

중복 후 전달 기반의 협력 재전송 프로토콜 연구

*변일무, **김광순

연세대학교 전기전자공학부

[*dlfan@yonsei.ac.kr](mailto:dlfan@yonsei.ac.kr), [**ks.kim@yonsei.ac.kr](mailto:ks.kim@yonsei.ac.kr)

Research on Cooperative Hybrid-ARQ protocols based on the Amplified-and-forward protocol

*Ilmu Byun, **Kwang Soon Kim

Dept. of Electrical and Electronic Engineering

Yonsei University 134 Shinchonedong, Sudaemoon-gu Seoul, 120-749, Korea

Abstract

본 논문에서는 중복 후 전달 (amplify-and-forward) 기반의 협력 재전송 프로토콜에 대하여 연구하였다. 협력 재전송 프로토콜에서는 송신단말이 중복도 증가 (incremental redundancy) 기법을 사용하여 신호를 재전송할 수 있는 반면, 중복 후 전달 기반의 중계기는 단순히 수신 신호를 증폭만 하여 재전송할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 특성을 고려하여 선택 중계 (selection relaying) 기법을 적용한 실제적인 협력 재전송 프로토콜을 제안하였다.

I. 서론

협력 재전송 프로토콜은 수신단이 요구하는 경우에만 중계 또는 재전송을 하기 때문에 기존의 협력 프로토콜보다 높은 효율성을 갖는다 [1]-[2]. [1]에서는 automatic repeat request (ARQ) 기법을 적용한 incremental relaying 프로토콜이 단순한 fixed relaying 프로토콜보다 좋은 성능을 갖는 것을 보였다. [2]에서는 dynamic decode-and-forward (DDF) 기반의 ARQ 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 중계기가 하나이고 최대전송횟수가 1 보다 큰 경우에 최적의 diversity-multiplexing trade-off 를 얻을 수 있다.

협력 재전송 프로토콜에서는 재전송할 때 중복도 증가 기법을 사용하여 재전송을 할 수 있다. [3]에서는 송신단과 중계기가 중복도 증가기법을 사용하여 신호를 재전송하는 DF 기반의 협력 재전송 프로토콜을 제안하고 성능을 분석하였다. 하지만 중복 후 전달 기반의 협력 재전송 프로토콜에서 중계기는 단순히 수신 신호를 증폭만 하여 전달할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 특성을 고려하여 선택 중계 기법을 적용한 실제적인 중복 후 전달 기반의 협력 재전송 프로토콜을 제안하였다.

II. 협력 재전송 프로토콜

A. 채널 모형

송신단 신호의 초기 전송률 (r b/s/Hz) 은 재전송이 진행되는 동안 일정하게 유지되고, 최대전송횟수는 M 이다. 수신단말들 (송신단과 중계기) 은 각자의 수신신호가 통과한 채널을 완벽히 알고 있다고 가정한다. 단말 $\alpha=\{s,d,r\}$ 에서의 m 번째 송신 신호를 $x_\alpha[m]$ 이라고 할 때, 단말 $\beta=\{s,d,r\}|\alpha$ 에서의 수신신호는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$y_\beta[m] = \sqrt{g_{\alpha,\beta}} h_{\alpha,\beta}[m] x_\alpha[m] + n_\beta[m]$$

위 식에서 $g_{\alpha,\beta}$ 와 $h_{\alpha,\beta}[m]$ 는 각각 단말 α 와 β 사이의 채널 이득과 채널 값으로, 채널은 매 전송마다 독립이고 동일 분포를 갖는 (i.i.d) 정규 확률 변수로 $CN(0,1)$ 의

통계적 특성을 갖는다. $n_\beta[m]$ 은 m 번째 수신 신호의 AWGN 잡음이고, $CN(0,N_0)$ 의 통계적 특성을 갖는다.

ARQ 채널에서의 처리율 (throughput) 은 다음과 같다 [4].

$$\eta = \frac{E[R]}{E[T]}$$

위 식에서 $E[T]$ 는 평균 전송 횟수이고 $E[R]$ 은 평균 전송률이다. 만약, 수신단이 복호를 성공하면 $E[T]=r$ 이 되고, 최대전송횟수만큼 송신한 이후에도 수신단이 복호를 성공하지 못하면 $E[T]=0$ 이 된다.

B. 프로토콜

본 논문에서는 반양방향통신 (half-duplex) 이 가능한 송신단, 수신단 그리고 중계기가 하나씩 있는 단일 중계기 협력 재전송 모형을 고려하였다. 수신단은 송신단과 중계기로 한 비트의 케환 신호 (ACK/NACK) 를 전송하고, 선택 중계 프로토콜의 경우에만 중계기가 송신단으로 한 비트의 케환 신호를 전송한다. 또한 케환 신호는 오류 없이 복원이 가능하다고 가정하였다.

AF-HARQ: 수신단이 복호를 성공하거나 송신 횟수가 최대전송횟수에 이를 때까지 송신단과 중계기가 번갈아가면서 신호를 전송한다. 송신단에서는 중복도 증가기법을 사용하여 신호를 재전송하고, 중계기는 송신단으로부터 받은 신호를 증폭하여 수신단으로 전달한다.

SAF-HARQ: 수신단이 복호를 성공하거나 송신 횟수가 최대전송횟수에 이를 때까지 송신단 또는 중계기가 신호를 송신한다. 만약, 중계기에서 송신단이 신호를 송신하는 경우보다 중계기가 신호를 송신하는 경우의 전송정보 (mutual information) 가 크다고 판단되면, 중계기가 송신단으로 ACK 를 보낸다. 이 경우 송신단은 신호를 전송하지 않고 중계기가 신호를 증폭하여 전달한다. 반대로 중계기로부터 NACK 를 받은 경우에는 송신단이 신호를 전송하고 중계기는 전송하지 않는다.

위의 AF-HARQ 프로토콜과 SAF-HARQ 프로토콜의 m 번째 송신에서의 전송정보는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_m = \sum_{l=1}^L \log_2 \left(1 + \sigma_{s,d} [l] \gamma + \sum_{k=1}^{K_l} f(\sigma_{s,r} [k] \gamma, \sigma_{d,r} [k] \gamma) \right) \quad (1)$$

$$= \sum_{l=1}^L \log_2 (1 + \Gamma_l)$$

여기서 $\sigma_{\alpha,\beta} [l] = g_{\alpha,\beta} |h_{\alpha,\beta} [l]|^2$ 그리고 $f(x, y) = xy/(x+y+1)$ 이다. 또한 $\gamma = E_s/N_0$ 이고 $m = L + \sum_{l=1}^L K_l$ 이다. AF-HARQ에서 K_l 은 1 이고, SAF-HARQ에서는 채널 상황에 따라 달라진다. SAF-HARQ에서는 전송 정보가 최대가 되도록 전송단말을 선택하기 때문에 $m+1$ 번째 송신에서의 I_{m+1} 은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$I_{m+1} = \max(I_{AF,m+1}, I_{IR,m+1})$$

여기서 송신단과 중계기가 모든 링크의 채널을 알고 있는 Ideal SAF-HARQ 상황을 가정하면 $I_{AF,m+1}$ 와 $I_{IR,m+1}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$I_{AF,m+1} = \sum_{l=1}^{L-1} \log_2 (1 + \Gamma_l) + \log_2 (1 + \Gamma_L + f(\sigma_{s,r} [K_L + 1] \gamma, \sigma_{d,r} [K_L + 1] \gamma)),$$

$$I_{IR,m+1} = I_m + \log_2 (1 + \sigma_{s,d} [L+1] \gamma).$$

즉, $I_{IR,m+1} > I_{AF,m+1}$ 이면 중계기가 송신단으로 NACK를 전송하고 그렇지 않으면 ACK를 전송한다. 위의 $I_{AF,m+1}$ 과 $I_{IR,m+1}$ 대신 간단히 다음의 $I'_{AF,m+1}$ 과 $I'_{IR,m+1}$ 을 비교해서 전송 단말을 정할 수 있다.

$$I'_{AF,m+1} = \log_2 (1 + \Gamma_L + f(\sigma_{s,r} [K_L + 1] \gamma, \sigma_{d,r} [K_L + 1] \gamma)),$$

$$I'_{IR,m+1} = \log_2 (1 + \Gamma_L) + \log_2 (1 + \sigma_{s,d} [L+1] \gamma). \quad (2)$$

실제 시스템에서 송신단과 중계기가 모든 링크의 채널을 알고 있기는 어렵기 때문에 위의 선택 기법을 적용하기는 어렵다. 그러므로 중계기에서 각 링크의 채널 이득과 $\sigma_{s,r}$ 을 알면 적용 가능한 다음과 같은 간단한 선택 알고리즘을 제안한다.

$$I_{AF,m+1}^{approx} = \log_2 (1 + \Gamma_L + f(\sigma_{s,r} [K_L + 1] \gamma, g_{r,d} \gamma)), \quad (3)$$

$$I_{IR,m+1}^{approx} = \log_2 (1 + \Gamma_L) + \log_2 (1 + g_{s,d} \gamma).$$

위의 마찬가지로, 만약 $I_{IR,m+1}^{approx} > I_{AF,m+1}^{approx}$ 이면 중계기가 송신단으로 NACK를 전송하고 그렇지 않으면 ACK를 전송한다.

III. 모의 실험 결과

모의 실험은 송신단, 수신단, 중계기가 직선상에 있는 1차 선형 중계 모형 (one-dimensional relay network model)을 사용하여 수행하였다. 송신단과 수신단간의 거리는 1로, 송신단과 중계기간의 거리는 d 로 하였고, 각 링크의 채널이득은 $g_{s,d} = 1$, $g_{s,r} = d^{-4}$, $g_{r,d} = (1-d)^{-4}$ 로 놓았다. 또한 송신단과 중계기가 동일한 송신 전력을 가지고 신호를 전송한다고 가정하였다. 최대 통신용량은 초기 전송률을 0~5M 까지 0.2M 씩 순차적으로 증가시키면서 찾았다.

그림 1은 각 프로토콜의 최대 처리율을 중계기의 위치에 따라 비교한 그래프이다. Ideal SAF-HARQ는 중계기의 위치와 SNR에 상관없이 언제나 direct(협력통신 없이 직접 송신)보다 큰 처리율을 갖는 것을 알 수 있었다. AF-HARQ는 SNR이 4dB인 경우에는 중계기의 위치가 한쪽

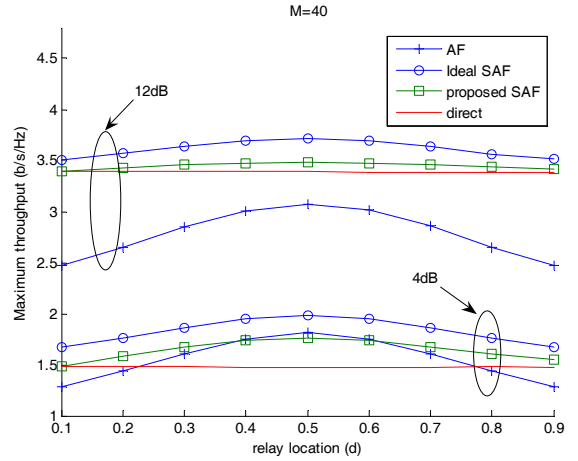


그림 1 중계기의 위치에 따른 각 프로토콜의 최대 통신 용량 비교

으로 많이 치우친 경우를 제외하고는 direct보다 큰 처리율을 가졌고, 중계기가 중간에 위치한 경우에는 proposed SAF-HARQ보다도 큰 처리율을 가졌다. 그러나 SNR이 12dB인 경우에는 모든 위치에서 가장 나쁜 성능을 가졌다. Proposed SAF-HARQ의 경우는 언제나 direct보다 좋은 성능을 가졌지만 Ideal SAF-HARQ보다는 작은 처리율을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 그림 1에서 SNR이 증가함에 따라 협력 재전송 프로토콜의 성능 이득이 전반적으로 감소하거나 심지어는 성능이 direct보다 나빠지는 것을 알 수 있었는데, 이는 SNR이 증가함에 따라 단순히 신호를 증폭해서 보내는 증폭 후 중계에 의한 이득보다는 중복도 증가기법을 사용하는 송신단에서의 재전송에 의한 이득이 커지기 때문으로 보인다.

IV. 결론

본 논문에서는 송신단과 수신단간의 채널 이득과 중계기와 수신단간의 채널 이득 그리고 송신단과 중계기간의 채널 정보를 사용하여 재전송 단말을 선택하는 실제적인 SAF-HARQ 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜을 사용하면 협력 통신을 하지 않은 재전송 프로토콜과 단순한 AF-HARQ 프로토콜보다 큰 처리율을 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음 (IITA-2009-C1090-0902-0010)

참고문헌

- [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] 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.
- [3] I. Byun, D. Rhee, Y. J. Sang, M. Kand, K. S. Kim, "Performance analysis of a decode-and-forward based hybrid-ARQ protocol," *Proc. IEEE Mil. Commun Confer (MILCOM)*, pp.1-5, San Diego, CA, USA, November 2008.
- [4] G. Caire and D. Tuninetti, "The throughput of Hybrid ARQ protocols for the gaussian collision channel," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 47, no. 5, July 2001.