

---

 論 文

## 수정된 하이브리드 ARQ 시스템 연구

正會員 金 信 始\* 正會員 崔 然 碩\* 正會員 鄭 虎 泳\* 正會員 康 昌 彦\*

## A Study on the Modified Hybrid ARQ System

Sin Ryeong KIM\*, Yeon Seok CHOI\*, Ho Young JUNG\*, Chang Eon KANG\* *Regular Members*

**要 約** 본 논문에서는 효율적인 오류제어를 위하여 유한 버퍼용량을 갖는 SR ARQ 방식과 (127, 119) 순환해밍코드를 결합한 하이브리드 ARQ 시스템을 설계하고 왕복지연시간  $N$ 이 7인 경우에 대하여 컴퓨터시뮬레이션을 수행하여 제안한 시스템의 동작을 확인하였으며 시스템성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 재전송신호에 오류가 발생한 경우에도 재전송버퍼를 2N으로 함으로써 오류없이 원하는 신호를 찾아내었고, 수신단에서는 오류정정 및 검출을 하여 수신자에게 오류가 없는 데이터를 전달함을 알 수 있었다. 시스템의 성능분석은 채널오류율에 따른 전송효율에 대하여 이루어졌다.

**ABSTRACT** In this paper, the hybrid ARQ system involving the single error correcting and double error detection (127, 119) cyclic Hamming codes and the SR (selective repeat) ARQ schemes with a finite receiver buffer has been designed and constructed. The system performance has been analyzed and simulated. As a result of the simulation, it has been shown that the transmitter retransmitted those data blocks that were detected in errors especially the request signal errors-using two retransmission. The system performance was measured by throughput efficiency due to channel error effects.

## I. 서 론

데이터통신 시스템에서 정보를 전송할 때, 채널 상의 잡음등의 영향으로 인하여 수신된 신호에

오류가 발생하게 되므로 수신자에게 오류가 없는 정보를 전달하기 위한 오류제어방식이 필요하게 되었고, 그 접근방식으로는 FEC (forward error correction) 방식과 ARQ (automatic repeat request) 방식이 있다. 본 논문에서는 시스템성능을 향상시키기 위한 방식으로 FFC 방식 및 ARQ 방식을 결합한 하이브리드 (hybrid) ARQ 방식에 대한 연구를 하였다.

---

\*延世大學校 大學院 電子工學科  
 Dept. of Electronics, Yonsei University, Seoul  
 120-749, Korea.  
 論文番號 : 90-34 (接受 1990. 1. 18)

FFC방식은 오류가 발생하였을 때 수신데이터의 오류를 허용치 이하로 줄여서 디지털정보를 보호하고 전송효율 (throughput)을 증가시키는 방식이고, ARQ 방식은  $(n, k)$  오류검출코드를 사용하여 오류가 검출되지 않을 경우에는 수신자에게 데이터를 전달하고 오류가 검출되는 경우에는 재전송을 요구하는 방식으로서 신뢰도가 높다.

하이브리드 ARQ 방식은 FEC 방식과 ARQ 방식을 결합하여 시스템의 성능을 향상시키는 방식으로서, 수신 데이터의 오류가 선택된 코드의 오류정정능력 이하로 발생하게 되면 오류를 정정하여 정보를 전달하고 오류가 오류정정능력 이상으로 발생하게 되면 오류를 검출하여 재전송을 요구하는 방식이다.

1970년에 Rocher에 의해 BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 코드를 결합한 하이브리드 ARQ 방식이 발표되었으며, 1975년에 Sastry에 의하여 하이브리드 ARQ방식에 대한 성능분석이 이루어졌다<sup>5)</sup>. 1982년에는 Drukarev와 Costello에 의해 콘볼루셔널 코드를 이용한 하이브리드 ARQ 방식과 블럭코드를 이용한 하이브리드 ARQ방식의 성능이 비교 연구되었다<sup>6)</sup>.

기존의 ARQ 및 하이브리드 ARQ방식에 대한 연구는 계열번호 (sequence number)와 케환채널에 오류가 발생하지 않는다고 가정하여 연구가

진행되었다. 본 논문에서는 실시스템과 마찬가지로 계열번호에서 오류가 발생할 확률과 케환채널에서의 오류확률을 고려하여 하이브리드 ARQ 시스템을 설계하였고, 시스템에 대한 컴퓨터시뮬레이션을 수행하였으며 성능을 분석하였다.

## II. 오류제어방식

### 1. Selective Repeat (SR) ARQ 방식

SR ARQ방식은 오류가 검출된 코드어만을 선별해서 재전송하는 방식으로서 전송효율은 왕복 지연시간에 영향을 받지 않는다. 그러나 코드어가 순차적으로 수신자에게 전달되기 위해서는 재전송에 의해 뒤바뀐 순서를 바로 잡아야 하므로, 무한버퍼가 필요하며 유한버퍼가 수신단에 사용되면 버퍼 오버플로우 (overflow)가 발생한다.

무한한 버퍼는 실제로 구현이 불가능하므로 버퍼용량이 유한한 경우에 한하여 고려해야 한다. 버퍼용량  $N$ 을 갖는 SR ARQ방식에서 송신단은 수신단에서 버퍼오버플로우가 발생하는 것을 검출하여 잃어버린 코드어를 재전송하며, 수신단에서는 송신단에서 보내오는 코드어를 받아서 오류검출을 시도하여 오류가 검출되었을 때 코드어의 순서를 바로 잡기 위해  $N$ 개의 버퍼와 순환되는  $3N$ 개의 계열번호 (sequence number)를 사용

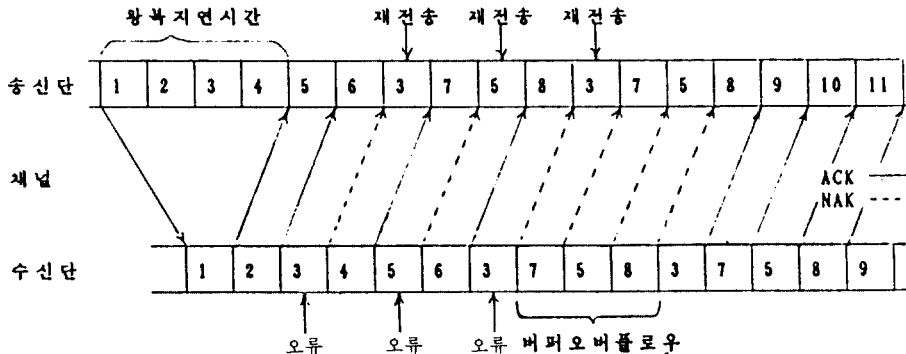


그림 1. 유한버퍼용량의 SR ARQ ( $N=4$ )  
SR ARQ with finite receiver buffer ( $N=4$ ).

한다. 이 때 같은 코드어에 연속해서 두번이상 오류가 발생하면 버퍼 오버플로우가 발생한다. 그림 1에 유한버퍼용량을 가진 SR ARQ방식이 시도되었다.

전송효율을 구해 보면 코드어의 총 비트수를  $n$ 이라 하고 한 비트에 대한 오류확률을  $e$ 라 하면, 하나의 코드어가 정확히 전송될 확률  $P$ 는  $P=(1-e)^n$ 이며 하나의 코드어가 한번, 두번, 세번의 재전송을 통해 오류없이 전송될 확률은 각각  $\phi_1=1-(1-P)^2$ ,  $\phi_2=1-(1-P)^3$ ,  $\phi_3=1-(1-P)^4$ 가 된다.

따라서 전송효율은 식(1)과 같다[4].

$$\eta_{SRF} \cong \frac{\lambda_0}{(\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 N)} \quad (1)$$

여기서,

$$\lambda_0 = \frac{(1 - \phi_2 \phi_3^{N-1})}{(1 - \phi_3)}$$

$$\lambda_1 = P^2 \{ \phi_1^{N-2} + (1-P) \phi_2^{N-2} + (1-P)^2 \phi_3^{N-2} \} (2)$$

$$\lambda_2 = 3 - P^2 \phi_1^{N-2} - \phi_1^2 \phi_2^{N-2} - \phi_2^2 \phi_3^{N-2}$$

로 주어진다.

그림 2는 코드길이  $n=1024$ 이고 왕복지연 시간  $N=128$ 인 경우에 대하여 전송효율을 비교한 것이다.

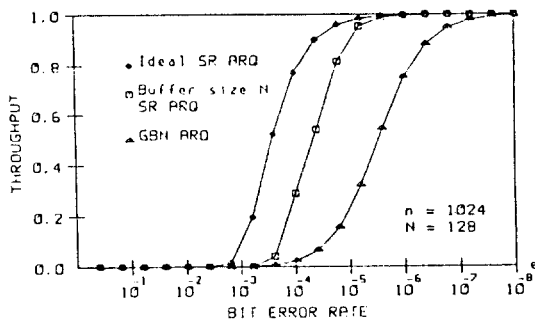


그림 2. ARQ 방식의 전송효율 비교  
Throughput efficiencies: GBN ARQ, ideal SR ARQ and SR ARQ with  $N=128$ .

버퍼 용량이  $N$ 인 경우의 SR ARQ 방식에 대한 전송효율은 이상적인 SR ARQ 방식보다는 떨어지지만 GBN (go back N) ARQ 방식보다는 우수함을 알 수 있다.

## 2. 하이브리드 ARQ 방식

데이터통신 시스템의 성능 (performance)을 전송효율과 신뢰도로 비교한다면, FEC 방식은 전송효율은 좋으나 신뢰도가 떨어지고 ARQ 방식은 전송효율은 떨어지나 신뢰도가 좋다는 장단점을 갖고 있다. 따라서 FEC 방식과 ARQ 방식을 결합하면 각각의 단점을 극복할 수 있는데 이것을 하이브리드 ARQ 방식이라 부른다.

하이브리드 ARQ 방식은 매우 자주 발생하는 오류형태를 정정해서 재전송횟수를 줄임으로써 전송효율을 증가시키고, 자주 발생하지 않는 연접 오류 형태는 재전송을 요구해서 신뢰도를 증가시키게 되므로 FEC 방식 보다는 신뢰도가 높고 ARQ방식 보다는 전송효율이 좋다.

## Ⅲ. 하이브리드 ARQ시스템 설계

### 1. 송신단 설계

송신단은 (127, 119) 인코더와 (15, 7) 디코더 및 왕복지연시간 동안 코드어를 저장하는 재전송 버퍼 1 그리고 캐환채널의 오류발생확률을 고려하기 위하여 ACK된 신호를 한번 더 저장하는 재전

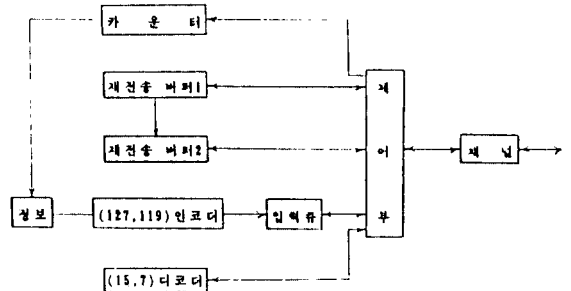


그림 3. 송신단 구성  
Transmitter configuration.

송버퍼 2와 수신단에서 오는 응답신호에 대한 재전송여부를 판단하는 제어기, 카운터로 구성된다.

정보는 인코더를 통하여 전송됨과 동시에 재전송버퍼에 저장된다. 왕복지연시간이 지난후 응답신호가 도착하는데 디코더를 통과한 신호가 제어기에서 ACK로 판단되면 새로운 코드어를 전송하고 NAK인 경우는 재전송을 결정해준다.

## 2. 수신단 설계

수신단은 채널을 통과한 수신코드어의 오류를 검출하기 위한 (127, 119) 디코더와 오류가 검출되었을 때 코드어의 순서를 바로 잡기위한 N개의 버퍼, (15,7) 코드를 이용한 응답신호발생기 및 수신코드어를 수신자에게 전달할 것인지 재전송을 요구할 것인지를 판단하는 제어기로 구성된다.

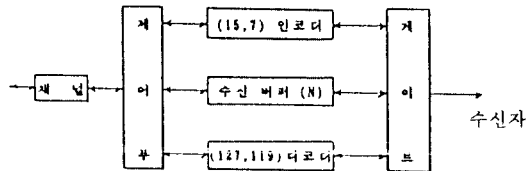


그림 4. 수신단 구성  
Receiver configuration

오류가 없을 때와 1개의 오류가 발생하였을 경우에는 디코더에 의해서 에러가 정정된 후 수신자에게 정보가 전달되고, 2개 이상의 오류가 검출되면 케환채널을 통하여 NAK를 전송하고 재전송을 요구한 후 수신버퍼에 저장한다.

## IV. 시뮬레이션 및 성능분석

### 1. 송신단 시뮬레이션

x가 전송버퍼의 가장 먼저 NAK된 계열번호이고 y는 현재의 계열번호라면 전방거리  $F_t = y - x \pmod{3N}$ 이 되고 이 전방거리와 응답신호에 따라

코드어가 전송된다.

송신시스템의 시뮬레이션 동작알고리즘은 다음과 같다(j: 계열번호).

- 1) ACK(j),  $F_t < N$  ~ 입력큐의 첫번째 코드어 전송, 재전송버퍼 1에 저장, 계열번호 j의 코드어는 재전송버퍼 2로 천이.
- 2) NAK(j) 또는 unACK ~ 전방거리 계산, 이때  $F_t < N$ 이면 재전송버퍼의 코드어를 재전송.
- 3) NAK(j) 또는 unACK,  $F_t = 0$  ~ 수신단에 오버플로우가 발생한 경우 : 재전송버퍼에 있는 코드어를 재전송,  $F_t \geq N$ 인 코드어를 입력큐로 옮긴 후 천이.
- 4)  $F_t \geq N$  ~ 입력큐의 첫번째 코드어 전송.
- 5) 같은 계열번호가 없으면 재전송버퍼 2의 내용을 재전송.

### 2. 수신단 시뮬레이션

버퍼가 비어있는 상태를 정규상태라 할 때 y를 수신단에서 최종적으로 수신자에게 전달된 계열번호라 하고 x를 현재의 계열번호라 하면 전방거리는  $F_R = x - y \pmod{3N}$ 가 된다. 수신버퍼에 코드어가 저장되어 있는 차단상태에서는 y를 최초 NAK된 계열번호라 하면 전방거리는  $L_t = x - y \pmod{3N}$ 이 되고 z를 버퍼내에 최후로 저장된 계열번호라 하면 후방거리  $L_b = z - x \pmod{3N}$ 가 되어 이러한 정규상태와 차단상태에서의  $F_R, L_t, L_b$ 에 따라 수신단이 동작한다.

먼저 정규상태에서의 동작은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- (1) 오류가 없거나 1개의 오류가 발생된 경우
  - 1) 오류정정 ~ 현재의 계열번호 j에 대하여 전방거리  $F_R$  계산.
  - 2)  $F_R = 1$  ~ 수신자에게 코드어 전달, ACK(j) 전송.
  - 3)  $1 < F_R \leq N$  ~ ACK(j) 전송,  $F_R - 1$ 개의 공간확보 후 코드어를 수신 버퍼에 저장.
  - 4)  $F_R > N$  ~ ACK(j)를 전송, 정규상태 유지.

(2) 2개 이상의 오류가 검출된 경우

현재의 계열번호 s를 최후로 수신자에게 전달된 정보의 계열번호  $q_0$ 에 대하여  $(q_0 + 1)$ 로서 추정하

고 NAK(s)를 전송한 후 공간을 확보한다. 그리고 차단상태로 전환한다.

차단상태에서의 동작은 먼저 오버플로우를 초기화한 후 다음과 같이 수행한다.

- (1) 오류가 없거나 1개의 오류가 발생한 경우
  - 1) 오류정정~ 현재의 계열번호 j를 이용하여 전방 거리  $L_f$  계산.
  - 2)  $L_f < N$  ~ 코더어를 수신 버퍼에 저장후 ACK(j) 전송.
  - 3)  $L_f = 0$  ~ ACK(j) 전송, 오류없는 코더어를 모두 출력후 오버플로우 초기화 (reset). 정규상태 복원 또는 차단상태를 유지 결정.
  - 4)  $L_f = N$  ~ NAK(j) 전송, 오버플로우 카운트
  - 5)  $L_f > N, L_b < 2N$  ~ ACK(j)를 전송.

$L_f > N, L_b \geq 2N$  ~ NAK(j)를 전송, 오버플로우 카운트.

(2) 2개 이상의 오류가 발생한 경우

( $q_2$ : 수신버퍼에 최후로 들어온 정보의 계열번호)

- 1) 계열번호  $s \sim s = q_2 + 1 +$  (오버플로우 카운트)로 계산.
- 2)  $L_f < N$  ~ 이전에 ACK를 받은 경우라면 ACK(s)를 전송하고, 그렇지 않으면 NAK(s) 전송.
- 3)  $L_f = N$  ~ NAK( $q_1$ ) 전송, 오버플로우 카운트.
- 4)  $L_f > N, L_b < 2N$  ~ ACK(s) 전송.  
 $L_f > N, L_b \geq 2N$  ~ NAK(s)를 전송, 오버플로우 카운트.

본 논문에서는 (2)항의 내용들을 추가하였고 오버플로우 카운트를 2개 이상의 오류가 발생하였을 때 계열번호 계산등을 위하여 사용하였으며 NAK된 정보가 NAK된 경우의 오버플로우와 NAK된 정보가 ACK로 인식되어 재전송되지 않음으로 하여 발생하는 오버플로우에 대한 해결과정으로 이용하였다.

송수신단의 동작알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과, 오류없이 동작함을 알 수 있었다.

### 3. 전송효율 분석

ARQ방식을 이용한 시스템에서는 성능분석을 전송효율에 대하여 수행하게 되고, 본 논문에서는 순방향채널과 케환채널을 독립, 대칭이며 통계적인 특성이 동일하다고 가정하였다. 채널의 천이확률을  $e$ 라 하고,  $P_0$ 를 SR ARQ시스템에 대한 오류가 없을 확률이라하며,  $P_u$ 와  $P_{e1}$ 를 하이브리드 시스템의 순방향채널에서의 오류를 감지하지 못할 확률과 오류확률이라 하고  $P_{e2}$ 를 케환채널에서의 오류를 정정하지 못할 확률이라할 때 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_0 = (1-e)^n$$

$$P_{e1} = \sum_{i=1}^n \binom{n}{i} e^i (1-e)^{n-i} \quad (3)$$

$$P_{e2} = \sum_{i=(k+1)}^n \binom{n}{i} e^i (1-e)^{n-i}$$

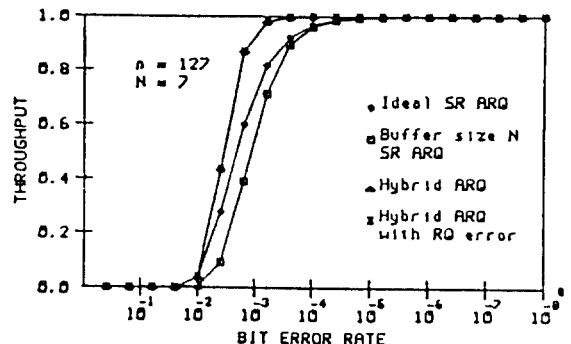
$$P_u = 2^{-(m+1)} \{1 + 2(2^m - 1)(1-e)(1-2e)^{2^{m-1}} + (1-2e)^{2^m}\} - (1-e)^{2^m} \quad (\text{단, } m = n - k - 1)$$

수신코더어가 받아들여질 확률을  $P$ 라 하면 무한버퍼를 사용한 시스템의 전송효율은

$$\eta_{SR} = P \quad (4)$$

가 되고, 케환채널에 에러가 있을 때의 확률  $P$ 는 식(5)와 같이 주어진다.

$$P = (1 - P_{e1})(1 - P_{e2}) + P_u(1 - P_{e2}) \quad (5)$$



(a)

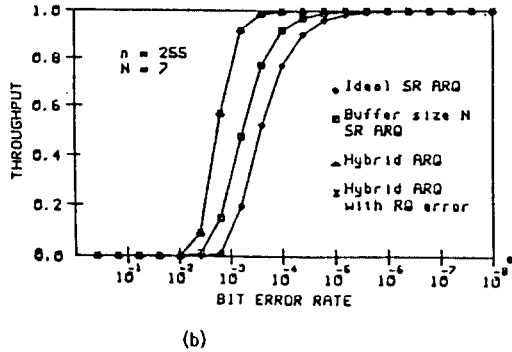


그림 5. 전송효율 비교  
Throughput efficiencies.

이러한 식(1), (3), (4), (5)를 이용하여 전송효율을 비교해보면 그림 5와 같다.

그림에서 알 수 있듯이  $n=127$ 이고  $N=7$ 일 때 이상적인 SR ARQ 방식과 버퍼용량이  $N$ 인 SR ARQ 방식은 채널오류율이  $10^{-3}$  정도일 때 전송효율이 0.7 이하로 나타나서 효율적인 통신이 불가능함을 알 수 있었다.  $n=255$ 이고  $N=7$ 인 경우에는 이상적인 SR ARQ 방식과 유한 버퍼용량의 SR ARQ 방식을 사용하면 전송효율이 0.3 이하로 떨어지게 되므로 코드 길이와 왕복지연시간이 길어짐에 따라 전송효율은 점점 더 나빠짐을 알 수 있다. 그러나 하이브리드 ARQ 방식 및 제안된 하이브리드 ARQ 시스템은 자주 발생하는 1개의 오류를 정정함으로써 재전송횟수가 줄어들게 되어 채널오류율이  $10^{-3}$  정도일 경우에도 거의 1이 되어 사용가능한 전송효율을 유지함을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 효율적인 전송오류제어를 위하여 FFC 방식과 ARQ 방식을 결합한 하이브리드 ARQ 시스템을 설계하고 구성하였으며 시스템의 성능을 분석하였다.

제안한 하이브리드 ARQ 시스템의 FFC 방식으로는 순방향채널에 (127, 119) 순환해밍코드를 사용

하였고 역방향채널에는 (15, 7) 순환코드를 사용하였으며, ARQ 방식으로는 유한 버퍼용량  $N$ 을 갖는 SR ARQ 방식을 이용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 왕복지연시간이 7인 경우에 대하여 수행하였다.

성능분석 결과 기존의 하이브리드 ARQ 시스템 및 제안된 하이브리드 ARQ 시스템은 자주 발생하는 1개의 오류를 정정하여 재전송횟수를 줄임으로써 채널오류율이  $10^{-3}$  정도일 때 전송효율이 거의 1이 되어 사용가능한 전송효율을 유지함을 알 수 있었다. 본 시스템은 실제 시스템과 유사하게 역방향채널에 오류가 있다고 가정하였으나 역방향채널에 (15, 7) 순환코드를 사용함으로써 전송효율이 일반적인 하이브리드 ARQ 시스템의 전송효율과 일치함을 알 수 있었다.

결과적으로 기존의 하이브리드 ARQ 시스템과 제안된 하이브리드 ARQ 시스템은 전송효율은 거의 일치하지만, 역방향채널에 오류가 발생한 경우에 하이브리드 시스템은 전혀 다른 정보를 보냄으로써 무한 루프를 돌게 되지만 제안된 하이브리드 시스템은 ACK를 받은 신호를 다시 한번 재전송 버퍼에 저장시켜 줌으로써 재전송신호에 오류가 발생하였을 경우에도 재전송버퍼의 내용을 송신하여 오류없이 수신자에게 정보를 순차적으로 전달할 수 있음을 알 수 있었다.

이러한 하이브리드 ARQ 시스템은 컴퓨터통신 및 전송오류율이 높은 위성통신 등에 이용될 수 있다.

## 參 考 文 獻

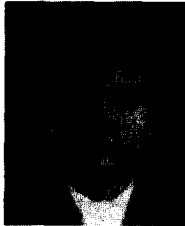
1. R. J. Benice and A. H. Frey, Jr., "An analysis of retransmission system", IEEE Trans, Commun. Tech., vol. COM-12, pp. 135~145, December 1964.
2. H. O. Burton and D. D. Sullivan, "Errors and error control", Proceedings of the IEEE, vol. 60, no. 11, pp. 1293~1301, November 1972.
3. A. R. K. Sastry, "Performance of hybrid error control schemes on satellite channels", IEEE Trans. on Commun., vol. COM-23, no. 7, pp. 689-694, July 1975.
4. P. S. Yu and S. Lin, "An efficient selective-repeat ARQ scheme for satellite channels and its throughput

analysis", IEEE Trans. on Commun., vol. COM-29, no. 3, pp. 353~363, March 1981.

5. A. Drukarev and D. J. Costello, Jr., "A comparison of block and convolutional codes in ARQ error control schemes", IEEE Trans. on Commun., vol. COM-30, no.

11, pp.2449~2455, November 1982.

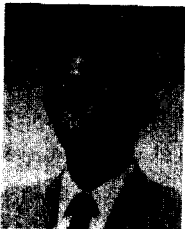
6. 강창연, 김신령, 박성경, "해밍 코드를 이용한 효율적인 Hybrid ARQ 시스템의 성능 분석", 한국통신학회지 제13권 제6호, pp.535~544, 1988.



金 信 榮 (Sin Ryeong Kim) 正會員  
1960年12月12日生  
1983年2月:慶北大學校 電子工學科 卒業(工學士)  
1985年2月:延世大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)  
1990年2月:延世大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學博士)



崔 然 碩 (Yeon Seok Choi) 正會員  
1964年4月25日生  
1986年2月:延世大學校 電子工學科 卒業(工學士)  
1988年9月~現在:延世大學校 大學院 電子工學科 碩士課程



鄭 虎 泳 (Ho Young JUNG) 正會員  
1962年7月6日生  
1986年2月:忠南大學校 電子工學教育學科 卒業  
1989年8月:延世大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)  
1990年3月:延世大學校 大學院 電子工學科 博士課程



康 昌 彥 (Chang Eon KANG) 正會員  
1938年8月26日生  
1960年:延世大學校 電氣工學科(工學士)  
1965年:延世大學校 大學院 電氣工學科(工學碩士)  
1969年:美國 미시간주립大學校 大學院 電氣工學科(工學碩士)  
1973年:美國 미시간주립大學校 大學院 電氣工學科(工學博士)

1967年~1973年:美國 미시간주립大學校 工業研究所 先任 研究員  
1973年~1981年:美國 노턴일리노이대학교 電氣工學科 助教授, 副教授

1982年~現在:延世大學校 電子工學科 教授

1987年~1988年:本學會 副會長

1989年~現在:本學會 會長