논문 2011-48TC-3-5

이동 멀티미디어 통신을 위한 Ad-hoc Cognitive Relay의 Cooperative ARQ 재전송 기법

(A Cooperative ARQ strategy in Ad hoc Cognitive Relays for Mobile Multimedia Communication)

안 미 은*, 강 해 린*, 김 낙 명**

(Mi-Eun An, Hae-Lynn Kang, and Nak-Myeong Kim)

요 약

고용량의 멀티미디어 데이터 전송이 비약적으로 늘어나는 차세대 이동통신 시스템에서 cooperative ARQ 기법은 단말의 QoS를 만족시키기 위한 효과적인 방법이다. 그러나 기존의 cooperative ARQ 기법은 수신노드의 feedback을 받아서 재전송을 하기 때문에 채널 변화가 극심한 MANET 환경에서는 실시간 전송을 보장하기 어렵다는 단점이 있다. 본 논문에서는 ad-hoc OFDMA 통신 네트워크에서 cognitive relay를 이용한 협력통신 기반 cooperative ARQ 재전송 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 송신노드가 전송한 신호의 SINR을 relay가 사전에 sensing함으로써, 수신노드가 feedback 신호를 전송하기 전에 협력통신을 능동적으로 제안한다. 이를 통하여, 무선 채널의 변화에 따른 지연 분산 특성을 극소화함으로써 실시간 통신을 원활하게 한다. 또한, relay에서 협력 통신을 제안할 때, 잘못된 제안을 최소화하기 위하여 최적의 sensing threshold를 유지할 수 있도록 하는 적응적 sensing threshold 최적화 알고리듬을 제안한다. 모의실험을 통하여, 실시간 멀티미디어 데이터 전송 시스템에서 제안된 cooperative ARQ 재전송 기법이 기존의 알고리듬에 비하여 프레임 전달시간 및 프레임 손실률 측면에서 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

Abstract

Cooperative ARQ scheme is effective for better QoS guarantee for the next generation mobile communication systems where multimedia data transmission highly increases. In this paper, we propose a cooperative ARQ strategy in ad hoc cognitive relays for mobile multimedia communication for supporting instantaneous cooperation in MANET environment. In the proposed strategy, to support real time, delay-sensitive services, whenever a frame is transmitted from the source, each relay actively senses the SINR of the signal transmitted from the source, and determine whether to propose retransmission or not before the destination transmits feedback signal. To minimize the false retransmission decision or needless retransmission, we propose an adaptive sensing threshold optimization algorithm to maintain suboptimal sensing thresholds for each relay. By computer simulation, it is shown that the proposed cooperative ARQ retransmission scheme outperforms the conventional schemes with respect to frame transmission delay and frame loss probability in real time multimedia data transmission system.

Keywords : Cooperative ARQ, Cognitive Relay, MANET, Cooperative Diversity, 이동 멀티미디어 통신

* 정회원, 이화여자대학교
(Ewha W. University)
** 평생회원, 이화여자대학교
(Ewha W. University)
※ 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업 및 2009년도 한국과학재단의 지원(No.20090077710)을 받아 수행된 연구임
접수일자: 2010년11월24일, 수정완료일: 2011년3월17일

I. 서 론

차세대 이동통신 시스템에서는 고용량의 멀티미디어 데이터 전송 및 다양한 서비스를 실시간으로 제공하기 위하여 양질의 무선통신 환경 구축이 요구된다. 특히, mobile ad hoc network (MANET)의 패킷 무선통신 환

경에서는 전송전력의 제한, 사용자 이동성 등의 요인으로 인하여 많은 프레임 오류가 발생되고, 이를 줄이기 위하여 automatic repeat request (ARQ) 알고리듬에 대한 고찰이 있어왔다. 그러나 기존의 ARQ 알고리듬은 프레임 오류가 랜덤하게 발생하는 유선통신 환경에서 제안된 것으로 프레임 오류가 burst하게 발생하는 무선통신 환경에서는 상당한 성능저하를 보이게 된다.

한편, 무선 페이딩 채널에서의 성능향상을 위하여, 하나의 안테나를 가진 단말들을 이용하여 가상의 multi input multi output (MIMO)환경을 구축하는 협력통신에 관한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 협력통신에서는 각각의 노드가 자신의 데이터를 전송하는 것뿐만 아니라, 통신하고 있는 다른 노드의 alternative path 역할을 수행하게 되어 통신 품질을 향상시킬 수 있게 된다.

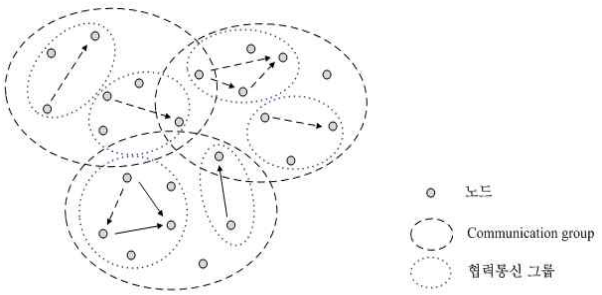
최근, 프레임 오류와 delay발생을 줄임으로써 실시간으로 고용량의 데이터를 전송하기 위하여 ARQ 알고리듬과 협력통신 기술을 결합하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Veluppillai Mahinthan과 Jon W. Mark는 두 명의 가입자가 협력전송을 하는 시스템에 ARQ 재전송 기술을 결합하여, 송신노드가 수신노드로부터 전송받은 ACK, NACK feedback을 통하여 에러가 발생한 프레임을 재전송 할 수 있도록 하는 QS-CD-ARQ* 알고리듬을 제안하였다[1]. 그러나 relay는 수신노드의 ARQ feedback 정보와 관계없이 항상 송신노드의 프레임을 재전송함으로써 불필요한 재전송이 발생하게 되었고, 이는 고용량의 데이터를 실시간으로 전송해야하는 차세대 이동통신 시스템에서 활용되기에 부족함이 있다.

한편, Megradad Dianati와 Xuemin Shen은 무선 ad hoc 네트워크 환경에서 동작하는 NCSW** 알고리듬을 제안하였다[2]. NCSW는 수신노드가 NACK feedback 신호를 전송하면 에러가 발생한 해당 프레임을 송신노드 대신 relay가 수신노드에게 재전송하게 함으로써 재전송 프레임 오류를 줄일 수 있게 하는 알고리듬이다. 그러나 relay가 수신노드로부터 feedback 신호를 받은 후 재전송을 시작하기 때문에 오류가 발생하였을 때 빠른 재전송이 요구되는 서비스에 활용하기에 무리가 있다.

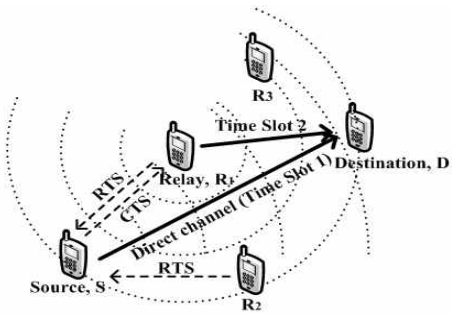
본 논문에서는 프레임 오류가 발생하였을 때 낮은 재전송 오류율을 가지면서도 빠른 재전송 실현을 위하여, cognitive relay를 이용한 발전된 형태의 ARQ 기반 협력통신 기법인 CACR 기법을 제안한다. 제안된 기법은 cognitive relay가 수신노드의 feedback 신호를 받기 전에, 송신노드가 전송한 신호의 SINR을 sensing함으로써 사전에 feedback 신호를 예측하여 송신노드에게 능동적으로 재전송을 제안하는 방식이다. 또한, relay의 부적절한 협력통신 제안을 최소화하기 위하여, 무선 채널의 변화에 따른 relay의 sensing threshold 최적화 기법을 제안하고, 가변 타이머를 이용한 재전송 제안 충돌 방지 기법을 제안한다.

Ⅱ. Cognitive ad hoc 네트워크 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 고려한 cooperative ad-hoc OFDMA 통신 네트워크 시스템을 표현하고 있다. 모든 노드들은 네트워크에 랜덤하게 분포되고, 노드 사이의 채널은 Rayleigh fading 환경이라고 가정한다. 그림 1.(b)와 같이 송신노드의 1-hop 거리 내에 위치하고 있는 노드들로 협력통신 그룹이 구성되고, 각 communication 그룹에는 동일한 주파수를 사용하는 여러 개의 송신노드들과 수신노드들이 존재하는 것으로 가정한다. 이 때, 협력통신 그룹은 데이터 전송을 위해



(a) Cooperative ad hoc 네트워크 모델



(b) 협력통신 그룹의 정의

그림 1. 제안한 ad-hoc 네트워크의 시스템 모델
Fig. 1. Proposed system model of Ad-hoc network.

* Quadrature signaling based cooperative diversity ARQ
** Node cooperative stop and wait ARQ

송신노드를 중심으로 이루어지는 그룹이며, 그림 1.(b)과 같이 하나의 송신노드 S와 하나의 수신노드 D, 그리고 협력 재전송이 가능한 relay, $R_i, i=1,\ldots,N$ 로 구성된다.

본 논문에서는 프레임을 기반으로 한 실시간 멀티미디어 전송을 고려하고, 실시간 전송을 위하여 processing 시간을 줄이기 위하여 선택적 재전송 프로토콜이 사용된다. 또한, cognitive radio(CR) 기능을 갖는 R_i는 자신의 서비스 영역 내에 있는 S와 D가 전송하는 traffic signal의 신호전력의 세기를 감지한다. 이 경우, S 및 D 사이의 거리가 서로 유사한 relay들의 경우에도, 지형, 건물 등의 요인으로 인하여 측정되는 신호전력의 세기는 서로 다르다.

S가 D로 프레임을 전송할 때, D와 임의의 relay R_i에서 수신된 신호 $y_{S,D}$, y_{S,R_i}는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{S,D} &= h_{S,D}x_S + n_D, \\ y_{S,R_i} &= h_{S,R_i}x_S + n_{R_i} \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $h_{S,D}$, h_{S,R_i}는 각각 S와 D사이, S와 R_i사이의 Rayleigh fading 채널 특성 함수이고, x_S는 S에 의해 전송된 신호를, n_D, n_{R_i}는 각각 D와 R_i에서 수신된 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 또한, x_S의 power $E[|x_s^* x_s|]$를 P_s로 정의할 때, S가 프레임을 전송하는 time slot동안 D의 수신 SINR, $\gamma_{S,D}$와 R_i의 수신 SINR, γ_{S,R_i}는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \gamma_{S,D} &= \frac{|h_{S,D}|^2 P_S}{\sum_{\substack{k\in M,\\ k\neq S,D}} |h_{k,D}|^2 P_k + \sigma_D^2}, \\ \gamma_{S,R_i} &= \frac{|h_{S,R_i}|^2 P_S}{\sum_{\substack{l\in M,\\ l\neq S,D,R_i}} |h_{l,R_i}|^2 P_l + \sigma_{R_i}^2} \end{aligned} \tag{2}$$

이 때, M은 communication group 내에 존재하는 모든 노드들의 집합을 뜻하고, σ_D^2, $\sigma_{R_i}^2$는 D와 R_i에서 수신된 잡음 전력이다.

또한, D가 프레임을 전송하는 time slot동안 S의 수신 SINR,$\gamma_{D,S}$ 와 R_i의 수신 SINR,γ_{D,R_i} 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \gamma_{D,S} &= \frac{|h_{D,S}|^2 P_D}{\sum_{\substack{k\in M,\\ k\neq S,D}} |h_{k,S}|^2 P_k + \sigma_S^2}, \\ \gamma_{D,R_i} &= \frac{|h_{D,R_i}|^2 P_D}{\sum_{\substack{l\in M,\\ l\neq S,D,R_i}} |h_{l,R_i}|^2 P_l + \sigma_{R_i}^2} \end{aligned} \tag{3}$$

본 논문에서는 R_i^*를 협력전송을 위하여 S가 선택한 relay로 정의하고, R_i^*가 패킷을 재전송하는 time slot에서는 S는 패킷을 전송하지 않는 것으로 가정한다.

Ⅲ. Cognitive ad hoc 네트워크 시스템 구조

1. Cognitive relay를 이용한 cooperative ARQ

무선통신 환경에서는 노드의 위치가 일정하더라도 Rayleigh fading과 shadow fading의 영향으로 인하여 시간에 따른 채널 변동이 심하게 된다. 따라서 데이터 전송 초기에 R_i를 선택하여 S의 모든 프레임 전송에 동일한 R_i를 이용하는 방식은 전송하는 프레임의 time slot에 따라 $h_{S,D}$, h_{S,R_i^*}, $h_{D,S}$ 및 h_{D,R_i^*} 값이 변하게 되므로, cooperative diversity gain을 감소시키는 요인으로 작용할 수 있다. 또한, D의 NACK 신호로 협력전송을 시작하는 방식은 일정 time slot 후에 오류 프레임을 재전송하기 때문에 실시간 멀티미디어 통신의 성능을 저하시킬 수 있다.

본 논문에서는 낮은 재전송 오류율과 오류 프레임의 빠른 재전송을 위하여 짧은 time slot인 RTS, CTS를 사용하여 R_i를 선택하고 delay를 최소화 하여 재전송하는 ARQ 방법을 제안한다. 이를 위하여 협력전송을 instantaneous cooperation을 위한 handshaking 단계와 실질적인 데이터 전송단계로 나누어 수행한다. Handshaking 단계에서는 그림 2와 같이 RTS, CTS 프레임을 이용하여 S가 R_i의 협력전송 여부를 결정하고,

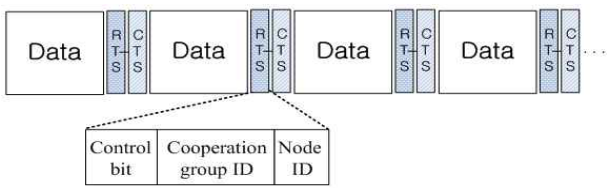


그림 2. 제안된 cooperative ARQ 방법의 slot 구성
Fig. 2. Slot configuration in proposed cooperative ARQ.

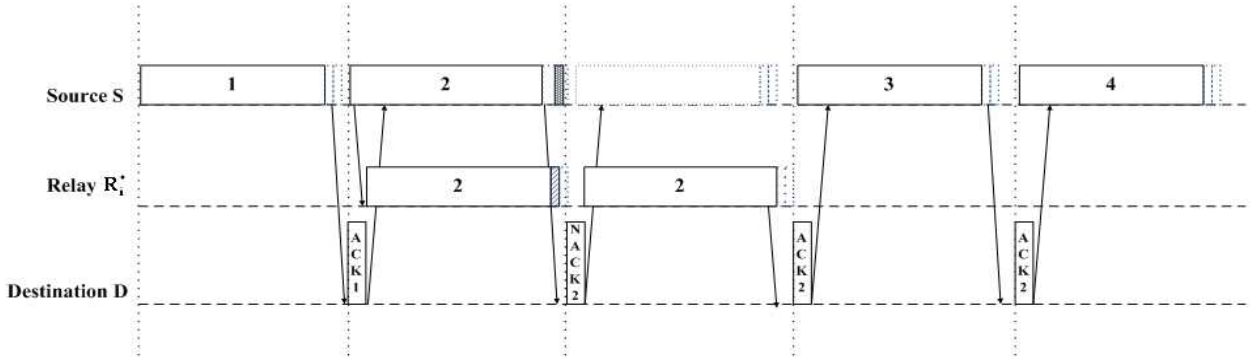


그림 3. 제안한 cooperative ARQ 재전송 알고리듬의 운용
Fig. 3. Operation of the proposed cooperative ARQ retransmission algorithm.

데이터 전송 단계에서는 S가 OFDM 구조의 여러 서브 채널을 통하여 데이터 프레임을 전송한다.

R_i는 S와 D가 전송하는 신호의 SINR을 sensing하여 그 값이 일정 threshold 범위 내에 존재하면, S에게 RTS를 전송함으로써 능동적으로 자신을 협력전송을 위한 candidate relay로 제안한다. 이때, 두 개 이상의 노드에서 동시에 RTS를 전송하여 충돌이 발생하는 것을 방지하기 위해, 본 논문에서는 adaptive back-off method를 제안한다. Adaptive back-off method는 R_i가 신호를 sensing한 후, 바로 RTS를 전송하는 것이 아니라 자신이 보유한 timer 값에 따라 일정 시간을 back-off 한 후에 RTS를 전송하는 방법이다. 각각의 R_i가 보유한 adaptive back-off timer는 R_i와 S사이의 거리 $d(S,R_i)$에 반비례하고, R_i와 D사이의 거리 $d(R_i,D)$에 비례하는 timer로 제안한다. R_i는 신호를 sensing하여 협력전송 요청을 결정한 후, timer를 동작시켜 timer가 0이 되면 S에게 RTS를 전송함으로써 RTS 충돌을 방지할 수 있게 된다. 또한, 협력 재전송이 가능한 relay들이 각각의 timer를 사용함으로써 협력전송 이득이 높은 relay부터 RTS를 S에게 전송하게 된다. 이 때 S는 가장 먼저 도착한 RTS로 R_i를 선택함으로써 협력전송이 유효한 거리 내에 위치한 relay 가운데 재전송 오류 확률이 낮은 relay를 협력전송을 위한 relay로 선택할 수 있다.

S에서 전송한 신호가 D에서는 디코딩이 불가능하지만 R_i에서는 디코딩이 가능하게 되는 SINR의 threshold를 $\gamma_{SD,lower}^{th}$, $\gamma_{SD,upper}^{th}$로 표현하고, R_i에서 프레임을 전송하는 경우 D에서 디코딩이 가능하게 되는 SINR의 threshold를 γ_{DS}^{th}라고 표현할 때, 자신을 candidate relay로 제안할 수 있는 R_i들의 집합 R_I는 다음과 같이 간략화 될 수 있다.

$$R_I = \{R \mid (\gamma_{SD,lower}^{th} \le \gamma_{S,R_i} \le \gamma_{SD,upper}^{th}) \mathrm{I}\ (\gamma_{DS}^{th} \le \gamma_{D,R_i})\} \quad (4)$$

이 때, $\gamma_{SD,upper}^{th}$와 γ_{DS}^{th} 는 R_i가 sensing한 이전 프레임의 feedback 신호에 의해 time slot 마다 경험적으로 결정되게 된다.

또한, D가 심한 페이딩을 겪고 있는 경우에는 채널 품질을 유지하기 위하여 많은 송신전력이 필요하게 된다. 따라서 전력절약 관점에서 R_i는 γ_{S,R_i}값이 과도하게 큰 경우에도 γ_{D,R_i}값를 측정하여 γ_{D,R_i}가 threshold 보다 높은 값이면 재전송을 하기 위하여 S에게 RTS를 전송한다.

S는 이전에 전송한 프레임들에 대한 D의 ACK, NACK 신호의 수신 전력을 통해 S와 D사이의 채널 상태를 경험적으로 판단하여 협력전송 여부를 판단하기 위한 threshold,γ_S^{th} 를 결정한다. S는 이전 프레임의 feedback 신호가 γ_S^{th}이하로 감지되면 협력전송을 하기로 결정하고, 처음 수신된 RTS의 노드 ID를 통하여 R_i를 선택하여 그림 3과 같이 CTS를 전송한다. R_i가 S로부터 CTS를 수신하면 handshaking단계가 끝나고, R_i는 이전 time slot에서 받았던 데이터를 OFDM의 다음 time slot에서 D에게 재전송한다.

한편, back-off timer를 사용함에도 불구하고 S에게 두 개 이상의 relay가 동시에 RTS를 전송하면 충돌이 발생한다. S는 수신한 RTS의 group ID와 자신의 group ID를 비교함으로써 충돌여부를 판단한다. 충돌이 발생하여 group ID가 일치하지 않으면 S는 수신한 RTS를 무시하고, 해당 프레임에 대한 D의 ACK,

NACK 응답을 기다린다.

2. Cognitive relay를 이용한 cooperative ARQ

R_i의 threshold값이 최적값보다 큰 경우에는 S로부터 전송된 신호가 D에서 충분히 디코딩 할 만큼 좋음에도 불구하고 R_i에서 RTS를 전송하게 된다. D는 이미 S로부터 프레임을 수신하였으므로 R_i에서 재전송한 프레임은 무시하게 되고, 이는 R_i에서 false alarm이 발생하여 불필요한 재전송을 수행하였다는 것을 의미한다. 또, threshold 값이 최적값보다 작은 경우에는, D에 QoS를 만족하는 SINR보다 낮은 값이 수신되어 R_i의 재전송이 필요함에도 불구하고 R_i에서 RTS 전송을 하지 않는 상황이 발생한다. 이는 R_i에서 threshold 값에 따른 재전송 결정 오류가 발생하여 D의 feedback신호를 제대로 예측하지 못하였다는 것을 의미한다. 따라서 false alarm과 threshold값에 따른 재전송 결정 오류 발생을 줄이기 위해서는 R_i의 threshold가 최적의 값으로 결정되어야 한다.

본 논문에서는 R_i의 threshold를 최적으로 결정하기 위하여, R_i가 S의 CTS 신호와 D의 feedback 신호를 듣고 자신의 threshold값을 조절하는 방법을 제안한다. R_i의 threshold는 초기에 임의의 값으로 설정된 후, S의 CTS 신호와 D의 ACK, NACK 신호에 의해 그 값이 조절된다. R_i가 협력전송을 위하여 S에게 RTS를 전송하였을 때 S로부터 CTS를 수신하지 못하였다면, R_i의 threshold 값이 최적값보다 큰 경우이므로 threshold는 다음과 같이 조절된다.

$$\begin{aligned} \gamma_{UL,lower}^{th} &= \gamma_{UL,lower}^{th} + \delta_{\Delta}, \\ \gamma_{UL,upper}^{th} &= \gamma_{UL,upper}^{th} - \delta_{\Delta} \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 δ_{Δ}는 threshold 조절 값의 variance를 뜻한다.

또한, R_i가 협력전송이 불필요하다고 판단하여 RTS를 전송하지 않았을 때 해당 프레임에 대한 D의 NACK 신호를 감지하였다면, R_i의 threshold값이 최적값보다 작은 경우이므로 threshold는 다음과 같이 조절된다.

$$\begin{aligned} \gamma_{UL,lower}^{th} &= \gamma_{UL,lower}^{th} - \delta_{\Delta}, \\ \gamma_{UL,upper}^{th} &= \gamma_{UL,upper}^{th} + \delta_{\Delta} \end{aligned} \tag{6}$$

이 때, δ_{Δ}값이 부적절하여 threshold의 최적값이 δ_{Δ}사이에 존재한다면, R_i의 threshold 값이 계속 변하게 되는 ping-pong 현상이 발생한다. 이를 해결하기 위하여 threshold 값이 2 time slot 만에 동일한 값으로 돌아오는 경우, δ_{Δ}값을 반으로 줄여 알고리듬을 수행하게 된다. R_i에서의 threshold 조절 알고리듬은 다음 pseudo code와 같이 나타낼 수 있다.

3. False alarm 확률 및 전송 효율 분석

S가 프레임을 전송한 다음, 이에 대한 feedback 신호를 D로부터 수신한 경우, D와 S 채널 사이의 mutual information, $I_{D,S}$는 다음과 같다.

$$I_{D,S} = \log(1 + \gamma_{D,S}) \tag{7}$$

S는 R_i의 협력전송 요청을 받았을 때, 이전 프레임에 대한 D의 feedback 신호의 SINR과 γ_S^{th}를 비교하여 feedback 신호가 γ_S^{th}보다 더 좋으면 협력전송 요청을 거절한다. 따라서 R_i에서 RTS를 전송하였지만 S의 CTS를 수신하지 못할 확률, P_{FA}는 다음과 같다.

$$I_{S,D} = \log(1 + \gamma_{S,D}) \tag{8}$$

또한, S가 프레임을 D에게 전송한 경우, S와 D 채널 사이의 mutual information, $I_{S,D}$는 다음과 같다.

Pseudocode: Adaptive sensing threshold optimization scheme

```
for frame number k = 1, 2, 3, ...
    if k == 1 then
        γ^th_SD,lower(k) = γ^th_lower,initial ;  γ^th_SD,upper(k) = γ^th_upper,initial ;
    end
    if {γ^th_SD,lower(k) ≤ γ_S,Ri(k) ≤ γ^th_SD,upper(k)} and
        Ri doesn't receive CTS then
            γ^th_SD,lower(k) = γ^th_SD,lower(k) + δ_Δ ;
            γ^th_SD,upper(k) = γ^th_SD,upper(k) − δ_Δ ;
    else if [{γ^th_SD,lower(k) > γ_S,Ri} || {(k) > γ^th_SD,upper(k)}] and
        S receives NACK then
            γ^th_SD,lower(k) = γ^th_SD,lower(k) − δ_Δ ;
            γ^th_SD,upper(k) = γ^th_SD,upper(k) + δ_Δ ;
    end
    if k ≥ 3 then
        if γ^th_SD,lower(k − 2) == γ^th_SD,lower(k) then
            δ_Δ = (1/2) δ_Δ ;
        end
    end
end
```

$$P_{FA} = \Pr\left\{ I_{D,S} > \log(1+\gamma_S^{th}) \right\} \quad (9)$$

R_i가 프레임을 재전송한 경우, D는 수신한 S의 프레임과 재전송된 R_i의 프레임을 합하여 디코딩하게 되며 이때의 mutual information, $I_{S,R_i,D}$는 다음과 같다[5].

$$I_{S,R_i,D} = \frac{1}{2}\log(1+\gamma_{S,D}+\gamma_{R_i,D}) \quad (10)$$

여기서 $\gamma_{R_i,D}$는 R_i가 오류 프레임을 재전송 할 때 D에서 수신한 SINR을 뜻한다.

S에서 프레임을 제대로 전송하지 못할 확률을 P_{SF}로 정의하면, P_{SF}는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{SF} = \Pr\left\{ I_{S,D} < r \right\} \quad (11)$$

여기서 r은 프레임 당 요구되는 최소 전송률을 뜻한다. 또한, R_i가 재전송을 수행할 때, 해당 프레임을 제대로 전송하지 못할 확률을 P_{RF}라고 정의하면 P_{RF}는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{RF} = \Pr\left\{ I_{S,R_i,D} < \frac{r}{2} \mid I_{S,D} < r \right\} \times \Pr\left\{ I_{S,D} < r \right\} \quad (12)$$

식 12에서 첫 항은 information repetition에 의한 재전송을 반영하였다.

동일한 프레임의 최대 재전송 횟수가 n이고, n번 이후에도 오류가 발생하는 프레임은 무시한다면 프레임 당 평균 전송 slot 개수, $\bar{N}$은 다음과 같이 유도된다.

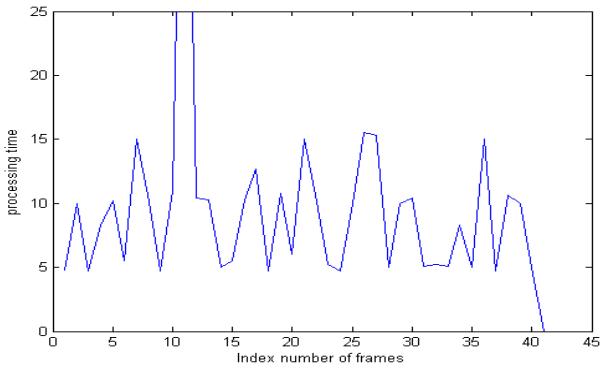
$$\bar{N} = \frac{(1-P_{SF})(1-(P_{SF}P_{RF})^n)}{1-P_{SF}P_{RF}} + \frac{P_{SF}(1-P_{RF})(1-(-P_{SF}P_{RF})^n)}{1+P_{SF}P_{RF}} + (P_{SF}P_{RF})^n \quad (13)$$

따라서, 프레임을 전송하는데 사용되는 time slot의 비율을 전송효율이라고 정의하면, 전송효율, η는 다음과 같이 유도된다.

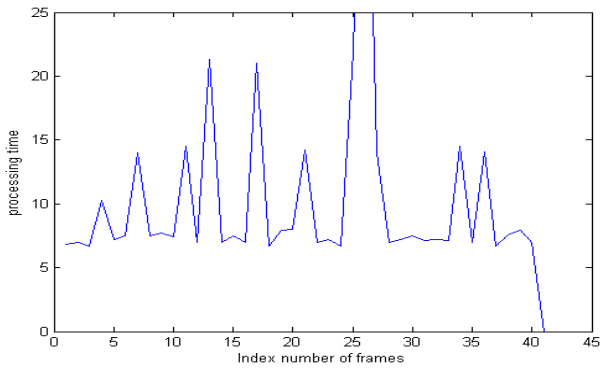
$$\eta = \frac{1}{\bar{N}} \quad (14)$$

Ⅳ. 성능 평가

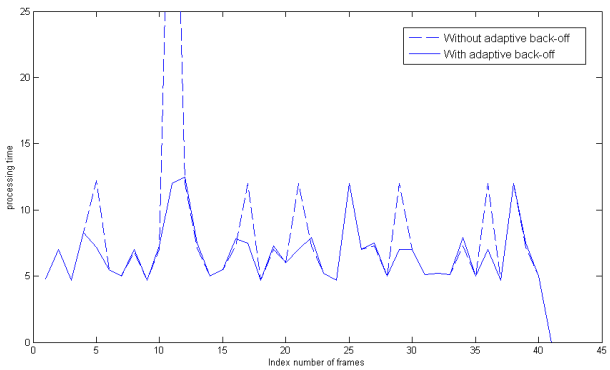
본 장에서는 ad hoc OFDMA 통신 네트워크에서 송신 노드, 수신 노드들 간의 프레임 전송 성능을 분석하였다. 1km×1km 크기의 사각형 구조 ad hoc 무선 네트워크에 200명의 사용자를 랜덤하게 발생시켰으며 단말의 송신전력은 23dBm, 노드들 사이에 생성되는 채널은 Rayleigh fading channel model로 고려하였다. 패킷은 1000bit으로 구성되었으며, 각 사용자가 요구하는 data rate은 1Mbps로 설정하였고, 프레임별 최대 재전송 횟



(a) Conventional QS-CD-ARQ scheme



(b) Conventional NCSW scheme



(c) Proposed CACR scheme

그림 4. 프레임 별 전송시간을 보여주는 sample function ($SNR = 12dBm, n=2, d_{proc}=1ms$)

Fig. 4. Sample function of frame delay when $SNR = 12dBm$, $n=2$, $d_{proc}=1ms$.

수 $n=2$, processing delay $d_{proc}=1ms$로 모델링하였다.

그림 4는 수신노드에서 신호의 수신 전력이 Rayleigh fading에 의해 12dBm로 수신되었을 때, 프레임 별 전송시간을 보여주는 sample function을 나타낸 것이다. 그래프를 적분한 값이 총 전송시간을 나타내므로, 기존의 NCSW 기법과 QS-CD-ARQ 기법에 비해 제안된 CACR 기법을 사용한 경우, 더 짧은 시간에 데이터 전송이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그림 4.(c)에서는 adaptive back-off를 적용하여 협력전송 이득이 높은 R을 선택함으로써 협력전송의 성공률을 향상시킬 수 있음을 보였다. 따라서 제안된 기법은 빠른 재전송과 협력 전송의 성공률 향상을 통하여 전송시간을 단축함으로써 실시간으로 고용량의 멀티미디어 데이터를 전송하기에 적합하다고 할 수 있다.

그림 5에서는 송신 노드의 SNR 값에 따른 efficiency를 나타내었다. 이 때, efficiency는 전체 프레임을 전송하는데 사용된 time slot의 비율을 나타낸 것으로, 모든 프레임을 delay없이 전송하는 경우의 efficiency는 1이 되게 된다. 그림 5에서 낮은 SNR일수록 NCSW, QS-CD-ARQ에 비해 CACR이 더욱 개선된 efficiency를 가짐을 볼 수 있다. 이 결과는 제안한 기법이 cognitive sensing과 RTS, CTS를 통하여 기존의 알고리즘보다 협력전송 여부를 빠른 시간에 결정하여 프레임 재전송 delay가 감소하기 때문이다. 한편, 높은 SNR에서 QS-CD-ARQ가 CACR보다 좋은 efficiency를 가지는 부분이 존재함을 볼 수 있는데, 이는 협력전송 제안을 빠르게 하기 위하여 정의된 RTS, CTS의 time slot이 높은 SNR에서는 시스템의 효율을 떨어뜨리는

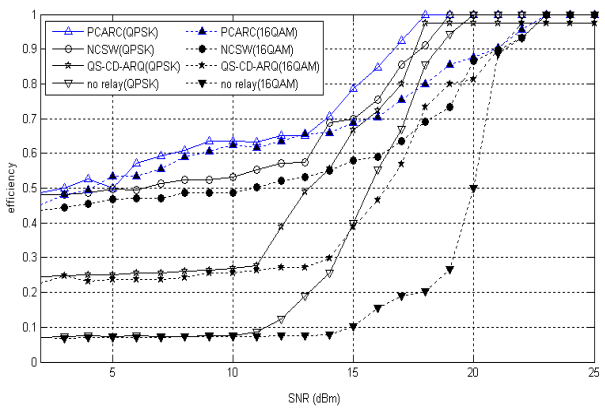


그림 5. S-D 채널 상태에 따른 efficiency ($n=2$)
Fig. 5. The efficiency of various ARQ schemes to simulate S-D channel condition when $n=2$.

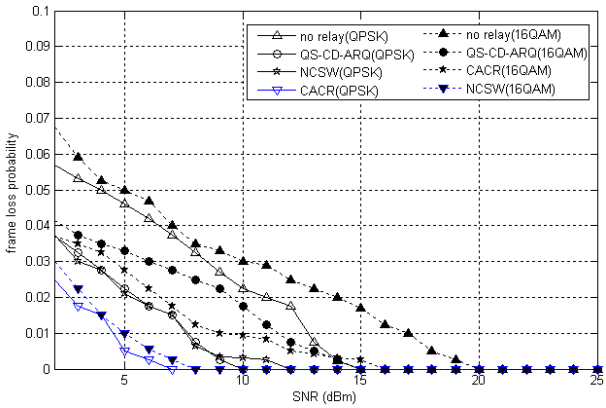


그림 6. S-D 채널 상태에 따른 frame loss probability. ($n=2$)
Fig. 6. Frame loss probability of various ARQ schemes to simulate S-D channel condition when n = 2.

요인으로 작용하기 때문이다.

그림 6은 송신노드의 SNR 값에 따라서 제안된 ARQ 재전송 기법의 frame loss probability를 기존의 기법과 비교하여 나타낸 것이다. 기존의 ARQ 기법과 제안된 기법 모두 SNR이 작아질수록 frame loss probability가 증가하는 것을 볼 수 있다. NCSW, QS-CD-ARQ와 비교했을 때, CACR은 QPSK를 적용하고, SNR이 5dB일 때 0.037만큼 향상된 frame loss probability 값을 가진다. 이 결과는 제안된 CACR 기법이 프레임 별로 협력전송을 위한 R을 선택하기 때문에, 선택된 R이 fading으로 인한 채널상태 악화로 재전송을 실패할 확률이 작아지게 되어 협력통신의 성공률이 증가하기 때문인 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 ad-hoc OFDMA 통신 네트워크에서 cognitive relay가 신호의 SINR을 sensing하여, 수신노드가 feedback 신호를 전송하기 전에 협력전송을 제안하는 cooperative ARQ 재전송 기법을 제안하였다. 제안 방식은 RTS, CTS를 통하여 프레임 별 협력전송을 빠르게 결정하는 한편, adaptive back-off method와 adaptive sensing threshold 결정 알고리듬을 통하여 협력전송의 성공률을 향상시켰다. 또한, 제안된 알고리듬은 오류 프레임을 재전송하기 전에 적합한 relay를 빠르게 선택함으로써 프레임 전송률을 향상시켰다. 모의실험을 통하여 제안한 기법이 프레임 전송시간을 줄이고 프레임 손실률을 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Veluppillai Mahintan, Humphrey Rutagemwa, Jon W.Mark and sherman Shen, "Cross-layer performance study of cooperative diversity system with ARQ," IEEE trans. Veh. Technol., vol.58, no. 2, pp.705-718, Feb., 2009.

[2] Mehrdad Dianati, Xinhua Ling, Kshirasagar Naik, and Sherman Shen, "A node-cooperative ARQ schemes for wireless ad-hoc networks," IEEE trans. Veh. Technol., vol. 55, no. 3, pp.1032-1044, May., 2006.

[3] Josiane Nzouonata, Neeraj Rajgure, Guiling Wang and Cristian Borcea, "VANET Routing on City Roads Using Real-Time Vehicular Traffic Information," IEEE trans. Veh Technol., vol.58, no 7, pp. 3609-3626, Sept., 2009.

[4] Juan J. Alcaraz and Joan Garcia-Haro, "Performance of single-relay cooperative ARQ retransmission strategies," IEEE Commun. Letters, vol. 13, no. 2, pp.121-123, Feb., 2009.

[5] Jonghyun Park, Euiseok Song and Wonjin Sung, "Capacity analysis for distributed antenna systems using cooperative transmission schemes in fading channels," IEEE Trans. Wireless comm., vol. 8, NO. 2, pp.586-592, Feb., 2009.

[6] L. H. Ozarow, S. Shamai, and A. D. Wyner, "Information theoretic considerations for cellular mobile radio," IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 43, no. 2, pp. 359-378, May 1994.

[7] Tannious,R and Nostratinia, A, "Spectrally-efficient relay selection with limited feedback," IEEE J. Selected Areas in Communications, vol. 26, No. 8, pp14, Oct. 2008.

[8] Laneman, J. N, Tse, D. N. C and Wornell, G. W, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. Information Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, 2004.

저 자 소 개

안 미 은(정회원)
2010년 이화여자대학교 전자정보 통신공학전공 학사.
2011년 이화여자대학교 전자공학과 석사 과정

<주관심분야 : Multi-hop Relay Architecture, Cognitive radio, MANET Architecture>

김 낙 명(평생회원)
1980년 서울대학교 전자공학과 학사
1982년 KAIST 석사
1990년 Ph.D. Cornell University

<주관심분야 : Cross-layer optimization, Hybrid Multiple Access, LTE 및 B4G Radio Access, 다자간 채널공유기술, Cognitive Radio Systems, Communication Security, 기상 환경 Wireless Sensor/Actuator Network (W2SAN)>

강 해 린(정회원)
2007년 이화여자대학교 정보통신 공학과 학사
2009년 이화여자대학교 전자정보 통신공학과 석사

<주관심분야 : Resource allocation, Multi-hop Relay Architecture, Cognitive radio>