

가변 에러율 채널에 효과적인 Stop-and-Wait ARQ 방식

김윤호^{*} · 정두영^{**}

요 약

ARQ 방식들에 대한 연구는 대부분 고정 채널의 제한된 에러율 하에서 이루어진다. 고정 채널이 아닌 경우에는 에러율의 변화가 다양하며, 에러율의 변화 범위가 광범위하다. 본 논문에서는 에러율의 변화가 느린 채널에서 수신한 확인 메시지에 근거해 간단한 방법으로 채널 상태를 판단하고, ARQ의 동작 모드를 적극적으로 교환시킬 수 있는 효과적인 stop-and-wait ARQ 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 에러율의 변화 범위가 광범위한 조건 하에서 다른 비교할 수 있는 stop-and-wait ARQ 방식보다 높은 전송 효율을 제공한다.

An Effective Stop-and-Wait ARQ Scheme for Variable-Error-Rate Channels

Yoon-Ho Kim^{*} and Doo-Young Jung^{**}

ABSTRACT

Most studies of the ARQ schemes are conducted under the limited error rate of a fairly stationary channel. In nonstationary channel, error rates vary considerably and variety of error rate is wide. This paper proposes an effective Stop-and-Wait ARQ scheme which estimates the channel state in a simple manner based on the received acknowledgement messages, and can adaptively switch its operation mode in a channel where error rates vary slowly. It provides higher throughput than other comparable Stop-and-Wait ARQ schemes under a wide variety of error rate conditions.

Key words: ARQ, stop-and-wait, 채널 상태

1. 서 론

Automatic-repeat-request (ARQ) 기술들은 높은 신뢰성 때문에 데이터 통신 시스템에서 에러 확률을 줄이는데 널리 사용되고 있다. ARQ 방식은 stop-and-wait, go-back-N, selective-repeat 등 크게 세 가지로 분류할 수 있다. stop-and-wait 방식에서 송신측은 정보를 전송한 후, 연속적인 재전송에 앞서 수신측으로부터 확인 메시지(ACK 또는 NAK)를 기다린다. 이 시스템은 반이중 링크(half duplex link)를 사용하므로, 블록을 일단 전송한 후, 그 블록에 대한 확인 신호가 도착 될 때까지 송신측에서는 휴지

(idle) 상태에 머무르게 되는 단점이 있다. 하지만 Stop-and-Wait ARQ 방식은 세 가지의 ARQ 방식 중 구현이 가장 간단하며 가장 널리 사용되는 방식이다. 또한 무선 통신이 아닌 전화선이나 LAN 같은 땅속에 선로를 묻어 사용하는 데이터 통신에서 주로 사용된다. go-back-N 방식은 송신측에서 NAK를 받을 때까지 연속적으로 정보를 보내고, NAK를 받은 후 그 동안 보냈던 정보를 재전송하기 때문에 더 효율적이다. 그러나 go-back-N 방식은 에러율이 낮고 왕복지연시간이 짧을 때는 훌륭할 만한 성능을 보이지만, 에러율이 높아지거나 혹은 동시에 왕복지연시간이 증가하면 전송 효율이 현저히 떨어지게 된다. selective-repeat 방식에서 송신측은 에러가 검출된 블록만을 재전송하기 때문에 세 가지의 ARQ 방식들 중에서 가장 효과적이다. 하지만 구현이 복잡하

^{*} 정회원, 충북대학교 정보통신공학과(석사)

^{**} 정회원, 충북대학교 교수재직

고 이론상으로 수신측에 무한한 버퍼를 필요로 하기 때문에 많은 비용을 요구한다. 이러한 측면에서 stop-and-wait 방식은 구현이 간단하다는 장점을 가지고 있다[1].

Sastry는 에러 확률이 높아질 때 전송 효율을 향상시키기 위해 basic stop-and-wait ARQ 방식을 수정하였다. 그의 수정된 방식에 따르면, 송신측은 첫 번째 전송 시 하나의 데이터 블록을 전송하고 에러가 발생하면 송신측은 에러가 난 블록에 대한 몇 개의 복사본을 연속적으로 재전송 한다. 주어진 블록에 대한 몇 개의 재전송이 가지는 확률은 모두 채널 상태에 의존한다. 만약 채널 에러율이 증가해 충분히 높다면(P_e 가 약 0.41보다 클 때) 전송 효율은 향상된다[2].

ARQ 방식들에 대한 연구는 채널이 고정되어 있다는 가정 하에서 대부분 이루어진다. 본 논문은 에러율의 범위가 광범위하게 변하는 가변 채널에 효과적인 stop-and-wait ARQ 방식을 제안한다. 제안하는 stop-and-wait ARQ 방식에서, 송신측은 간단한 방법으로 낮은 에러율과 높은 에러율의 두 가지 채널 상태를 판단하고, 두 채널 상태에 적합하도록 각각의 동작 모드를 적응적으로 변화시킨다. 이 방식은 송신측에서 수신한 확인신호의 수를 계산하는 것을 기초로 채널의 상태를 판단하는 방식으로, 여기에는 α 와 β 의 두 가지 파라미터가 사용된다. α 는 송신측에서 연속적으로 수신하는 NAK의 개수를 의미하며, β 는 송신측에서 연속적으로 수신하는 ACK의 개수를 의미한다. 이러한 방식으로 에러율의 범위가 광범위한 상태에서 다른 비교할 수 있는 방식들 보다 더 높은 전송 효율을 제공할 수 있다.

동적으로 변하는 ARQ 알고리즘의 제안은 참고문헌 [4-8]에서 이 전에 고려된 적이 있고, 몇몇 방식들은 고정되지 않은 채널의 응용에 대해서 제안되었다. [4]와 [6]에서의 접근은 측정이 어려운 순간 블록 에러 확률의 이해가 필요하다. [5]와 [8]에서의 hybrid ARQ 방식은 증가된 도구의 복잡성으로 이용된다. 본 논문에서 제안되는 방식은 채널 상태 측정과 ARQ 동작 면에서 모두 간단하다는 장점을 갖는다.

2. 채널 상태와 ARQ 동작 모드

일반적인 채널 상태에서는 basic Stop-and-Wait

ARQ 방식을 사용하여 에러 제어를 할 수 있지만 의 부적인 요인으로 인해 채널의 상태가 악화되어 에러율이 급격히 증가하는 비상사태가 발생할 경우에는 basic 방식으로는 채널의 에러를 제어할 수 없게 된다. 이처럼 채널의 상태가 갑자기 악화되는 상황에서는 채널의 상태를 빠르게 판단하여 그에 적합한 ARQ 방식을 사용할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

2.1 두 가지 채널 상태.

그림 1에서 볼 수 있듯이 채널(송신측에서 수신측으로)은 낮은 에러율을 가지는 상태 L과 높은 에러율을 가지는 상태 H의 두 가지 채널 상태를 갖는다고 가정한다. 채널은 상태 L에서 H로 변할 때 p_1 의 확률을 갖으며, 상태 H에서 L로 변할 때 p_2 의 확률을 갖는다.

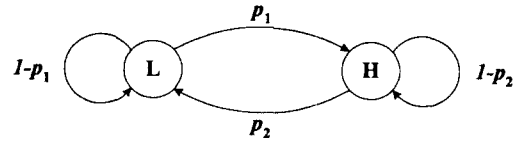


그림 1. 채널 상태 모델

2.2. 채널 상태에 따른 ARQ 동작 모드

2.2.1. Basic Stop-and-Wait ARQ 모드

제안된 stop-and-wait ARQ 방식에는 L과 H의 두 가지 채널 상태에 각각 대응하는 두 가지의 동작 모드가 있다. 채널이 상태 L에 있다면, 송신측은 basic stop-and-wait 모드로 동작하고 그때의 시스템 효율은 다음과 같다[2].

$$\eta_1 = \frac{k(1 - P_e)}{(n + RT)} \tag{1}$$

- 여기서, k : 블록당 정보 비트의 수
- n : 블록의 길이 [bits]
- T : 시스템의 전체 왕복지연시간
- R : 초당 전송률 [bits/sec.]
- P_e : 블록 에러 확률

이 동작 모드에서 송신측은 확인 메시지 NAK (negative acknowledgment)를 수신한 데이터 블록에 대해 재전송을 한다. 만약 연속되는 α 개($\alpha \geq 2$)의 NAK를 동일한 데이터 블록에 대해서 수신한

다면, 송신측은 채널의 상태가 L 상태에서 H 상태로 변하고 있다고 간주한다. 첫 번째 전송의 블록 에러와 그와 관련된 데이터 블록의 잇따르는 재전송들은 상호 독립이므로, 이 때의 변이 확률은 $p_1 = P_e^a$ 이다.

2.2.2. m -copy 전송 모드

Sastry의 수정된 방식에서는 NAK 신호를 받은 블록에 대해서 몇 개의 복사본을 재 전송한다. 여기서, 채널 에러율이 증가해서 충분히 높다면 각 데이터 블록이 올바르게 전송되는 한 지점이 존재할 것이다. 이것은 평균적으로 한 번 이상이 된다. 이러한 상태 하에서는, 첫 번째 전송부터 각 블록의 연속적인 둘 또는 더 많은 복사본(m -copy)을 보내는 것이 더 효율적인 것이다. 재 전송에 대한 요구는 복사본 중 올바르게 전송된 블록이 없을 때에만 다시 이루어진다. 하지만 각 전송에 상응하는 지연시간 T (total round trip delay of system)가 m -copy 전송에 분포될 수 있고, 채널 에러율이 높은 상황에서 Sastry의 수정된 방식 보다 향상된 전송 효율을 제공한다[3].

채널 상태 H에서, 송신측은 m -copy 전송 모드 [3]로 동작한다. 일반적으로, 복사본의 개수 m 은 유동적이며, 오직 채널의 에러율 조건에만 의존한다. 이는 각 블록에 대한 복사본의 개수가 채널 에러율에 따라 증가한다는 것을 의미한다. m -copy 전송 모드의 전송 효율은 [3]에서 주어진다.

$$\eta_2 = \frac{k(1 - P_e^m)}{(mn + RT)} \quad (2)$$

여기서, m : 데이터 블록의 복사본의 수 ($m = 2, 3, 4, \dots$)

수신측은 수신된 데이터 블록의 각 복사본에 대해 확인 메시지를 보낸다. 만약 송신측이 β 개 ($\beta \geq 2$)의 ACK를 연속적으로 수신한다면, 송신측은 채널의 상태가 H 상태에서 L상태로 변하고 있다고 간주한다. 따라서 변이 확률은 $p_2 = (1 - P_e^m)^\beta$ 이 된다.

그림 1에서 보여지는 파라미터 p_1 과 p_2 를 가지는 채널 상태 모델은 채널의 환경을 정의하지는 않는다. 그 대신 현재의 채널 상태를 측정하기 위해 송신측에서 사용된다. 기본적으로 본 논문에서 고려된 사항 하에서, 채널은 가끔씩 에러 확률이 많은 변화가 있다. 하지만 그것은 독립적인 에러에 기인하는 랜덤 노이즈에 의존하므로, 에러 확률의 변화는 왕복지연

시간과 비교하여 느린 편이다. 따라서 송신측은 수신된 확인 메시지(ACK/NAK)에 근거해 채널 상태를 측정할 수 있다[9]. 간단히 말해, 우리는 먼저 잡음이 없는 즉, 확인 메시지에 에러가 없는 궤환 채널이 있다고 가정한다. 잡음이 있는 궤환 채널의 영향은 뒤에서 다루어 질 것이다.

제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 채널 상태 (L/H)의 변화에 따라 두 동작 모드(basic stop-and-wait 모드와 m -copy 전송 모드)를 교환한다. 동작 모드 교환에 대한 결정은 수신된 확인 메시지에 기초를 두고 이루어진다. 따라서 현재의 채널 에러율에 대한 인식은 필요하지 않게 된다. 동작 모드의 교환은 다음 변이 행렬에 의해 정의된다.

$$T = \begin{bmatrix} 1 - p_1 & p_1 \\ p_2 & 1 - p_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 간단히 그림 2의 순서도로 요약 할 수 있다. 여기에 [2]에서 알려진 basic stop-and-wait 전송 블록과 [3]에서 정의된 m -copy 전송 블록 그리고 채널 상태 측정 블록 등 세 가지 구성요소가 있다. 순서도에서 점선으로 표시된 것은 송신측이 궤환 채널을 통해 확인 메시지를 받는 것을 가리킨다.

제안된 방식의 주요 요소는 인접한 ACK/NAK의 개수를 계산하는데 기초를 둔 간단한 채널 상태 측정기이다[9]. 그밖에 알려져 있는 채널 측정 기술들은 신호의 세기 측정[10]과, 파일럿 톤 전송[11] 등이 있다. 신호의 세기를 측정하는 접근방법에서는 아날로그 신호 길이의 절대 기준이 만들어지며, 그 측정은 광범위한 동적 신호 범위 이상의 정확성을 필요로 한다. 이것은 측정 복잡성을 추가한다[10]. 파일럿

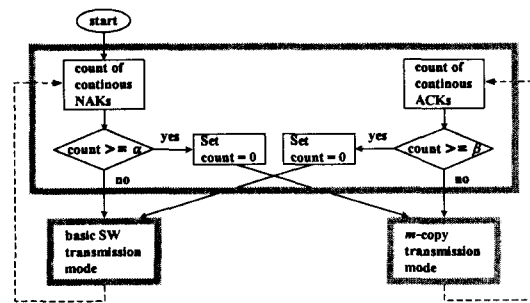


그림 2. 제안된 ARQ 방식, 두 동작 모드간의 교환

톤 전송의 접근방법은 채널 상태와 관련해 확실한 진폭/위상 참조를 제공한다. 또한 상대적으로 복잡한 신호처리를 요구한다[11]. 본 논문에서 제안된 방법은 수신된 신호의 세기나 다른 파라미터의 측정 없이 채널 상태를 측정하는 것이다.

3. 제안된 방식의 전송 효율 분석

3.1 α, β, m 의 최적화

제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 두 ARQ 모드 중 하나에서 동작되고 상호간에 적응적으로 교환된다. 따라서 제안된 방식의 전송 효율은 두 ARQ 동작 모드의 전송 효율에 대한 평균값이 된다.

$$\eta = \eta_1 P_L + \eta_2 P_H \quad (4)$$

여기서 P_L 은 채널이 L 상태에 있을 때의 확률이며 시스템은 basic stop-and-wait 모드로 동작한다. 또한 P_H 는 채널이 H 상태에 있을 때의 확률이며 시스템은 m -copy 전송 모드로 동작한다. 식 (3)을 이용하여 $P_L = p_2 / (p_1 + p_2)$ 이 되고, 이와 유사하게, $P_H = p_1 / (p_1 + p_2)$ 이 된다.

제안된 stop-and-wait ARQ 방식의 블록 에러 확률에 대한 전송 효율은 그림 3에 보여지며, 이 때 $\alpha = \beta = 2$ 이고, $m = 2$ 이다. 또한 그 밖의 비교할 수 있는 ARQ 방식들에 대한 전송 효율 또한 그림 3에서 볼 수 있는데, 그 것은 2-copy 전송($m = 2$ 인 m -copy 전송), basic stop-and-wait, Sastry의 수정 등이다. 그림 3에서 블록 에러 확률이 약 0.41보다 작을 때 제안된 방식은 다른 방식들과 비교해 비교적 높거나 비슷한 성능을 보여준다. 그러나 블록 에러 확률이 약 0.4에서 점점 커 질수록 제안된 방식은 basic 방식에 비해 성능이 향상됨을 볼 수 있지만, Sastry의 수정 또는 2-copy 전송방식보다는 성능이 비슷하거나 떨어짐을 확인할 수 있다.

그림 3에서 2-copy 전송 방식은 에러율이 높은 영역(P_e 가 0.41 이상일 때)에서 제안된 stop-and-wait ARQ 방식보다 성능이 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 그러나 제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 설계가 용이하기 때문에 이런 에러율이 높은 영역에서 2-copy 전송 방식에 접근하도록 할 수 있다. 앞에서 정의되었듯이, 제안된 stop-and-wait ARQ 방식에는 α, β, m 3개의 설계 파라미터가 있으며, α 와

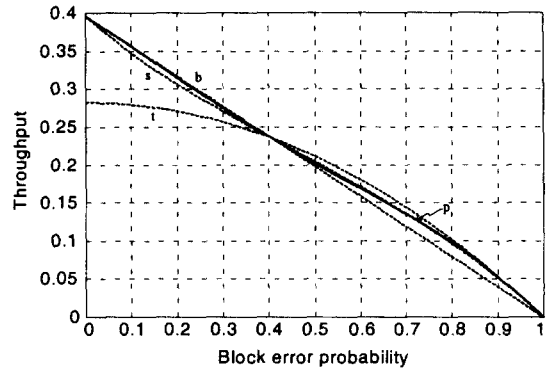


그림 3. 블록 에러 확률에 대한 전송 효율 ($\alpha = \beta = 2, m = 2$; s: Sastry의 수정, t: two-copy 전송, b: basic stop-and-wait, p: proposed 방식)

β 는 채널 상태 측정 모델과 관련이 있다. 만약 α 는 4로 선택되고 β 가 20으로 선택된다면, 즉 채널은 상태 L에서 연속되는 4개의 NAK를 수신하여 상태 H로 변하고, 상태 H에서 연속되는 20개의 ACK를 수신하여 상태 L로 변한다고 한다면(2-copy 전송 모드에 대응하는 상태 H에 더 오래 머무를 확률), 제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 그림 4(실선으로 그려진 부분)와 같은 결과를 낳는다. 따라서 제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 에러율이 낮은 영역에서는 basic stop-and-wait에 접근할 뿐 아니라 에러율이 높은 영역에서는 2-copy 전송 방식에 접근한다. 그림 4와 3을 비교하면 제안된 stop-and-wait ARQ 방식은 넓은 에러율 영역에서 다른 방식들과 비교해 보다 좋은 성능을 보인다는

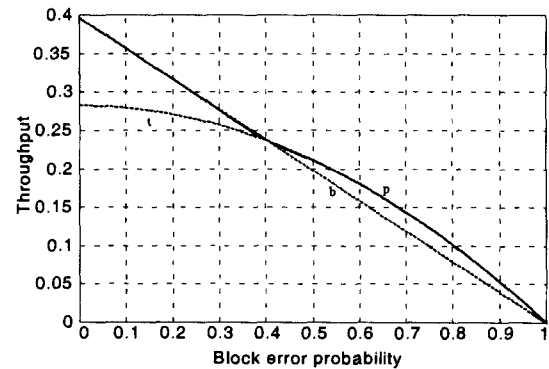
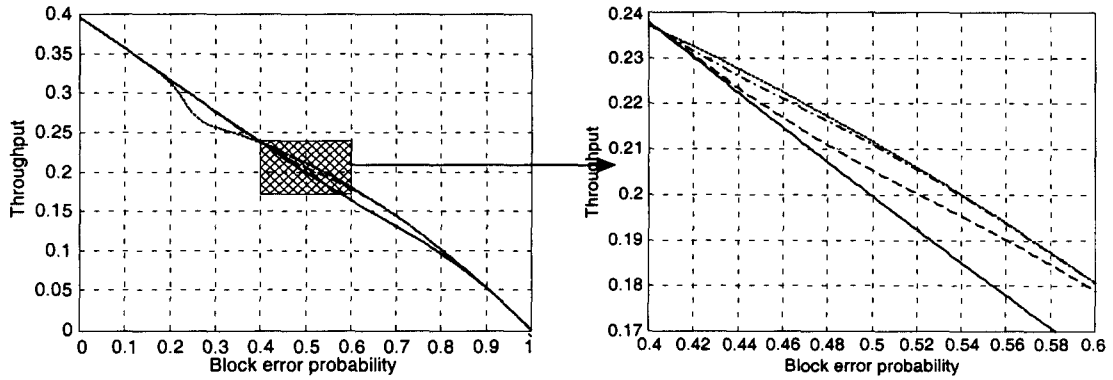


그림 4. 블록 에러 확률에 대한 전송 효율, 수정된 설계 파라미터 ($\alpha = 4, \beta = 20, m = 2$; t: two-copy 전송, b: basic stop-and-wait, p: proposed 방식)

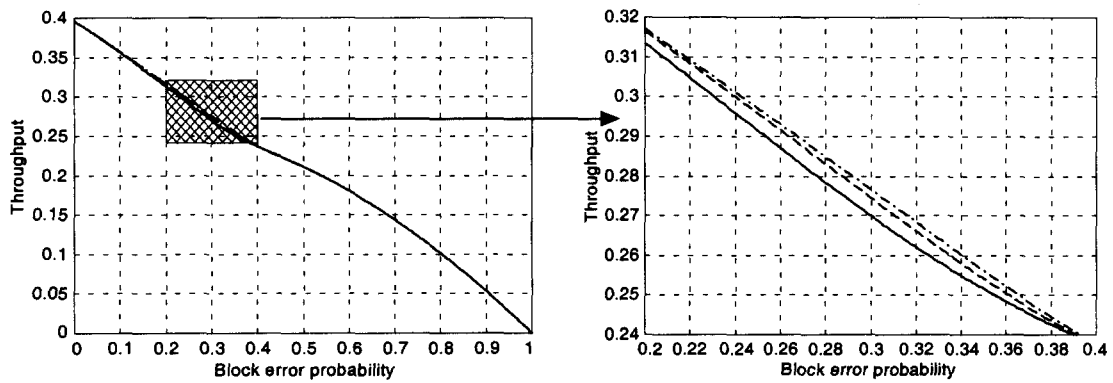
것을 알 수 있다

제안된 방식에 대한 설계 파라미터들의 효과는 그림 5(a)-(c)에 더 자세히 나타난다. 그림 5(a)는 β 가 증가함에 따라($\beta = 2, 10, 20$ 으로 증가할 때) 전송

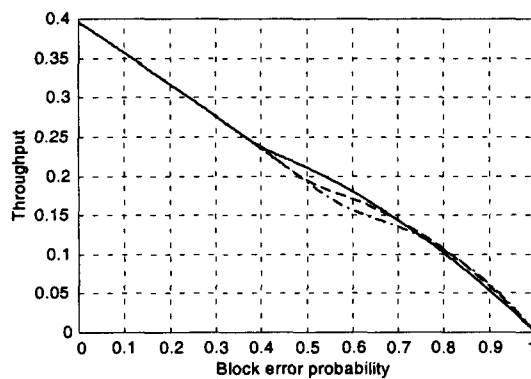
효율도 증가함을 보여준다. 그러나 β 를 지나치게 증가시키면($\beta = 100$ 일 때) 약 0.2와 0.4사이의 에러율에서 전송 효율의 감소를 보인다. 그림 5(b)에 보여 지듯이, 보다 큰 값의 α 는 상태 L에 머무를 확률이



(a) $\alpha = 4, m = 2$; solid: $\beta = 2$, dashed: $\beta = 10$, dash-dot: $\beta = 20$, dotted: $\beta = 100$.



(b) $\beta = 20, m = 2$; solid: $\alpha = 2$, dashed: $\alpha = 3$, dash-dot: $\alpha = 4$.



(c) $\alpha = 4, \beta = 20$; solid: $m = 2$, dashed: $m = 3$, dash-dot: $m = 4$.

그림 5. 블록 에러확률에 대한 전송 효율, 제안된 ARQ 방식에서 설계 파라미터의 영향.

더 커지는 것과 관계가 있으며, ARQ 동작 모드가 교환되는 에러율 범위 내에서의 전송 효율은 보다 낮게 나타난다. 그림 5(c)에서는 m 의 효과를 보여준다. m 이 보다 큰 값을 가지고 에러율이 매우 높은 경우에는 전송 효율이 보다 향상되는 것을 볼 수 있다. 하지만 실제로 더욱 큰 폭의 감소가 다른 에러율 범위(약 0.4~0.72 사이)에서 발생하는 것을 볼 수 있다.

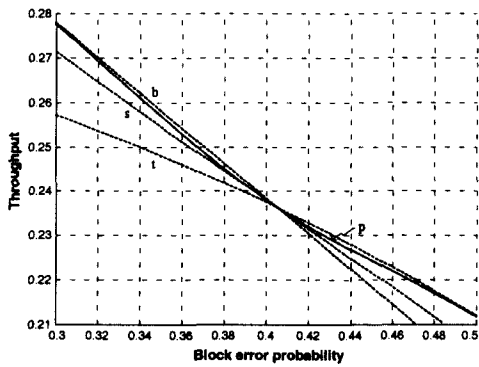
3.2. α 및 β 의 증가에 따른 전송 효율의 변화

제안된 방식의 전송 효율을 높이기 위해 α 및 β 를 사용하였으며, $\alpha = 4$ 이고 $\beta = 20$ 일 경우 제안된 방식은 다른 비교할 수 있는 방식보다 높은 전송 효율을 가질 수 있었다. 하지만 basic Stop-and-Wait ARQ 방식과 2-copy 전송 방식과 비교해 두 방식의 교환이 이루어지는 에러 확률(약 $P_e = 0.41$)의 주위(대략 P_e 가 0.3~0.5 사이)에서 약간의 감소가 있는

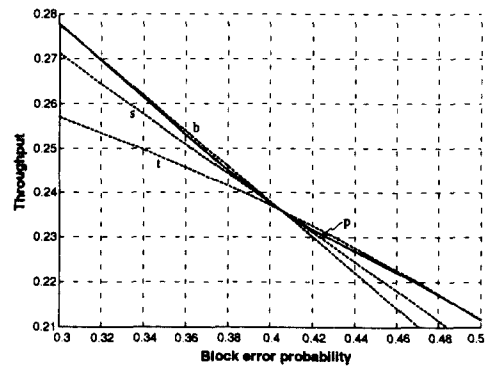
것을 확인할 수 있었다.

이러한 전송 효율의 감소는 α 및 β 를 증가시킴으로써 최소화 할 수 있다. $\alpha = 4$ 일 경우 $\beta = 20$ 으로 선택을 하였다. 여러 차례의 실험을 통하여 α 에 대한 β 의 관계를 비교해 본 결과 1 : 5의 비율을 갖고 있다. 따라서 이러한 비율로 α 및 β 의 값을 결정할 수 있다.

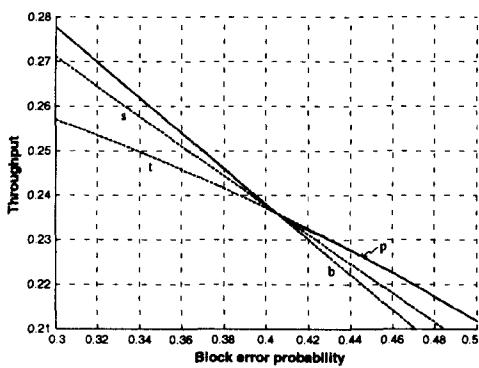
그림 6 (a)-(d)에서는 α 의 값을 최대 100까지 증가시켰을 경우, 그 때의 전송 효율을 그래프로 나타내었으며, α 및 β 의 값이 증가할수록 P_e 가 약 0.41인 경우의 좌우에서 전송 효율이 계속 향상되는 것을 볼 수 있다. 이러한 전송 효율의 향상은 $\alpha = 100$ 이상에서도 마찬가지이다. 그림 6 (d)를 보면, P_e 가 약 0.41 이하일 경우에는 basic Stop-and-Wait ARQ 방식과 제안된 방식의 전송 효율이 일치하며, 이상일 경우에는 2-copy 전송 방식과 제안된 방식의 전송 효율이 일치하는 것을 볼 수 있다.



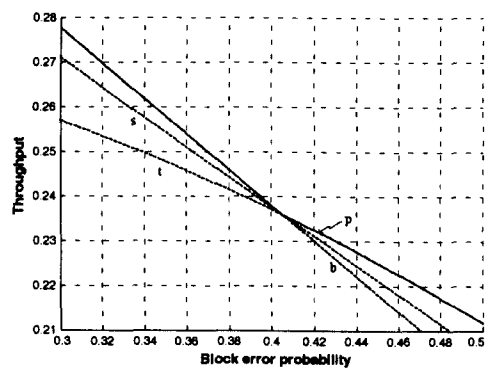
(a) $\alpha = 5, \beta = 25$



(b) $\alpha = 7, \beta = 35$



(c) $\alpha = 20, \beta = 100$



(d) $\alpha = 100, \beta = 500$

그림 6. α 및 β 의 증가에 따른 전송 효율의 향상

4. 잡음이 있는 궤환 채널의 영향

본 절에서는 잡음이 있는 궤환 채널의 영향에 대해 검토한다. 이것은 ACK/NAK가 궤환 채널을 통해 수신되고, 제안된 방식의 동작 모드를 결정짓기 때문에 중요한 사항이다. 우리는 궤환 채널 에러가 오직 구별할 수 없는 ACK 또는 NAK 만을 만든다고 가정한다. 즉, ACK가 NAK로 또는 NAK가 ACK로 바뀔 수는 없으며[10], 확인 메시지에 대한 에러는 항상 검출할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 가정은 검출되지 않는 확인 메시지의 에러 확률은 부호화를 통해 매우 작게 만들 수 있기 때문에 가능하다. P_f 로 확인 메시지의 에러 확률을 표시하고 송신측에서는 잘못된 ACK/NAK 메시지는 무조건 NAK로 처리한다고 가정한다[9].

그림 1에서 보여지는 채널 상태 모델은 여전히 잡음이 있는 궤환 채널의 경우에도 유효하며, 식 (4)와 같은 P_L 과 P_H 로 나타낼 수 있다. 하지만 상태 변이 확률 p_1 과 p_2 는 궤환 채널 에러에 의해 변형된다. 송신측에서 ACK를 수신한 경우는 단지 데이터 블록과 궤환(확인메시지) 전송이 모두 성공한 경우뿐이다. 그 이외의 경우에는 NAK를 수신하거나, 또는 구별할 수 없는 ACK/NAK를 수신한다. 그러므로 $p_2 = [(1-P_e^m)(1-P_f)]^\beta$ 이고, $p_1 = [1-(1-P_e)(1-P_f)]^\alpha$ 이다. [6]와 [7]에서의 유도에 따라, 전송 효율은

$$\eta_{feedback 1} = \frac{k(1-P_e)(1-P_f)}{(m+RT)} \quad (5)$$

와

$$\eta_{feedback 2} = \frac{k(1-P_e^m)(1-P_f)}{(mn+RT)} \quad (6)$$

으로 각각 잡음이 있는 궤환 채널에서 basic stop-and-wait ARQ 방식과 m -copy 전송 방식에 대해서 구할 수 있다.

식 (4), (5), (6)을 이용해 잡음이 있는 궤환 채널에 대해서 제안된 ARQ 방식의 전송 효율을 측정할 수 있다. 그림 7에서 ACK/NAK의 에러 확률이 증가함에 따라 전송 효율이 감소하는 것을 볼 수 있지만, ACK/NAK 에러율이 매우 클 경우(예를 들어, 그림에서 $P_f = 0.1$ 인 경우)에만 전송 효율의 감소가 의미를 갖는다. 데이터 채널의 블록 에러 확률과 비교하여, 확인 메시지는 데이터 블록(forward 채널)에 비

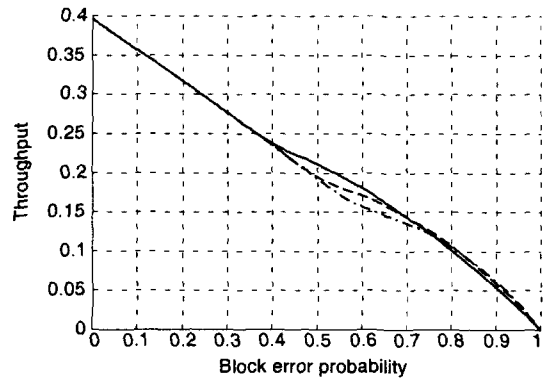


그림 7. 블록 에러 확률에 대한 전송 효율, 제안된 ARQ 방식에서 잡음이 있는 궤환 채널의 영향 ($\alpha = 4, \beta = 20, m = 2$)

해 매우 작기 때문에 ACK/NAK 에러율은 상당히 작아진다는 것에 주목하라.

5. 결 론

ARQ 방식을 최적화하기 위해서는 블록 에러 확률에 대한 지식이 필요하다. 본 논문에서는 가변 에러율 채널에서 효과적인 Stop-and-Wait ARQ 방식을 제안하였다. 제안된 Stop-and-Wait ARQ 방식은 송신측에서 확인 신호를 수신하면 수신한 확인 신호의 개수를 계산하는 것에 기초를 두고 있다. 송신측이 4개 이상의 NAK를 연속적으로 수신하면 채널은 L 상태에서 H 상태로 변하고 있음을 알 수 있으며, 반대로 20개 이상의 ACK를 연속적으로 수신하면 채널은 H 상태에서 L 상태로 변하고 있다고 간주할 수 있다. 이러한 방법으로 간단하게 채널의 상태를 판단할 수 있다.

또한 송신측에서는 이러한 채널 상태의 판단에 따라 각각의 상태에 적합한 ARQ 동작 모드를 적용시킨다. 채널이 L 상태에 머무를 경우에는 basic stop-and-wait ARQ 방식이 적용되고, H 상태에서는 2-copy 전송 방식을 적용한다. 이러한 두 ARQ 동작 모드간의 교환은 적응적으로 이루어진다. 따라서 제안된 Stop-and-Wait ARQ 방식은 에러율의 변화 범위가 광범위한 채널 조건에서 다른 Stop-and-Wait ARQ 방식들과 비교하여 더 높은 전송 효율을 제공하며, 에러율의 변화가 많은 가변 에러율 채널에 가장 적합하다.

따라서, 본 논문에서 제안된 방식은 basic Stop-and-Wait ARQ 방식과 2-copy 전송 방식 그리고 Sastry의 수정된 Stop-and-Wait ARQ 방식과 비교해 광범위한 에러 확률 범위에서 전체적인 전송 효율의 향상을 볼 수 있었다. 또한 채널의 상태를 두 가지로 나누어 그에 적합한 ARQ 동작 모드를 적응적으로 교환시키는 방법을 이용해 에러율이 광범위하게 변하는 가변 에러율 채널(고정되지 않은 채널)에 효과적인 Stop-and-Wait ARQ 방식을 구현하였다.

참 고 문 헌

[1] F. Argenti, G. Benelli, A. Garzelli, "Generalized stop-and-wait protocol," *Electronics letters*, vol. 28, pp. 861-863, Apr. 1986.

[2] A. R. K. Sastry, "Improving automatic repeat-request (ARQ) performance on satellite channels under high error rate conditions," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-23, pp. 436-439, Apr. 1975.

[3] D. Y. Jung, "On another stop-and-wait ARQ technique for high error rate conditions," *J. of Ind. Sci. and Tech. Institute, Chungbuk National Univ.*, vol. 1, No. 2, pp. 93-97, Oct. 1987.

[4] N. D. Birrell, "Pre-emptive retransmission for communication over noisy channels," *IEE Proc., Part F*, vol. 128, pp. 393-400, 1981.

[5] S. Lin, D. J. Costello, Jr., and M. J. Miller, "Automatic-repeat-request error-control schemes," *IEEE Comm. Msg.*, vol. 22, pp. 5-17, 1984.

[6] H. Bruneel and M. Moeneclaey, "On the throughput performance of some continuous ARQ strategies with repeated transmissions," *IEEE Trans. Comm.*, vol.COM-34, pp. 244-249, 1986.

[7] Z. Haas, "A protocol structure for high-speed

communication over broadband ISDN," *IEEE Network Mag.*, pp. 64-70, 1991.

[8] S. Kallel and C. Leung, "An adaptive incremental redundancy selective-repeat ARQ scheme for finite buffer receivers," in *Proc. IEEE INFOCOM*, 1991, pp. 791-796.

[9] Y. D. Yao, "An effective go-back-N ARQ scheme for variable-error-rate channels," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 43, pp. 20-23, Jan. 1995.

[10] L. F. Chang and J.C.I Chung, "Outage probability for a frequency-selective fading digital portable radio channel with selection diversity using coding," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comm.*, 1990, pp. 64-70, 1991.

[11] H. W. H. Li and J. K. Cavers, "An adaptive filtering technique for pilot-aided transmission systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, pp. 532-545, 1991.

[12] D. L. Lu and J. F. Chang, "Analysis of ARQ protocols via signal flow graphs," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 37, pp. 245-251, 1989.



김 윤 호

2000년 충북대학교 정보통신공학과(학사)
2002년 충북대학교 정보통신공학과(석사)



정 두 영

1973년 서강대학교 학사
1979년 ENSERG(불란서) 석사
2000년 서강대학교 박사
1987년~현재 충북대학교 교수 재직