

단일 중계기 채널에서의 협력 재전송 프로토콜

변일무 | 김광순
연세대학교

요약

기존의 고정 중계를 하는 협력 통신 프로토콜은 중계기가 언제나 신호를 보내기 때문에 전송률이 높은 경우에는 비효율적이다 [1]. 그러므로 수신단이 요구하는 경우에만 중계기가 신호를 송신하는 협력 재전송 프로토콜이 제안 되었다. 본고에서는 다양한 협력 재전송 프로토콜을 소개하고 송신단이 각 링크의 평균 신호대 잡음비만 아는 경우의 프로토콜들의 달성 가능 전송률을 비교한다. 또한, 전송 횟수에 제한이 없는 경우에 각 협력 재전송 프로토콜의 에르고딕 전송용량 달성 여부를 알아본다.

1. 서론

무선 통신에서는 페이딩에 의한 성능 열화를 극복하기 위해 다양한 다이버시티(diversity) 기법이 연구 되어 왔다. 이 중 최근 각광 받고 있는 기법은 단말간의 협력을 통해서 공간 다이버시티(spatial diversity)를 얻는 협력 통신 기법이다. 다중 안테나 기법에서는 한 단말이 여러 개의 안테나를 갖고 이를 이용해 공간 다이버시티를 얻는데 반해, 협력 통신에서는 여러 개의 단말이 정보를 주고 받고 이를 바탕으로 가상의 다중 안테나 배열을 형성하여 공간 다이버시티를 얻는다. 그러므로 협력통신은 다중 안테나 기법에 비해 단말끼리 정보를 주고받기 위한 추가적인 자원이 필요하지만, 송신단의 신호를 중계해주는 단말에 의해 경로 감쇠

(attenuation)를 줄일 수 있고, 다중 안테나 기법을 사용할 수 없는 작은 크기의 단말에도 적용가능한 장점이 있다.

현재 널리 연구되고 있는 협력통신 프로토콜은 증폭 후 전달(amplify-and-forward) 프로토콜과 복호 후 전달(decode-and-forward) 프로토콜이 있다 [1]. 증폭 후 전달 프로토콜은 중계기가 송신단의 신호를 증폭한 후 이를 수신단에 전달하는 방식이고, 복호 후 전달 프로토콜은 중계기가 송신단의 신호를 복호한 후 이를 다시 부호화(encoding)하여 수신단에 전달하는 방식이다. 일반적으로 중계기의 위치가 송신단에 가까운 경우에는 복호 후 전달 프로토콜의 전송률이 좋고, 수신단에 가까운 경우에는 증폭 후 전달 프로토콜의 전송률이 좋다 [1]. 하지만 이와 같은 고정 중계(fixed relaying) 프로토콜에서는 송신단과 중계기가 정보를 주고 받기 위한 추가적인 자원이 항상 필요하므로 높은 전송률(rate)을 요구하는 상황에는 성능이 열화될 수 있다. 예를 들어, 중계기의 위치, 요구 전송률에 따라서 중계기를 사용하지 않는 직접 연결(direct link)보다 성능이 나쁜 경우가 발생한다.

협력통신 프로토콜의 전송률을 높이고 직접연결과 같거나 보다 우수한 성능을 보장하기 위해 협력 통신 프로토콜과 재전송 프로토콜을 합친 협력 재전송 프로토콜이 제안되었다 [1][3]. 이 중 하나인 증분 중계(incremental relaying) 프로토콜은 수신단이 신호를 복호하지 못한 경우에는 중계기가 신호를 전달하는 프로토콜로, 앞선 고정 중계 프로토콜에 비해 주파수 효율이 높다 [1]. 또한 [2]에서는 길쌈 부호(convolutional code)를 사용하는 경우에 중계기를 사용하는

협력 재전송 프로토콜이 직접연결의 재전송 프로토콜보다 성능이 좋음을 보였다. 이후 재전송 프로토콜과 동적 복호 후 전달(dynamic decode-and-forward, DDF)을 결합한 automatic repeat and request(ARQ)-DDF 프로토콜이 제안되었다 [3]. ARQ-DDF 프로토콜은 최대 전송회수가 2이상이고 중계기가 하나인 단일 중계기 채널에서 최적의 다이버시티-다중화 트레이드오프(diversity-multiplexing tradeoff)를 만족한다 [3].

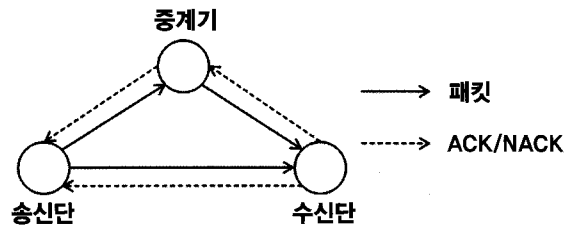
협력 재전송 프로토콜의 성능을 비교하기 위해 주로 사용하는 성능 척도(performance measure)는 다이버시티-다중화 트레이드오프, 불능확률(outage probability), 처리량(throughput), 달성 가능 전송률(achievable rate)이 있다. 이중 다이버시티-다중화 트레이드오프는 시스템의 점근적인 성능을 보일 수 있으나, 중계기의 위치와 전송률에 따른 성능 변화를 알 수 없는 단점이 있다. 불능확률과 처리량은 전송률이 주어진 경우의 성능을 비교할 수 있는 척도이므로, 특정 시스템에서 프로토콜의 최대 성능을 비교할 수 없다. 그러므로 본고에서는 다양한 협력 재전송 프로토콜을 달성 가능 전송률의 관점에서 비교한다.

본고에서 고려하는 협력 재전송 프로토콜은 단일 중계기 채널(single relay channel)에서의 복호 후 전달 기반 협력 재전송 프로토콜들과 증폭 후 전달 기반 협력 재전송 프로토콜들이다. 재전송을 요청하기 위해 사용되는 반환정보(ACK/NACK)의 오류는 없다고 가정한다. (그림 1)과 같이 수신단의 ACK/NACK는 송신단과 중계기로 전달되며, 중계기의 ACK/NACK는 송신단으로 전달된다. 송신단에서는 ACK/NACK이외에 각 링크의 평균 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR) 값을 알고 있으며, 이를 바탕으로 최적의 초기 전송률 r (b/s)을 정한다. 채널은 매 전송시마다 독립적으로 변하는 블록페이딩(block fading) 채널을 가정한다.

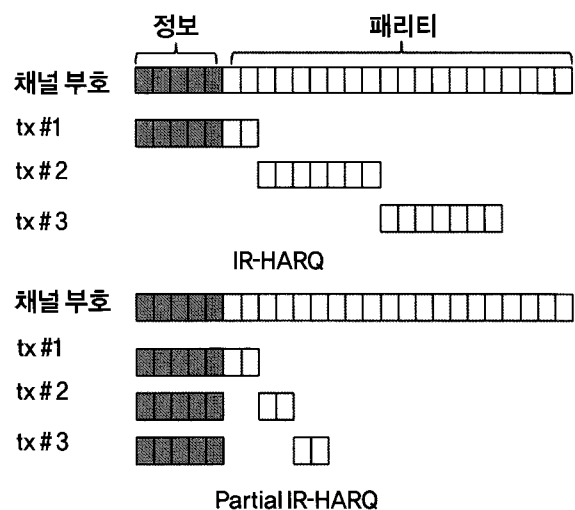
본고의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 중계기가 없는 직접연결(direct link) 상황에서의 재전송 프로토콜의 달성 가능 전송률에 대하여 논의한다. 이어 3장에서는 협력 재전송 프로토콜의 달성 가능 전송률에 관하여 논의한다.

II. HARQ 프로토콜의 달성가능전송률

협력 통신 프로토콜과 결합이 가능한 재전송 프로토콜은 물리계층과의 결합 없이 동작하는 ARQ 프로토콜과 물리계층과 연계하여 동작하는 hybrid-ARQ(HARQ) 프로토콜이 있다. ARQ 프로토콜은 수신단이 복호에 실패하면 송신단이 동일한 전송률을 갖는 패킷(packet)을 재전송하는 간단한 형태의 프로토콜이다. 만약 수신단이 복호에 성공하면 1비트의 ACK 신호를 송신단에 보내고, 이를 수신한 송신단은 다음 패킷을 송신한다. 이와는 다르게, 수신단이 복호에 실패하면 NACK 신호를 송신단에 보내고, 그럼 송신단은 동일한 패킷을 다시 송신한다. 만약 전송 횟수가 한 패킷을 보내기 위해 허용된 최대 전송 횟수인 D 보다 크면 재전송을 하지 않고 다음 패킷을 송신한다.



(그림 1) 단일 중계 채널 모형



(그림 2) IR-HARQ와 Partial IR-HARQ 프로토콜

HARQ 프로토콜은 물리계층의 오류정정부호와 결합된 재전송 프로토콜이다. 일반적으로 HARQ는 ARQ보다 복잡도가 높은 반면 성능이 좋은 특징을 갖는다. 직접연결에서의 HARQ 프로토콜은 크게 다음과 같이 세가지로 나누어 진다.

- 타입 1 (간단 HARQ와 CC-HARQ) : 수신단이 이전에 받은 패킷을 복호에 사용하지 않고 현재 수신한 패킷만을 이용하는 간단 HARQ와 이전에 수신한 패킷들과 현재 수신한 패킷을 최대를 결합(maximum ratio combining, MRC)을 사용해 결합하는 체이스결합 HARQ(Chase-combining HARQ, CC-HARQ)가 있다. 간단 HARQ 에서는 재전송시 부호율(code rate)을 변화 시킬 수 있지만, CC-HARQ에서는 앞선 패킷과의 최대를 결합을 사용하기 위해 동일한 패킷을 반복해서 보낸다.

- 타입 2 (IR-HARQ) : incremental redundancy HARQ(IR-HARQ)는 (그림 2)와 같이 재전송시 정보비트(information bit)는 보내지 않고 채널 부호의 추가적인 패리티 비트(parity bit)만을 보내는 프로토콜이다. IR-HARQ에서는 재전송 마다 추가적인 패리티 비트를 보내므로, 재전송 신호만을 이용해서 복호할 수는 없다. 또한, 이제까지의 수신된 패리티 비트를 모두 복호에 사용한다.

- 타입 3 (Partial IR HARQ, PR-HARQ) : (그림 2)에서와 같이 매 전송시 정보비트는 동일한 것을 반복해서 보내고, 패리티 비트는 추가적인 것을 보낸다. 그러므로 정보 비트는 CC-HARQ 기법처럼 최대를 결합을 사용하고 패리티 비트는 IR-HARQ 처럼 부호율을 낮추는 역할을 한다. 또한, 이제까지 수신된 패리티 비트를 모두 복호에 사용한다.

위 세가지 타입의 프로토콜 중 타입 1은 제일 간단하지만 성능이 가장 나쁘다. 타입 2는 평균적인 성능은 가장 좋으나, 정보 비트를 포함하고 있는 첫번째 패킷이 크게 손상을 입은 경우에는 이후에 재전송을 해도 신호를 복호하기 힘든 단점이 있다. 타입 3의 평균적인 성능은 타입 1 보다는 좋고 타입 2 보다는 나쁘다. 그러나 매 전송시 정보 비트를 보내므로 타입 2의 단점을 극복할 수 있다 [4].

HARQ 프로토콜에서의 처리량은 수신단에서 복호에 성공한 전송률의 평균과 패킷당 전송 횟수의 평균의 비로 구할 수 있다 [5]. 사용하는 프로토콜이 $\varphi \in \{CC, IR, PR\}$ 이고 송신단에서 초기 전송률이 r 인 패킷을 보내는 경우, 수신단이 복호하기 위해 필요한 전송 횟수는 확률 변수 $T^\varphi(r)$ 로 주어진다. 한 패킷의 최대 전송 횟수는 D 이므로, 수신단이 한 패킷을 수신한 횟수는 $\min(T^\varphi(r), D)$ 이 되고, 패킷이 복호되지 않을 확률은 $p^\varphi(r, D) = Pr\{T^\varphi(r) > D\}$ 이 된다. 그러므로, 프로토콜 φ 의 처리량 η^φ 는 다음과 같이 주어진다 [5].

$$\begin{aligned} \eta^\varphi(r, D) &= \frac{r(1 - p^\varphi(r, D))}{E[\min(T^\varphi(r), D)]} (b/s) \\ &= \frac{r(1 - p^\varphi(r, D))}{1 + \sum_{m=1}^{D-1} p^\varphi(r, m)} (b/s) \end{aligned} \quad (1)$$

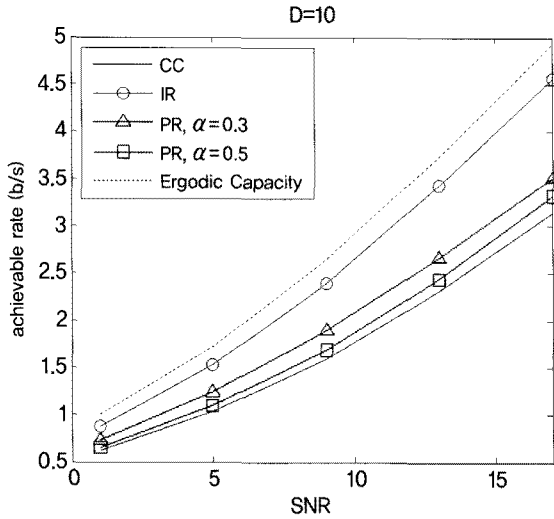
위 식에서 $p^\varphi(r, m)$ 은 패킷이 m 번 전송된 경우의 불능확률이고 $E[\min(T^\varphi(r), D)]$ 은 한 패킷을 보내는데 필요한 평균 전송 횟수이다. 여기서 $p^\varphi(r, m)$ 은 채널 부호 및 채널의 통계적 특성 등에 의해서 변화한다. 송신단과 수신단 사이의 채널 이득(channel gain)이 $h \sim Exp(1)$ 이고, 채널 부호는 논문 [5]에서와 같은 이상적인 가우시안 랜덤 부호(Gaussian random coding)를 가정한다. 송신단과 중계기가 동일한 전력 P 로 패킷을 송신하며, $N_0/2$ 는 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise, AWGN)의 전력스펙트럼 밀도이면, $p^{CC}(r, m)$ 은 표준 정규 분포의 제곱의 합으로 이루어진 카이제곱(Chi-square) 확률변수의 누적 분포 함수(cumulative distribution function) F 를 사용하여 다음과 같이 주어진다 [13].

$$p^{CC}(r, m) = F\left(\frac{2^{r+1} - 1}{P/N_0}; 2m\right) \quad (2)$$

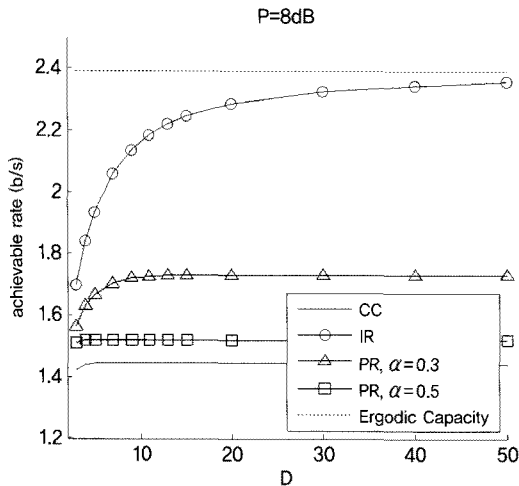
또한, $p^{IR}(r, m)$ 과 $p^{PR}(r, m)$ 은 정규분포 근사화에 의해서 각각

$$p^{IR}(r, m) = 1 - Q\left(\frac{r - m\mu_1}{\sqrt{m\sigma_1^2}}\right), \quad (3)$$

$$p^{PR}(r, m) = 1 - Q\left(\frac{r - m(1 - \alpha)\mu_1 - \alpha\mu_m}{\sqrt{m(1 - \alpha)^2\sigma_1^2 + \alpha^2\sigma_m^2}}\right) \quad (4)$$



(그림 3) 타입 1~3 HARQ 프로토콜의 달성 가능 전송률 비교



(그림 4) IR-HARQ 프로토콜과 에르고딕 전송용량의 최대 전송 횟수에 따른 비교

식(1)로부터 수신단은 채널을 완벽히 알고 송신단은 평균 SNR을 아는 경우의 달성 가능 전송률 $A^*(D)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$A^*(D) = \max_{0 < r} \eta^\phi(r, D) \text{ (b/s)} \quad (7)$$

또한, 블록 페이딩 채널에서 송신단과 수신단 사이의 에르고딕 전송용량은

$$C = E \left[\log_2 \left(1 + \frac{hP}{N_0} \right) \right] \quad (8)$$

이다. 논문 [7]에서는 최대 전송 횟수의 제한이 없는 경우에는 IR-HARQ 프로토콜의 달성가능 전송률이 에르고딕 전송용량과 같음을 보였다($\lim_{D \rightarrow \infty} A^*(D) = C$). 이는 직관적으로 다음과 같이 이해 될 수 있다. 최대 전송 횟수가 무한한 경우에는 수신단이 복호에 성공할 때까지 패킷을 계속해서 보낼 수 있다. 그러므로 매우 높은 전송률을 갖는 패킷을 무수히 많이 반복 전송하는 경우에는 한 패킷이 무수히 많은 채널 다이버시티를 갖게 된다. 그러므로 이 경우의 달성가능 전송률은 에르고딕 전송용량에 수렴하게 된다.

(그림 3)과 (그림 4)는 이상적인 가우시안 랜덤 부호를 사용할 때 블록 페이딩채널에서 HARQ 프로토콜의 달성 가능 전송률을 나타낸 그림이다. 이 그림들에서 최적 전송률 (optimum rate)은 계단식으로 낮은 값에서 높은 값으로 이동하며 찾았다. (그림 3)은 IR-HARQ가 가장 좋은 성능을 가지며, 그 다음은 α 가 작은 PR-HARQ 프로토콜이 좋은 성능을 가지며, 마지막으로 CC-HARQ 프로토콜이 가장 나쁜 성능을 가지는 것을 보여준다. (그림 4)는 직접연결에서 HARQ 들과 프로토콜과 에르고딕 전송용량을 최대 전송횟수에 따라 비교한 그림이다. 이 그림을 통해 전송횟수가 증가함에 따라 HARQ 프로토콜의 달성 가능 전송률이 증가함을 알 수 있다. 그러나 CC-HARQ와 PR-HARQ의 달성 가능 전송률은 에르고딕 전송용량에 도달하기 전에 포화되는 것을 확인할 수 있다. 이와는 달리, 최대 전송 횟수가 증가하면 IR-HARQ의 달성 가능 전송률이 에르고딕 전송용량에 수렴하는 것을 볼 수 있다.

과 같이 주어진다 [14]. 여기서, μ_m 과 σ_m^2 은 각각

$$\mu_m = E \left[\log_2 \left(1 + \sum_{t=1}^m h(t) \frac{P}{N_0} \right) \right], \quad (5)$$

$$\sigma_m^2 = E \left[\left(\log_2 \left(1 + \sum_{t=1}^m h(t) \frac{P}{N_0} \right) \right)^2 \right] - \mu_m^2 \quad (6)$$

이다.

본 단원에서는 직접연결에서 사용되는 다양한 재전송 프로토콜들을 소개하고, 달성가능 전송률을 성능척도로 사용하여 프로토콜들을 비교해 보았다. HARQ 프로토콜 중에서는 IR-HARQ가 가장 성능이 좋았으며, IR-HARQ 프로토콜의 달성가능 전송률은 최대 전송 횟수가 유한인 경우에는 에르고딕 전송용량보다 적었지만, 최대 전송 횟수가 제한이 되지 않은 경우에는 에르고딕 전송용량에 수렴한다. 그러므로 다음 단원에서는 가장 성능이 좋은 IR-HARQ를 기반으로한 협력 재전송 프로토콜에 대하여 알아본다.

III. 협력 HARQ 프로토콜의 달성 가능 전송률

본 단원에서는 현재 널리 사용되고 있는 협력 통신 프로토콜인 복호 후 전달 프로토콜과 증폭 후 전달 프로토콜을 기반으로 한 복호 후 전달 기반 IR-HARQ(DF-HARQ) 프로토콜과 증폭 후 전달 기반 IR-HARQ(AF-HARQ) 프로토콜의 달성 가능 전송률에 관하여 논의하고자 한다. 각 프로토콜들은 중계기가 송신하는 경우에는 송신단이 송신하지 않는 타입 1과 중계기와 송신단이 동시에 송신하는 타입 2로 다시 나눌 수 있다. 타입 1 DF-HARQ인 DF1에는 [8]에서 제안된 선택 중계와 증분중계, 논문 [9]의 프로토콜 1이 포함된다. 타입 2 DF-HARQ인 DF2에는 논문 [10]의 단일 중계 프로토콜과 논문 [3]의 DDF 프로토콜이 포함된다. 타입 1 AF-HARQ 프로토콜인 AF1에는 논문 [1]의 선택 중계와 증분 중계 그리고 [8]의 프로토콜 3이 포함된다. 타입 2 AF-HARQ인 AF2에는 논문 [8]의 프로토콜 3과 논문 [11]의 Non-orthogonal amplify-and-forward(NAF) 프로토콜이 포함된다.

협력 HARQ 프로토콜의 신호 송신 과정은 송신단이 중계기의 도움 없이 패킷을 송신하는 1단계와 중계기가 패킷을 전달하는 2단계로 나누어 진다. 각 단계별로 패킷 당 최대 전송 횟수는 D 이다. DF-HARQ 프로토콜에서의 2단계는 수신단이 복호에 실패하고 중계기가 복호에 성공하면 시작된다. 각 단계별 동작은 다음과 같다.

- DF1 : 1단계에서 송신단이 중계기와 수신단에 패킷을

보낸다. 2단계에서는 송신단은 송신을 멈추고 중계기가 복호한 패킷의 재전송을 수행한다.

- DF2 : 1단계에서 송신단이 중계기와 수신단에 패킷을 보낸다. 2 단계에서는 송신단과 중계기가 가상 배열을 형성해서 시공간 부호를 사용하여 패킷을 송신한다.

AF-HARQ 프로토콜에서는 중계기가 송신단의 신호를 복호하지 않기 때문에 수신단이 복호에 성공할 때까지 1단계와 2단계가 반복적으로 수행된다. 각 단계에서의 구체적인 동작은 다음과 같다.

- AF1 : 1단계에서 송신단이 중계기와 수신단에 패킷을 보낸다. 2단계에서는 송신단은 송신을 멈추고 중계기가 증폭한 패킷의 송신을 시작한다.
- AF2 : 1 단계에서 송신단이 중계기와 수신단에 패킷을 보낸다. 2 단계에서는 송신단과 수신단이 증폭한 패킷으로 시공간 부호를 이루어 신호를 송신한다.

DF-HARQ 프로토콜의 처리량은 논문 [6]의 식 (6)과 (7)에 주어져 있고, AF-HARQ프로토콜의 처리량은 논문 [6]의 (14)와 (15)에 주어져 있다. 중계기는 송신단과 중계기 사이의 순시 채널을 알고, 수신단은 송신단과 수신단사이의 순시 채널과 중계기와 수신단 사이의 순시 채널을 알며, 송신단은 각 링크의 평균 SNR만 아는 경우의 달성 가능 전송률은 각 프로토콜의 처리량을 식 (7)에 대입하면 알 수 있다. 송신단과 수신단 링크의 순시 채널 이득이 h_{SD} 이고, 송신단과 중계기 링크의 순시 채널 이득이 h_{SR} 이며, 중계기와 수신단 링크의 순시 채널 이득이 h_{RD} 이면, 각 링크의 에르고딕전송용량은 각각

$$C_{SD} = E \left[\log_2 \left(1 + \frac{h_{SD}P}{N_0} \right) \right], \quad (9)$$

$$C_{SR} = E \left[\log_2 \left(1 + \frac{h_{SR}P}{N_0} \right) \right], \quad (10)$$

$$C_{RD} = E \left[\log_2 \left(1 + \frac{h_{RD}P}{N_0} \right) \right] \quad (11)$$

과 같이 주어진다. 또한, DF2의 2단계에서 송신단과 중계기가 시공간 부호로 동시에 송신하는 경우의 에르고딕 전송용량은

$$C_{SRD} = E \left[\log_2 \left(1 + \frac{(h_{SD} + h_{RD})P}{N_0} \right) \right] \quad (12)$$

가 된다. 이로부터, D 의 제한이 없는 경우의 DF1 프로토콜의 달성 가능 전송용량은

$$\lim_{D \rightarrow \infty} A^{DF1}(D) = \frac{C_{SR}C_{RD}}{C_{SR} + C_{RD} - C_{SD}} \quad (13)$$

과 같이 주어진다 [12]. 논문 [12]와 동일한 방법을 사용하면 DF2 프로토콜의 달성 가능 전송용량은 다음과 같이 주어진다.

$$\lim_{D \rightarrow \infty} A^{DF2}(D) = \frac{C_{SR}C_{SRD}}{C_{SR} + C_{SRD} - C_{SD}} \quad (14)$$

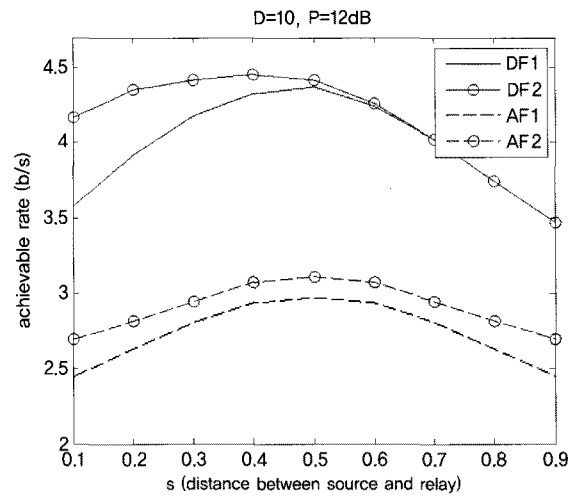
단일 중계 채널에서, 송신단이 각 링크의 평균 채널 정보만 알고 각 단계에서의 전력이 P 로 제한된 경우의 에르고딕 전송용량은

$$C^{type1} = \max_t \min(tC_{SR}, tC_{SD} + (1-t)C_{RD}) \quad (15)$$

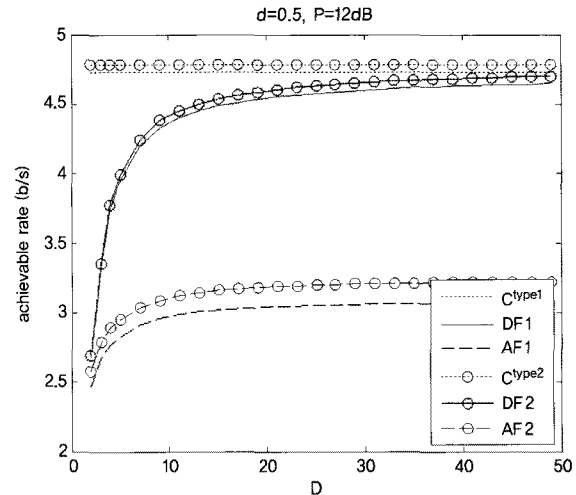
이다. 여기서 t 는 단위 시간당 1단계의 송신시간이다. 또한, 각 단말에서의 전력이 P 로 제한된 경우의 에르고딕 전송용량은

$$C^{type2} = \max_t \min(tC_{SR}, tC_{SD} + (1-t)C_{SRD}) \quad (16)$$

이다. 약간의 수학적 계산 후에 단계별 최대 전송 횟수 D 의 제한이 없다면 DF1 프로토콜은 C^{type1} 을 얻을 수 있고($\lim_{D \rightarrow \infty} A^{DF1}(D) = C^{type1}$), DF2 프로토콜은 C^{type2} 을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다($\lim_{D \rightarrow \infty} A^{DF2}(D) = C^{type2}$). 이는 직관적으로 다음과 같이 설명될 수 있다. 논문 [7]에서의 결과와 같이 최대 전송 횟수에 제한이 없는 경우에 각 단말간 링크는 에르고딕 전송용량을 얻을 수 있다. 또한 DF-HARQ 프로토콜에서는 중계기가 복호에 성공해야만 다음 단계로 넘어가므로, 각 단계별 재전송에 의해 단계에 따른 시간 배분이 저절로 이루어진다. 하지만 매 전송은 패킷 단위로 이루어지므로, 재전송 횟수가 적은 경우에는 재전송에 의한 시간 배분이 최적 시간배분과 오차가 발생하나, 전송 횟수가 무한히 많은 경우에는 시간배분과의 오차가 감소하기 때문이다.



(그림 5) 송수신단 사이의 거리 s 에 따른 달성 가능 전송률의 변화



(그림 6) 최대전송횟수에 따른 달성 가능 전송률의 변화

(그림 5)는 중계기가 송신단과 수신단의 일직선상에 있는 선형 중계 모형에서의 달성 가능 전송률을 송신단과 중계기 사이의 거리 s 에 따라 나타낸 값이다. 송신단과 수신단의 거리는 1로 설정하였고, 송신단과 중계기의 거리인 s 는 0부터 1사이의 값을 갖는다. 경로 감쇠는 거리의 지수 배로 감소하는 형태로 가정하였고, 경로 감쇠 지수(path-loss exponent)는 4로 두었다. 채널 부호는 이상적인 가우시안 랜덤 부호를 사용한다. (그림 5)는 DF-HARQ 프로토콜이 AF-HARQ 프로

토콜보다 성능이 좋다는 것을 보여준다. 하지만 AF-HARQ 프로토콜은 DF-HARQ 보다 간단한 중계기를 사용하므로 실제 시스템 구현시 비용이 적게 드는 장점을 갖는다. 또한, (그림 5)는 타입 2 프로토콜이 타입 1 프로토콜보다 성능이 좋음을 보인다. 그 이유는 타입 2 프로토콜에서는 시공간 부호를 사용해 송신단과 중계기가 동시에 패킷을 송신하기 때문에, 다이버시티 이득 및 송신단의 추가적인 송신으로 인한 전력이득을 얻기 때문이다. 하지만, 타입 1은 송신단이 2 단계에서 다른 수신단 또는 중계기에 패킷을 송신할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 송신단이 하나 이상의 수신단에 서로 다른 패킷을 보내는 경우에는 타입1이 더 우수한 성능을 가질 수 있다 [6]. (그림 6)에서는 DF-HARQ 프로토콜과 각 타입별 에르고딕 전송용량을 최대 전송횟수에 따라 비교하였다. (그림 6)을 통해 최대 전송횟수가 증가함에 따라 타입별 DF-HARQ 프로토콜의 달성 가능 전송률과 에르고딕 전송용량의 차이가 감소하는 것을 알 수 있다. 이로부터 DF-HARQ 프로토콜을 사용하면 에르고딕 캐패시티를 얻을 수 있다는 앞선 결과를 추정할 수 있다. 하지만 AF-HARQ 프로토콜의 경우 각 타입별 에르고딕 전송용량을 얻지 못하는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

본고에서는 직접연결에서의 HARQ 프로토콜을 비교하고, IR-HARQ 프로토콜이 가장 좋은 달성 가능 전송률을 갖는 것을 보였다. 또한, 단일 중계 채널에서 IR-HARQ 프로토콜을 사용하는 협력 HARQ 프로토콜들을 소개하고 각각의 달성 가능 전송률을 비교하였다. 복호 후 전달 기반의 IR-HARQ 프로토콜을 사용하면 최대 전송횟수에 제한이 없으면 에르고딕 전송용량을 얻을 수 있음을 보였다.

감사의 글

이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0007)

참고 문헌

- [1] J. N. Laneman, D.N.C. Tse, and G. W. Wornell, ' " Cooperative Diversity in wireless Networks: Efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 50, pp. 3062-3080, December 2004.
- [2] E. Zimmermann, P. Herhold, and G. Fettweis, "The impact of cooperation on diversity-exploiting protocols," Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC), vol 49, pp.410-414, Milan, Italy, May 2004.
- [3] K. Azarian, H. E. Gamal, and P. Schniter, "On the optimality of the ARQ-DDF protocol," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 54, no. 4, pp. 1718-2008, April 2008.
- [4] K. C. Beh, A. Doufexi, and S. Armour, "Performance evaluation of hybrid ARQ schemes of 3GPP LTE OFDMA system," IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC),
- [5] G. Caire and D. Tuninetti, "The throughput of hybrid ARQ protocols for the gaussian collision channel," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, no. 5, pp. 1971-1988, July 2001.
- [6] Ilmu Byun and Kwans Soon Kim, "Cooperative hybrid ARQ protocols: unified frameworks for protocol adnalysis," ETRI Journal, accepted for publication.
- [7] W. Peng and N. Jindal "Performance of hybrid-ARQ in block-fading channels: A fixed outage probability analysis," IEEE Trans. on Commum., vol. 58, no. 4 pp. 1129-1141, April 2010
- [8] R. U. Nabar, H. B?lscke and F. W. Kneub?hler, "Fading relay channels: performance limits and space time signal design," IEEE Trans. Journal Select Areas Commun., pp. 1099-1109, August 2004.
- [9] G. Yu, Z. Zhang and P. Qiu, "Cooperative ARQ in wireless networks: protocols description and performance analysis," Proc. IEEE Inter. Conf. on

Commun. (ICC), vol. 8, pp. 3608-3614, Istanbul, Turkey, June 2006.

[10] S. Lee, W. Su, S. Batalama, and J. D. Matyas, "Cooperative decode-and-forward ARQ relaying: performance analysis and power optimization," IEEE Trans. Wireless Commun., pp. 2632-2642, vol. 9, no. 8, August 2010

[11] K. Azarian, H. El Gamal, and P. Schniter, "On the achievable diversity-multiplexing tradeoff in half-duplex cooperative channels," IEEE Trans. Inform. Theory, pp. 4152-4172, December 2005.

[12] I. Byun and K.S. Kim, "The maximum achievable throughput of a decode-and-forward based hybrid-ARQ protocol," Proc. IEEE Mil. Commun. Confer. (MILCOM), Boston, MA, U.S.A., October 2009.

[13] I. Stanojev, O. Simeone, Y. Bar-Ness and C. You, "Performance of multi-relay collaborative hybrid-ARQ protocols over fading channels," IEEE Com. Letters, vol. 10, no. 7, July 2006.

[14] S. Sesia, G. Caire, and G. Vivier, "Incremental redundancy hybrid ARQ schemes based on LDPC codes," IEEE Trans. Commun., vol. 52, no. 8, pp. 1311-1321, August 2004.

약 력



변 일 무

2005년 연세대학교 전기전자공학부 학사
 2007년 연세대학교 전기전자공학부 석사
 2008년 - 현재 연세대학교 전기전자공학부 박사과정
 관심분야: 통신, 애드 혹 네트워크, LDPC 부호



김 광 순

1994년 KAIST 전기전자공학과 학사
 1996년 KAIST 전기전자공학과 석사
 1999년 KAIST 전기전자공학과 박사
 1999년 - 2000년 Dept. ECE, UC San Diego, 박사후연구원
 2000년 - 2004년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2004년 - 현재 연세대학교 교수
 관심분야: 이기종 네트워크, 하이브리드네트워크, 채널부호, 계층간 최적화, 협력통신