어 있으며, RLP Receiver에서는 Hole이 감지되면 곧바로 에리복구를 위해 AT로 NAK message를 송신하게 된다. 그러나 Hybrid ARQ에 의해 정상적으로 수신될 가능성이 있는 Packet들 간의 Out-of-sequence가 발생할 수 있으며, 이 Packet들이 RLP Receiver의 입력으로 들어가면 불필요하게 NAK message가 전송되게 되며, AT에서는 RLP NAK message에 의해 재전송을 수행하게 되므로 결과적으로 Duplicated Packet이 발생하게 된다.

아래 그림 3은 Hybrid ARQ에 의한 RLP Layer에서의 Packet Duplicated예를 나타낸 것이다. Packet 'A'가 정상적으로 수신된 후, Packet 'B'는 에리발생으로 인해 재전송이 이루어지는 동안에도 Packet 'C', 'D', 'E'등이 순차적으로 정상적으로 수신되게 되며, 결과적으로 RLP Layer에서는 A, C, D, E, ...의 순서

로 수신된다. 이 때, Packet 'C'가 도착하는 즉시 RLP Receiver에서는 'B'에 대한 Hole이 감지되게 되며 AT로 NAK message를 송신하게 된다. 그러나 여러 번의 재전송 끝에 Packet 'B'는 결과적으로 RLP Layer로 정상적으로 수신되게 되지만, 이미 NAK message가 AT로 전송되었으므로, Packet 'B'에 대해서는 나중에 다시 수신되게 되며, 이는 이미 받은 Packet에 대한 처리로 Duplicated처리가 되어 버려지게 된다.

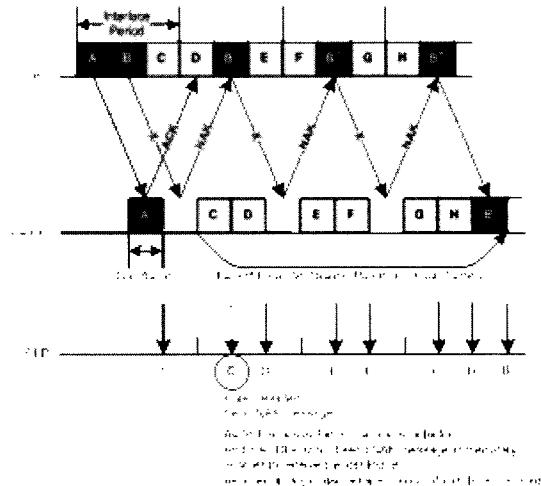


그림 3. Out-of-order & Duplicated RLP packets

IV. NAK Suppression

1. Delayed NAK

Hybrid ARQ처리로 인해 RLP Receiver에서는 Packet의 Duplication이 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위해서는 Hole이 감지되더라도 Hybrid ARQ를 통해 에러 복구되어 정상적으로 Packet이 수신될 가능성이 있는지 확인해야 하며, 복구될 시간까지 NAK message송신을 일정시간 동안 Delay시켜야 한다. 이러한 과정을 Spurious NAK Suppression기능이라고 하며[4], Delayed NAK에 따른 처리과정은 다음과 같다.

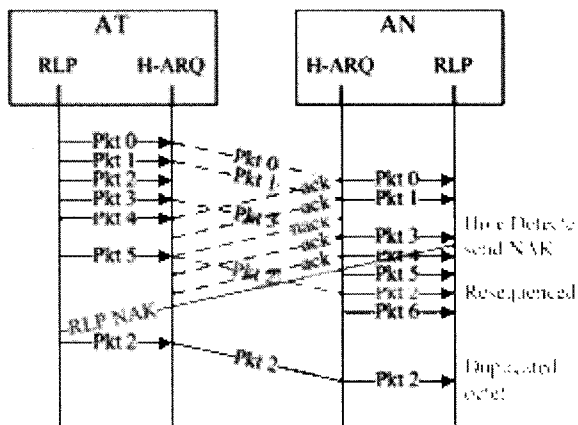


그림 4. Example of NO-Delayed RLP-NAK

그림 4는 NO DELAY option일 때의 Packet흐름도를 나타낸 것이다. AT에서 Packet #0부터 Packet #5까지 순차적으로 AN으로 전송하는 과정 중 Packet #2에 대해 Out-of-sequence가 발생하는 경우를 예로 든 것이다. AT에서 Packet #0과 Packet #1은

잘 전송되어 AN의 Hybrid ARQ에서 ACK를 전송하였으나, Packet #2는 Error발생으로 인해 AN에서는 NACK를 전송하였다. 따라서 AT의 Hybrid ARQ에서는 NACK를 받은 Packet #2를 다시 재전송하게 되는데, 그 Delay로 인해 NACK를 받기 전까지 Packet #3과 Packet #4는 정상적으로 전송이 되어 AN의 RLP Layer까지 수신이 되었다. 이 경우, AN의 RLP 수신 처리 부에서는 결과적으로 Packet #0, Packet #1, Packet #3, Packet #4의 순서로 수신이 되며, Packet #3을 받는 순간 Packet #2에 대해 Hole이 발생하였음을 알게 되고, 곧바로 RLP NAK Message를 peer RLP인 AN의 RLP로 송신하게 된다. 그러나 곧바로 Hybrid ARQ에서의 NACK및 재전송에 의해 에러 정정된 Packet #2가 수신이 되면서, AN의 RLP처리 부에서는 Packet#2를 포함하여 Packet #3과 Packet #4를 Re-sequencing하여 Upper Layer로 송신하게 된다. 반면 Peer RLP, 즉 AT에서는 NAK Message를 받음으로 인해 Packet #2를 다시 송신하게 되며, 결과적으로 AN의 RLP수신 처리 부에서는 이미 수신했던 Packet #2를 Duplicated처리하여 Discard하게 된다.

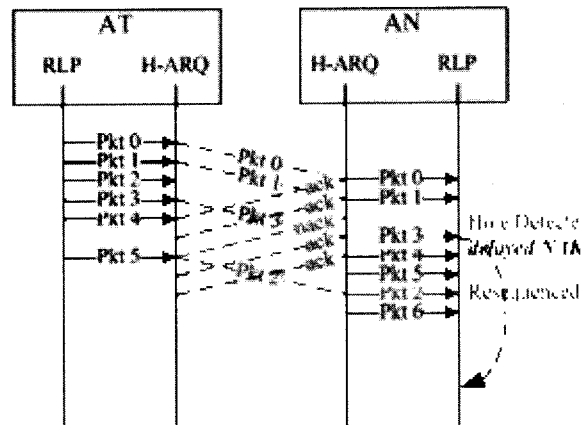


그림 5. Example of Delayed RLP-NAK

반면, 그림 5는 NAK Suppression과정을 통해 일정 시간 동안 NAK Message를 DELAY시키는 option일 때의 Packet흐름도를 나타낸 것이다. 앞의 NO Delayed option과 동일한 방식으로 AT에서 Packet을 송신하는 경우, AN에서는 Packet #3을 받았을 때, 곧바로 RLP-NAK message를 전송하는 것이 아니라 Packet #2가 Hybrid ARQ에서 Error Recovered되어 수신될 가능성이 있는 시간까지 NAK-message를 Holding시킨다. 위의 경우, Packet #2가 Hybrid ARQ에서 Error Recovered되어 수신되었으므로 별도의 NAK message송신 없이 Re-sequencing되어 Upper Layer로 전달되게 된다. 만약 이 NAK-Delay Time동안 Packet #2가 수신되지 못한다면 비로소 RLP-NAK Message를 AT로 송신하게 된다.

아래 그림 6은 RLP-NAK delay Timer를 구동시키는 부분이 포함된 RLP Receiver의 Processing Flow를 나타낸 것이다. 앞서 일반적인 RLP Receiver의 동작과정 중에서, Hole Registering이후 NAK message를 곧바로 보내지 않고 RLP-NAK Delay Timer동안 RLP NAK를 Suppression시키는 기능이 추가적으로 포함되어 있다

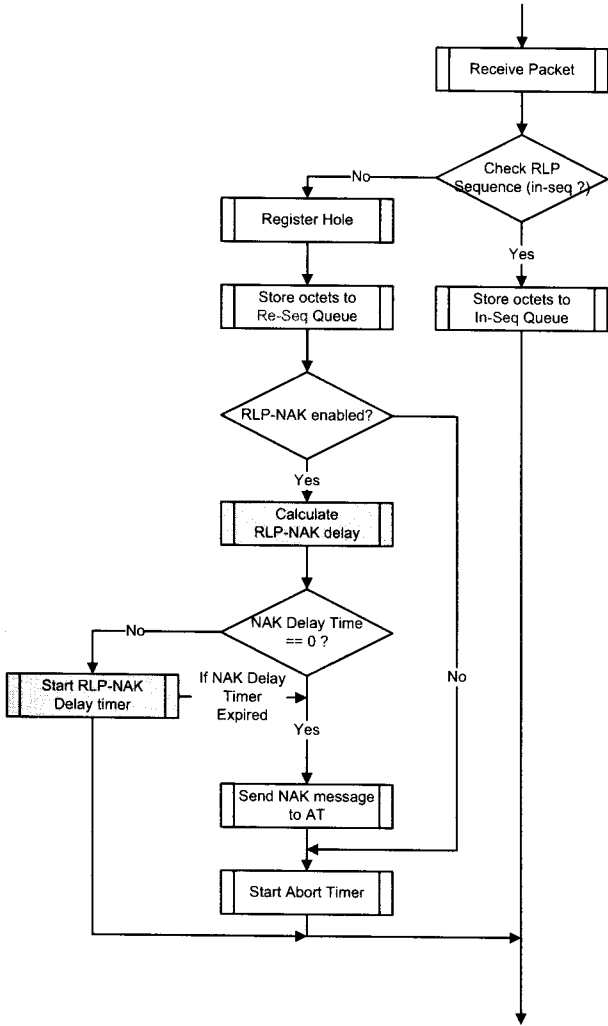


그림 6. NAK-Delayed RLP Receiver Processing Flow

2. Calculating RLP-NAK Delay Time

RLP-NAK Delay Time은 크게 ‘Zero Wait’, ‘Earlier TX Max Termination Time’, ‘Max Termination Time’, ‘Three Sub Packet Termination Time’의 4가지 Option에 따라 계산될 수 있다. 각각의 Option에 의한 NAK Delay Time은 아래와 같다.

2.1 Zero Wait

NAK delay를 주지 않는 경우로, Hole이 발생하는 즉시, NAK message가 AT로 전송되는 option이다. 이 option의 경우에는 Abort Timer에 의해서만 Re-sequencing이 이루어 질 수 있다.

$$NAK\ Delay\ Time = 0$$

2.2 Earlier TX Max Termination Time

이 option의 경우에는 Hybrid ARQ로부터 Interlacing 정보를 Feedback받아 최적의 NAK Delay Time을 계산할 수 있다. 즉, 현재의(This) Interlacing 정보와 나머지(Other) Interlacing 정보의 Interlacing Interval과 Sub Packet ID를 비교하여 Missed Packet이 수신될 가능성이 있는 시간까지 NAK를 Delay시킬 수 있다. RLP Receiver는 Interlacing별로 그림 7과 같은 정보를 Hybrid ARQ로부터 Feedback받는다.

	Other[1] Interface <small>(Interface#, SubPktID, CRC result)</small>	Other[0] Interface <small>(Interface#, SubPktID, CRC result)</small>	This Interface <small>(Interface#, SubPktID, CRC result)</small>
--	---	---	---

그림 7. Interlacing Information

즉, This Interface에서 Hole이 발생하여 NAK를 송신하여야 하는 경우라면, 같이 수신된 바로 앞의 Other Interface에서의 CRC Fail이 발생한 경우, Other Interface의 Sub Packet ID를 기준으로 NAK Delay Time을 계산할 수 있다. 각 Other Interface별로 계산과정은 다음과 같다.

$$Interlace\ Interval[0] = (MAX_INTERLACE_NUMBER + Other\ Interlace\ Number[0] - This\ Interlace\ Number) \text{ Mod } (MAX_INTERLACE_NUMBER)$$

$$Interlace\ Interval[1] = (MAX_INTERLACE_NUMBER + Other\ Interlace\ Number[1] - This\ Interlace\ Number) \text{ Mod } (MAX_INTERLACE_NUMBER)$$

$$NAK\ Delay[0] = 12 * (MAX_TERM_SUBPKT_ID - Other\ Interlace\ Sub\ Packet\ ID[0] - 1) + 4 * Interlace\ Interval[0]$$

$$NAK\ Delay[1] = 12 * (MAX_TERM_SUBPKT_ID - Other\ Interlace\ Sub\ Packet\ ID[1] - 1) + 4 * Interlace\ Interval[1]$$

$$NAK\ Delay = MAX(NAK\ Delay[0], NAK\ Delay[1])$$

2.3 Max Termination Time

이 option의 경우에는 Hybrid ARQ로부터 Interlacing 정보를 Feedback받을 수 없는 경우, 현재의 Sub Packet ID에 의한 최대 NAK Delay Time동안 NAK를 Delay시킨다.

$$NAK\ Delay = 12 * (MAX_TERM_SUBPKT_ID - This\ Interlace\ Sub\ Packet\ ID)$$

2.4 Three Sub Packet Termination Time

이 option의 경우에도 Hybrid ARQ로부터 Interlacing 정보를 Feedback받을 수 없는 경우이나, 현재의 Sub Packet ID가 ‘MAX Sub Packet ID - 1’보다 작은 경우에만 NAK Delay Time 동안 NAK를 Delay시킨다.

$$NAK\ Delay = 12 * (MAX_TERM_SUBPKT_ID - This\ Interlace\ Sub\ Packet\ ID - 1), \text{ where } This\ Interlace\ Sub\ Packet\ ID < (MAX_TERM_SUBPKT_ID - 1)$$

(참고: 상기 4가지 option에서 계산된 NAK Delay의 unit은 slot 단위이며 1.67msec이다.)

V. 실험 결과

본 기능을 시험하기 위한 Test System 구성은 다음과 같다.

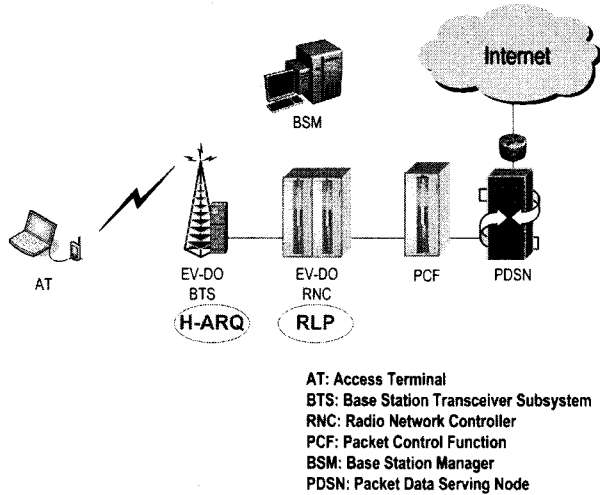


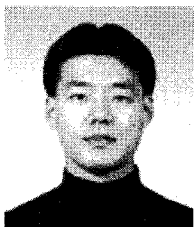
그림 7. Test System Configuration

그림 7과 같이 CDMA2000 1x EV-DO Revision-A 망을 구성한 후, EV-DO Revision-A Terminal에 Notebook을 연결하여, 전화 접속 네트워크로 인터넷으로 접속하고, Notebook에 있는 파일을 FTP를 통해 uploading할 때의 Average Throughput을 비교하였다. NAK Delay Option은 BSM에서 Controllable하도록 설정하고, Zero Wait Option, Earlier TX Max Termination, Max Termination Time, Three Sub Packet Termination Time Option의 네 가지 option에 대해 각각의 Duplicated Octet 및 RLP-NAK counts, Duplicated Octets을 측정된 결과 표1과 같이 측정되었다.

표 1. Test Result. (Average Sub Packet Error Ratio = 3%)

	Throughput (Mbps)	NAK Ratio (%)	Duplicated Ratio (%)
Zero Wait	1.12	7.1	8.7
Earlier TX Max Termination Time	1.31	1.1	0
Max Termination Time	1.28	1.3	0
Three Sub Packet Termination Time	1.27	1.3	0.1

표 1에서 볼 수 있듯이, Zero Wait option에 비해 Earlier TX Max Termination Time의 option은 Average Throughput은 평균 15% 향상되었으며, NAK Ratio와 Duplicated는 상당 부분 감소했음을 알 수 있다.



이 상 호

1999년 경북대학교 전자전기공학부 졸업. 2000년~현재 LG정보통신, LG전자, LG-Nortel 안양연구소 Radio Access Network S/W 재직 중. 관심분야는 이동통신 데이터 처리,

Max Termination Time 및 Three Sub Packet Termination Time의 option에 대해서는 NAK Ratio와 Duplicated Ratio가 마찬가지로 감소하였으나 실제 RLP에서의 Packet Error에 대한 RLP-NAK가 약간 더 delay됨에 따라 Throughput 자체가 약간 낮음을 확인할 수 있다. (단, 본 실험에서는 각 case별 실험에 대해 Sub Packet Error Ratio가 평균 3% 정도의 비슷한 실험 환경에서 실시하였으나, 그 환경 자체가 동일할 수 없으므로, 실제 이론적인 값과는 오차가 발생할 가능성이 존재한다. 본 실험의 목적은 각 option에 대한 성능 차이를 비교하기 위하여 수행한 것이며, 개별 측정된 수치에 대한 이론적 검토는 제외하기로 한다.)

VI. 결론

본 고에서는 Hybrid ARQ 방식을 이용하던 이동통신 시스템에서의 Packet Re-sequencing에 있어서 Spurious RLP NAK Suppression 기법을 제시하고 그 성능을 분석하였다.

일반적으로 RLP는 Lower Layer나 Upper Layer와의 상관관계가 없는 독립적인 프로토콜이지만, Hybrid ARQ에 의한 Out of Sequenced Packet을 Re-sequencing함에 있어서 불필요한 NAK 전달에 의한 중복된 재전송으로 시스템의 성능을 떨어뜨리는 것은 바람직하지 않다. 따라서 RLP의 성능을 최대한 발휘하기 위해서는 RLP 자체 프로토콜의 처리뿐만 아니라 Lower Layer의 처리과정도 RLP 처리과정의 한 입력으로 포함되어야 함을 알 수 있다.

본 고에서는 RLP에서 Interlacing 정보를 NAK Delay Time에 반영하여 Hybrid ARQ에 의한 여러 복구 시간을 예측하여, RLP 성능을 높일 수 있는 방법을 제시하였으며, 실험을 통하여 Hybrid ARQ로부터의 Feedback 정보를 받을 수 없는 경우에는 Max Termination Time 이나 Three Sub Packet Termination Time의 option을 사용하는 것이 바람직하며, Interlacing 정보를 받을 수 있는 경우에는 Earlier TX Max Termination Time의 option을 이용하는 것이 가장 성능이 높음을 확인할 수 있다.

참고 문헌

- [1] S. Lin and D. Costello, Jr., "Error Control Coding: Fundamentals and Applications", Prentice Hall, 1983
- [2] D. Chase, "Code combining - A maximum likelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noisy packets," IEEE Trans. Commun., vol. 33, pp. 385-393, May 1985.
- [3] 3GPP2 C.S0024-A Version 2.0., "cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification", July 2005
- [4] Dev Putchala, "HDR System Release 12.1 Base Station Controller Software Design Document", 80-H0681-2 Rev.A, pp. 6-15 - 6-21, August 2005