협력통신에서 도움노드 선정방법에 대한 비교연구

장재신*

A study on helper node selection mechanisms in cooperative communications

Jaeshin Jang*

요 약

협력통신용 MAC 프로토콜은 주파수 자원이 한정된 무선통신망에서 프레임 전송속도를 증가시키는데 매우 중요한 역할을 담당한다. 본 논문에서는 협력통신용 MAC 프로토콜 기법에서 매우 중요한 협력노드를 선정하는 방법에 대하여 연구를 수행하였으며, 선행연구로서 기존에 제안된 도움노드 선정기법들을 컴퓨터 모의실험을 통해 성능평가를 직접 수행하여 성능결과를 서로 비교하였고, 각 기법의 장단점을 분석하였다. 성능평가 척도로는 시스템 처리량을 사용하였으며, 각 통신노드는 IEEE 802.11b 무선 랜 프로토콜을 사용하여 주어진 통신영역 내에서 자유롭게 이동하는 random way point 이동성 모델을 사용하였다.

ABSTRACT

Cooperative communications play a important role in increasing frame transmission rate at wireless communication networks where frequency resource is strictly limited. In this paper, we did a research on how to select the helper nodes that are very import in cooperative communications. As a prelude study in this research field, we carried out performance comparison of three helper node selection schemes using computer simulation. The system throughput was used as the performance measure and the random way point mobility model, where every communicating nodes move around within the designated communication range, was used.

키워드

협력통신, 도움노드, MAC 프로토콜, 시스템 처리량

Key word

Cooperative communications, helper nodes, MAC protocol, system throughput

* 정회원 : 인제대학교 (교신저자, icjoseph@inje.ac.kr)

접수일자 : 2012. 02. 27
심사완료일자 : 2012. 03. 26

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.7.1397

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서 론

무선통신에서는 열악한 채널환경과 한정된 주파수 자원이라는 한계점을 극복하면서 높은 전송속도와 단대단 통신의 신뢰성을 확보하는 것이 달성해야 할 중요한 목표중의 하나이다. 특히 무선채널 환경에서 다중경로 전송에 의해 발생하는 페이딩 현상은 무선 랜 및 이동통신 등 무선채널을 사용하는 통신환경에 악영향을 미친다. 무선통신에서는 채널 페이딩을 극복하기 위해 공간 다이버시티, 시간 다이버시티, 주파수 다이버시티 등과 같은 다이버시티 기법을 사용한다. 이 중에서 특히 공간 다이버시티는 다수 개의 안테나를 사용하여 구성하며, 서로 다른 경로를 통해서 송수신된 신호는 상호 독립이라는 개념에 기반을 두고 있다. 한편 셀룰러 네트워크나 무선 LAN과 같은 무선통신 단말기의 경우와 같이 규모가 매우 작은 휴대용 단말기에 다수 개의 안테나를 설치하는 것은 매우 힘들다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 등장한 기법이 협력통신(cooperative communications)으로 이 기법에서 사용하는 공간 다이버시티 개념을 기존 공간 다이버시티와 구분하여 협력 다이버시티(cooperative diversity)라고 부른다.

협력통신 기법은 송신노드와 수신노드가 조금 멀리 떨어져 있거나 두 통신노드 사이의 채널특성이 일시적으로 나쁜 경우, 송신노드와 수신노드 사이에 위치한 도움노드가 통신에 직접 참여하여 송신노드와 수신노드 사이의 통신환경을 개선하는 것이다[1]. 두 통신노드 사이의 채널특성이 일시적이 아닌 장기적으로 나쁜 경우에는 네트워크 계층에서 통신경로를 다시 설정하여 해결해야 한다. 협력통신 기법을 좀 더 자세하게 설명하기 위해 그림 1과 같은 통신 환경 예를 사용해보자. 즉, 송신노드와 수신노드가 직접 통신할 경우에는 1 Mbps로 송수신이 가능하지만 두 노드의 사이에 위치한 임의의 통신노드가 도움노드로서 참여하면 송신노드와 도움노드, 도움노드와 수신노드 간의 채널 전송속도가 최대 11 Mbps 송수신하는 환경을 고려하자.

이러한 환경에서는 2단계(hop) 통신을 수행하지만 송신노드와 수신노드 사이의 실효 전송속도는 $(1/11+1/11)^{-1}=5.5\ \mathrm{Mbps}$이므로 송신노드와 수신노드가 직접 통신하는 1 Mbps보다 전송속도가 크게 개선됨을 알 수 있다.

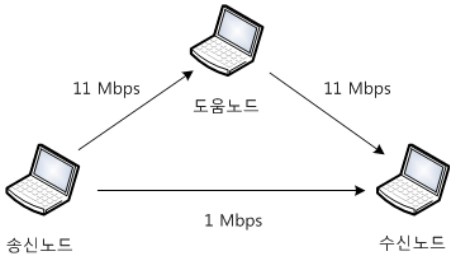

그림 1. 협력통신 기법 예
Fig. 1 Example of a cooperative communication

협력통신 기법에서는 적절한 도움노드를 선정하는 것이 매우 중요하며, 도움노드를 찾는 과정이 너무 복잡하거나 망에 큰 부하를 야기 시키면 전체적으로 시스템 성능 저하를 가져올 수 있기 때문에 효율적인 도움노드 선정방법이 매우 중요한다. 도움노드 선정관련 기존 연구결과들은[5]-[9] 협력통신을 사용하지 않는 기존 무선 랜 기법과 성능비교를 하였을 뿐, 도움노드 선정기법 간 성능비교를 수행하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 도움노드를 선정하는 방법에 대한 선행연구로서, 기존에 제안되어 있는 도움노드 선정방법을 비교 분석하고 각 기법의 장단점을 파악하여 새로운 도움노드 선정방법을 찾는데 필요한 기본 자료를 만들고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 협력통신 기법에서 도움노드를 선정하는 방법과 관련된 연구동향에 대해서 조사하며, III장에서는 II장에 언급된 기법 중 세 가지 기법을 모델링하여 컴퓨터 모의실험을 통해 성능평가를 수행하며, IV장에서는 성능비교 결과를 제시하여 분석한 뒤, V장에서 끝맺는다.

Ⅱ. 관련 연구동향

협력통신 MAC 프로토콜은 상용화되어 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11b[2] 무선 랜 표준에 기반을 두고 연구되었다. IEEE 802.11b 무선 랜 표준은 1, 2, 5.5, 11 Mbps 등 다양한 전송속도를 제공하며, 제어 프레임은 모두 기본 전송속도인 1 Mbps로 전송되고, 데이터 프레임은 송신노드와 수신노드 사이의 무선채널의 상태에 기반을 두고 적절한 전송속도를 선정한다. 채널 전송속도를 송신노드와 수신노드 둘 중 어느 노드에서 결정하느냐에

따라 송신노드 기반 전송속도 선정 방법과 수신노드 기반 전송속도 선정 방법으로 구분할 수 있다. Lucent 사에서 만든 WaveLAN II 무선 랜에서 사용하는 ARF(auto rate fallback)[3] 기법은 송신노드 기반 전송속도 선정 방법에 해당되며 최근에 전송한 데이터 프레임들의 결과에 따라 최적의 채널 전송속도를 송신노드가 결정한다. 한편 RBAR(receiver-based auto rate) 기법[4]은 수신노드 기반 전송속도 선정 방법에 해당하며, 수신노드가 제어 프레임들을 수신하면서 측정한 채널 상태(예를 들면 수신신호 세기) 값을 기반으로 최적의 채널 전송속도를 결정하여 송신노드에게 알려준다.

한편 도움노드를 선정하는 시점에 따라서 사전(proactive) 선정기법과 사후(reactive) 선정기법으로 분류할 수 있다. 즉, 송신노드에서 전송할 데이터 패킷이 발생하였을 때 시점을 기준으로 도움노드가 이미 선정되어 있으면 사전 선정기법에 해당하며, RTS/CTS 프레임 교환과정 이후에 도움노드를 찾는 절차를 시작하면 사후 선정기법에 해당된다. 협력통신에 대한 초기 연구의 대부분은 사전 선정기법을 사용하며, 적절한 도움노드가 이미 선정되어 있다고 보고 송신노드, 도움노드, 그리고 수신노드가 프레임 교환절차를 곧바로 시작하였다. 하지만 사전 선정기법이 복잡하여 망 부하 증가를 야기 시키며, 시간에 따라 채널 특성이 변하는 무선채널에서 사전에 이미 설정해놓은 도움노드가 데이터 프레임을 전송하는 시점에서는 이미 최적 도움노드가 아닐 수 있다는 문제점을 갖는다. 따라서 최근에는 RTS/CTS 프레임 교환 이후에 최적의 도움노드를 찾는 사후 선정기법에 대한 연구가 일부 진행되었다. 사후 선정기법은 사전 선정기법이 안고 있는 문제점을 잘 해결하고 있지만 데이터 프레임을 전송할 때까지 시간이 걸린다는 단점을 갖고 있다. 참고문헌[5]에서 제안한 rDCF 기법은 대표적인 사전 선정기법으로 각 노드는 표에 기반을 둔 리스트를 관리한다. 즉, 각 통신노드들은 다른 노드들이 전송한 제어 프레임들을 모니터링하여 해당 노드와 인접한 다른 노드들 사이의 수신 SNR 값들을 기반으로 willing 리스트를 작성하여 보관하며, 주기적으로 인접노드들과 공유한다. 송신노드에서 전송할 데이터 패킷이 발생하면 willing 리스트 정보를 이용하여 송신노드와 수신노드 사이에 적합한 도움노드를 먼저 선정한 뒤 협력통신을 수행하는 방법이다. 참고문헌[6]에서 제안한 CoopMAC 기법도 rDCF 기법과 매우 유사하며, 도움노드 정보를 사전에 파악하여 갖추고 있어야 한다는 측면에서는 거의유사하다.

한편 참고문헌[7]-[9]에서는 도움노드 사후 선정기법에 관련된 연구결과를 제시하고 있다. 즉, 이전 연구에서의 도움노드 선정방법과 달리 송신노드에서 전송할 패킷이 발생하면 송수신 노드가 주고받은 RTS/CTS 프레임 교환과정 이후 도움노드를 찾는 절차를 시작한다. 먼저 참고문헌[7]에서는 협력통신용 MAC 프로토콜로 CTBTMA (cross layer triple busy tone multiple access) 기법을 제안하였으며, RTS/CTS 핸드세이크 직후후보 도움노드에서 계산한 Utility 함수에 따라 세 가지의 busy 톤을 사용하여 채널경쟁과 도움노드 선정을 수행한다. Utility 함수는 실효 전송속도에 해당하는 값으로 RTS/CTS 프레임을 주고받은 후 후보 도움노드들이 Utility 값의 크기가 클수록 busy tone을 오랫동안 송신하여 최종적으로는 Utility 함수가 가장 큰 도움노드가 RTH(ready to help) 프레임을 전송하여 최종 도움노드로 선정하는 방식이다.

한편 참고문헌[8]에서는 적절한 도움노드 간의 충돌을 줄이기 위해 수신 SNR 값에 기반을 두고 후보 도움노드들을 몇 개의 그룹으로 나누고, 그룹 내에서의 멤버들 간의 충돌을 줄이기 위해 2단계 경쟁을 실시하였다. 두 단계 경쟁을 통해 도움노드들 간의 경쟁은 어느 정도 해결되며, 선정된 도움노드들은 RTH(ready to help) 제어프레임을 송신노드와 수신노드에게 전송한다. 하지만 마지막 단계인 RTH 프레임 전송과정에서도 유사한 조건에 있는 도움노드가 2개 이상이면 충돌이 발생할 수 있기 때문에, 충돌이 발생한 경우에는 K개의 미니 슬롯 중 임의의 한 미니 슬롯에 RTH 프레임을 전송하여 최종 경쟁을 수행한다. 이 마지막 단계에서도 충돌이 발생하면 송신노드는 협력통신 시도를 중단하고 수신노드와 직접 통신을 실시한다. 후보 도움노드들의 그룹 개수와 대부분의 프로토콜 관련 파라미터는 최적화 절차를 통해 최적 값을 도출할 수 있지만 절차가 너무 복잡하여 시간이 많이 소요될 수 있다는 단점을 갖고 있다.

참고문헌[9]에서는 CRBAR(cooperative relay-based auto rate) MAC 기법을 제안하였으며, 이 기법에서는 RTS/CTS 프레임 교환 후 채널 전송속도에 기반을 둔 확률 값을 사용하여 p- persistent 백오프 기법을 사용하여

도움노드 선정 경쟁을 수행한다. 위 연구결과에서는 도움노드를 계산된 확률 값에 따라 p-persistent 기법으로 경쟁하기 때문에 선정된 도움노드가 최적의 도움노드가 아닐 수 있다는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 도움노드 사후 선정기법을 채용하고 있는 참고문헌[7]-[9]에서 제안한 세 가지 기법을 컴퓨터 모의실험을 통해서 성능평가하고 각 결과를 비교분석하고자 한다.

Ⅲ. 시스템 모델링 및 성능평가

본 장에서는 도움노드 사후 선정기법을 사용하고 있는 참고문헌[7]-[9]에서 제안한 세 가지 도움노드 선정기법에 대해서 자세하게 기술한 뒤, 성능평가 환경에 대해서도 기술하고자 한다.

3.1. CTBTMA MAC 기법[7]

CTBTMA MAC 프로토콜은 기존에 애드혹 네트워크용 MAC 프로토콜로 제안되었던 DBTMA (dual busy tone multiple access) 기법을 협력통신에 적용한 것으로 IEEE 802.11 무선 랜 MAC 프로토콜에 기반을 두고 세 가지 busy tone을(BTt, BTr, BTh) 사용하여 채널경쟁과 도움노드 선정을 수행하는 방법이다. 그림 2에 나타낸 프레임 전송과정 예를 사용하여 CTBTMA 기법의 동작을 간단하게 설명한다. 채널 경쟁을 수행하는 절차는 기존 IEEE 802.11 무선 랜과 동일하며, RTS 프레임을 전송한 송신노드는 채널예약을 위해 BTt 톤을 전송한다. RTS 프레임을 수신한 수신노드는 전송준비가 되어 있으면 CTS 프레임을 전송하고 BTt 톤을 송신한다. RTS/CTS 프레임 교환이 끝난 후에 송신노드와 수신노드 사이에 있는 후보 도움노드들은 RTS/CTS 프레임을 토대로 송신노드, 수신노드와 후보 도움노드 사이의 채널 상태를 파악하여 최적의 채널 전송속도를 찾아낸다. 그래서 송신노드와 수신노드가 직접 통신하는 경우와 비교하여 전송시간을 단축시킬 수 있으면 도움노드 경쟁에 참여한다.

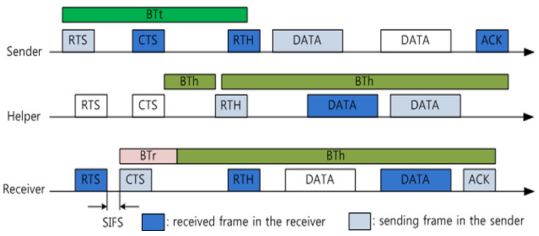

그림 2. CTBTMA 기법의 프레임 전달 예
Fig. 2 Example of frames exchange at CTBTMA

도움노드 경쟁에서는 다음과 같은 Utility 함수를 계산하며, Utility 값이 클수록 BTh 톤을 오랫동안 전송한다.

$$U = W/(T_O + T_P) \quad (1)$$

$$T_P = W/r_{sh} + W/r_{hd} \quad (2)$$

따라서 각 후보 도움노드들은 BTh 톤 전송이 완료되었을 때 다른 노드가 BTh 톤을 계속 전송하고 있으면 경쟁에서 탈락하며, 최종적으로는 Utility 값이 가장 큰 도움노드만 살아남아서 최종 도움노드로 결정되며, 해당 도움노드는 RTH (ready to help) 프레임을 전송하여 도움노드에 최종적으로 선정되었음을 알린다. 따라서 송신노드는 데이터 프레임을 도움노드를 통해서 전송함으로써 실효전송속도를 높일 수 있다. 본 연구에서 구현한 컴퓨터 시뮬레이션 코드에서는 Utility 최젓값과 최댓값 차이를 네 등분한 뒤 각 후보 도움노드의 Utility 값이 속하는 해당 구간에서 BTh 톤이 전송 중인지를 확인하고, 전송 중이지 않으면 해당 슬롯에서 BTh 톤을 전송하며, 해당 슬롯 이전에서 다른 후보 도움노드가 BTh 톤을 전송했으면 도움노드 경쟁을 포기하도록 구현하였다.

3.2. Cross-layer MAC 기법[8]

참고문헌[8]에서 제안한 Cross-layer MAC 프로토콜의 동작을 그림 3에 나타내었다. 해당 기법에서는 RTS/CTS 프레임을 서로 교환한 이후, 도움노드를 통해서 전송하면 실효전송속도를 높일 수 있다고 판단하는 후보 도움노드들은 HI 메시지를 전송한다. 한편 HI메시지를 전송한 후보 도움노드들은 CCTR(composite cooperative trans- mission rate), R_h를 구하여 크기 순서

대로 배열한 뒤, 후보 도움노드를 몇 개의 그룹으로 나누며, CCTR은 다음과 같이 계산한다.

$$R_h = \frac{W}{W/R_{C_1} + W/R_{C_2}} = \frac{R_{C_1} R_{C_2}}{R_{C_1} + R_{C_2}} \quad (3)$$

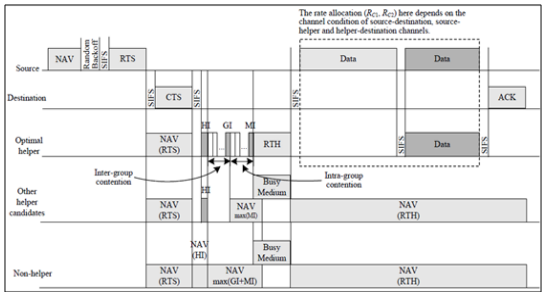

그림 3. Cross-layer MAC 기법의 프레임 전달 예
Fig. 3 Frames exchange at cross-layer MAC

이 기법에서는 2단계 도움노드 경쟁을 실시하는데, 1단계 경쟁에서는 위에서 구분한 그룹간의 경쟁을 실시하며, 2단계 경쟁에서는 선정된 그룹 내에서 후보 도움노드들 간에 경쟁한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 1단계 경쟁은 GI(group indication) 슬롯을 사용하여 수행하며, 2단계 경쟁은 MI(member indication) 슬롯을 사용하여 수행한다. GI 슬롯 경쟁에서는 가장 높은 그룹에 속한 후보 도움노드들이 첫 GI 슬롯에서 GI 신호를 전송한다. 만약 해당 GI 슬롯에서 GI 신호 전송이 없었으면, 다음 그룹에 속하는 후보 도움노드들이 다음 GI 슬롯에서 전송을 시도한다. 만약 첫 GI 슬롯에서 GI 신호 전송이 있으면 한 개 이상의 도움노드가 있다는 것을 의미하며, 이 경우에는 하위 그룹에 있는 도움노드는 도움노드 경쟁을 그만두며, GI 신호를 보냈던 그룹을 대상으로 MI 슬롯에서 도움노드 경쟁을 다시 시작한다. 이렇게 해서 최종 경쟁에서 이긴 도움노드는 RTH 프레임을 전송하여 도움노드로 선정되었음을 알린다. 그러나 만약 최종 선정된 도움노드가 2개 이상일 경우에는 RTH 프레임 충돌이 발생하기 때문에 이를 해결하기 위해 후속되는 K개 미니슬롯 중에서 랜덤하게 선정된 한 개의 미니슬롯을 통해 RTH 프레임을 전송한다. 이렇게 최종적으로 선정된 도움노드를 사용하여 송수신 노드 간 프레임 전송이 완료된다.

3.3. CRBAR 기법[9]

참고문헌[9]에서 제안한 도움노드 선정방법은 그림 4에 나타낸 바와 같이 p-persistent 백오프에 의해 도움노드 선정경쟁을 수행한다.

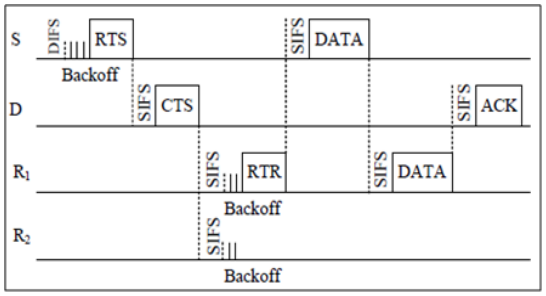

그림 4. CRBAR MAC 기법의 프레임 전달 예
Fig. 4 Example of frames exchange at CRBAR MAC

여기에서 각 후보 도움노드에서 사용하는 확률 값은 다음 식으로 나타내며, 여기에서 δ는 시스템 변수로 시스템 성능과 밀접한 관련이 있다.

$$P_i = \delta/(1/r_{sh} + 1/r_{hd}) \quad (4)$$

Ⅳ. 성능평가 결과

본 논문에서 성능평가 척도로는 시스템 처리량(throughput)을 사용하였으며, 이 값은 컴퓨터 모의실험 시간 동안 성공적으로 전송한 데이터 프레임의 총 길이(bits)를 컴퓨터 모의실험 시간으로 나눈 값으로 정의하였다. 컴퓨터 모의실험은 SMPL 툴을[10]을 사용하여 C++ 언어로 구현하였으며, 성능평가를 위해 사용한 시스템 파라미터를 표 1에 나타내었다.

무선 랜의 MAC 관련 파라미터는 IEEE 802.11b 표준과 동일하게 사용하였으며, 데이터 프레임의 크기는 1024 바이트로 항상 일정하다고 가정하였다. 또한 최대 시스템 처리량을 계산하기 위해 송신노드는 전송할 데이터 프레임을 항상 보유하고 있는 Saturated 트래픽 모델을 가정하였다. 또한 통신영역의 크기는 100m X 100m 정사각형을 가정하였고, 통신영역 내에 모든 통신노드들은 random way point 모델에 따라 독립적으로

움직이는 환경을 고려하였다. 송수신 노드사이의 거리에 따른 전송속도는 표 2와 같다고 가정하였다[5]. 여기에서 송수신 노드 사이의 전송거리는 BER 값이 10^{-5} 이하 값 조건을 만족하도록 선정된 값이다. 통신노드 영역 내에는 송신노드, 도움노드, 수신노드가 존재하며, 데이터 프레임은 송신노드만 전송하며, 해당조건을 만족하는 도움노드는 항상 협력통신에 참여한다고 가정하였다.

표 1. 시스템 파라미터
Table. 1 System parameters

시스템변수	값	시스템변수	값
RTS 크기	160 bits	SIFS	10 μs
CTS 크기	112 bits	DIFS	50 μs
RTH 크기	164 bits	CWmin	32 slots
ACK 크기	112 bits	CWmax	1024 slots
DATA 크기	1024 bytes	Basic rate	1 Mbps
슬롯 시간	20 μs	전송속도	가변
소요시간	1500 초	MAC 헤더	28 bytes
GI(MI)	3(3)	K	4
δ	0.01, 0.02, 0.06		
CRBAR 미니슬롯 수	6		

표 2. 거리에 따른 데이터 전송속도
Table. 2 Transmission rates vs. distance

속도	11Mbps	5.5Mbps	2Mbps	1Mbps
거리	48.2m	67.1m	74.7m	≥100m

그림 5에는 CTBTMA 기법에서 도움노드 개수 변화에 따른 시스템 처리량 변화를 나타내었다. 우선 송신노드 개수가 증가할수록 시스템 처리량 성능이 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 Saturated 트래픽 모델을 사용하였기 때문에 송신노드 개수가 증가할수록 채널경쟁에서 충돌에 의한 재전송 확률이 증가하기 때문이다. 또한 도움노드 개수가 증가할수록 시스템 처리량이 오히려 감소하여 도움노드에 의한 협력통신 이득이 나타나지 않음을 알 수 있다. 이것은 CTBTMA 기법에서 도움노드를 선정할 때 Utility 함수를 사용하는데, Utility 함수가 채널속도 값에 기반을 두고 설정되어 있고, IEEE 802.11b 표준에 따르면 채널속도는 4가지 정해져 있기 때문에 동일한 utility 함수를 갖는 도움노드 끼리는 도움노드 선정과정에서 충돌이 많이 발생하여 협력통신 이득이 감소하고 있음을 보여준다. 하지만 협력통신을 사용하지 않을 경우에는 시스템 처리량이 0.85 Mbps 이하이므로 여전히 협력통신을 사용하는 것이 유리함을 알 수 있다. 어쨌든 본 성능평가 환경에서는 CTBTMA 기법의 경우도움노드 개수가 아주 작을 때(그림 5에서 도움노드 개수가 2개일 때) 시스템 처리량이 최대가 되며 그 이후에서는 계속 감소함을 알 수 있다.

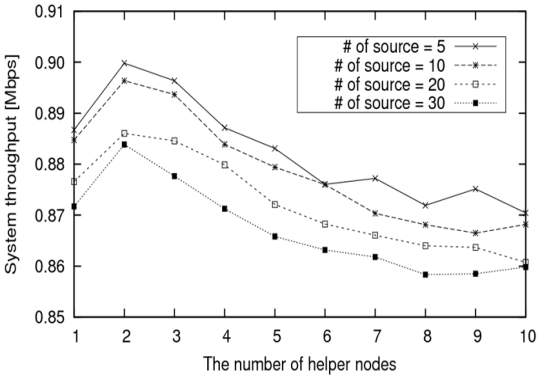

그림 5. CTBTMA 기법의 시스템 처리량 변화
Fig. 5 System throughput for CTBTMA

그림 6은 참고문헌[8]에서 제안한 Cross-layer MAC 기법의 시스템 처리량 변화를 나타낸다. 도움노드가 증가함에 시스템 처리량이 증가하다가 감소하며, 대략 도움노드 개수가 10개에서 20개 사이일 때 시스템 처리량이 최대가 됨을 알 수 있다. 따라서 CTBTMA 기법에 비해 도움노드로부터 더 많은 도움을 받기 때문에 시스템 처리량도 더 큼을 알 수 있다. 이것은 GI 슬롯과 MI 슬롯을 통해 2단계 경쟁을 하는 것은 CTBTMA 기법과 유사하지만 이와 더불어 K개 미니슬롯을 통해 한 번 더 경쟁을 수행하여 최적의 도움노드를 잘 선정하기 때문이다.

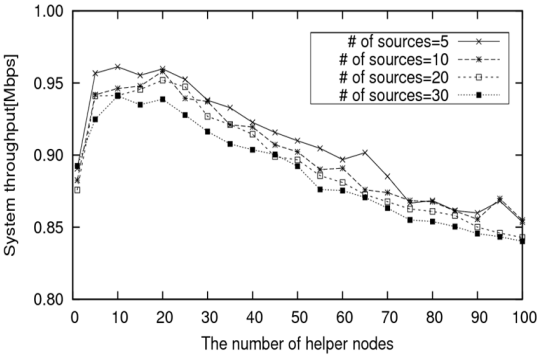

그림 6. Cross-layer MAC 기법의 시스템 처리량 변화
Fig. 6 System throughput for cross-layer MAC

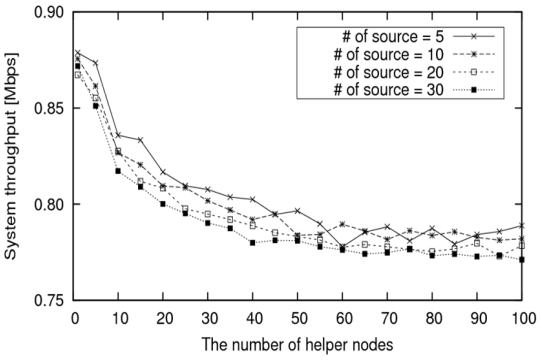

그림 7. CRBAR 기법의 시스템 처리량 변화
Fig. 7 System throughput for CRBAR

그림 7은 참고문헌[9]에서 제안한 CRBAR 기법의 시스템 처리량 변화를($\delta = 0.02$) 나타낸다. 이 기법은 III장에서 설명한 바와 같이 최1적의 도움노드가 선정된다고 보장할 수 없기 때문에 시스템 처리량이 앞의 두 가지 기법과 비교하여 낮음을 알 수 있다. 또한 CRBAR 기법의 동작은 식(4)의 δ값과 매우 밀접한 관련이 있기 때문에 이 값을 잘 설정하는 것이 중요하며, 최적값은 후보 도움노드 개수와도 밀접한 관련이 있기 때문에 프로토콜 운영에서 최적 값을 찾기가 결코 쉬운 문제가 아니다.

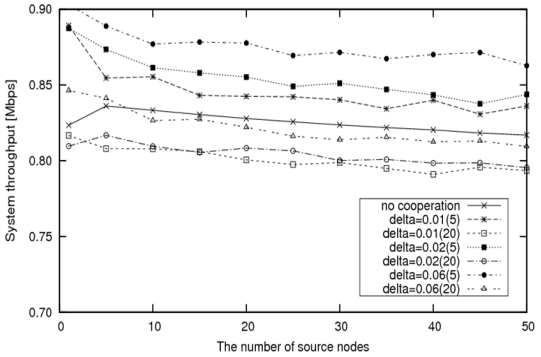

그림 8. δ변화에 따른 시스템 처리량 변화
Fig. 8 System throughput for various δ

그림 8에는 δ값의 변화에 따른 시스템 처리량의 변화를 나타낸다. 앞에서 언급한 바와 같이 CRBAR 기법의 시스템 처리량이 δ값의 변화에 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있다. 그림 8의 범례에서 괄호안의 숫자는 도움노드의 개수를 의미한다. 이 그림에서 나타내듯이 δ값이 너무 작거나 도움노드 수가 너무 크면 협력통신을 사용하지 않고 송수신 노드가 직접 통신하는 경우와 비교하여 시스템 성능이 더 나빠짐을 알 수 있다.

1

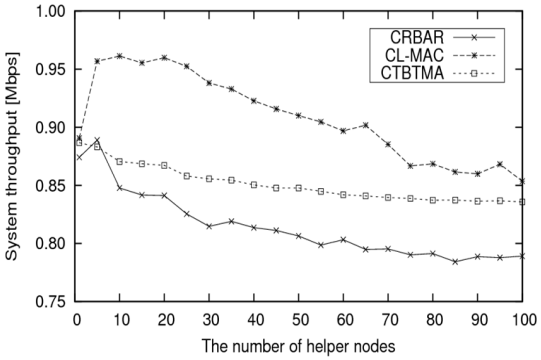

그림 9. 세 가지 기법의 시스템 처리량 비교
Fig. 9 System throughputs comparison for three schemes

그림 9와 그림 10은 도움노드를 선정하는 세 가지 방법의 시스템 처리량을 다른 조건에서 서로 비교한 결과를 나타낸다.

먼저 그림 9에서는 송신노드의 개수가 5인 경우에 대해 도움노드 개수 변화에 따른 시스템 처리량 비교 결과를 나타낸다. 이 비교에서 CRBAR 기법의 경우는 그림 8에서 가장 좋은 결과를 갖는 $\delta = 0.06$으로 설정하였다. 세 기법의 프로토콜 파라미터에 따라 조금 차이가 있기는 하겠지만 Cross-layer 기법, CTBTMA 기법, 그리고 CRBAR 기법 순으로 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 10은 도움노드 개수가 10개인 경우 송신노드 개수의 변화에 따른 시스템 처리량을 서로 비교하여 나타내었다. 세 기법 모두 협력통신을 사용하지 않는 경우보다는 성능이 우수하지만 Cross-layer MAC 기법과 다른 기법간의 성능차이가 꽤 큼을 알 수 있다.

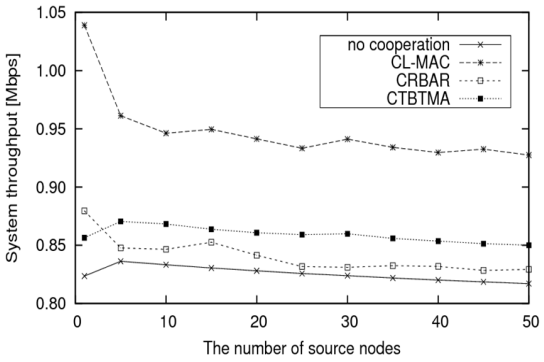

그림 10. 세 가지 기법의 시스템 처리량 비교
Fig. 10 Comparison of system throughputs for three schemes

V. 결 론

본 논문에서는 협력통신 MAC 프로토콜에서 도움노드를 선정하는 방법에 대해 연구하였다. 우선 기초연구로서 기존에 제안된 도움노드 선정방법들 세 가지를 컴퓨터 모의실험을 통해 구현하여 성능평가를 수행하였고, 그 결과 분석을 통해 해당 기법이 안고 있는 장단점을 정확하게 파악하였다.

차후 연구로는 본 연구에서 파악된 자료를 바탕으로 성능이 우수한 새로운 도움노드 선정 기법을 제안하고 성능평가를 수행하는 것이다.

참고문헌

[1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-89, October 2004.

[2] IEEE Std 802.11b-1999, *Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*, September 1999.

[3] A. Kamerman and L. monteban, "WaveLAN II: a high-performance wireless LAN for the un-licensed band," *Bell Labs Tech. J.*, vol. 2, pp. 118-133, 1997.

[4] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," *in Proc. of ACM/IEEE MOBICOM-2001*, Italy, June 2001.

[5] H. Zhu and G. Cao, "rDCF: A relay-enabled medium access control protocol for wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 5, no. 9, pp. 1201-1214, September 2006.

[6] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis, and S. S. Panwar, "CoopMAC: A cooperative MAC for wireless LANs," *IEEE J. of Selected Areas on Commun*, vol. 25, no. 2, pp. 340-353, February 2007.

[7] H. Shan, et. al., "Cross-layer cooperative triple busy tone multiple access for wireless networks," *in Proc. of IEEE GLOBECOM-2008*, pp. 1-5, New Orleans, December 2008.

[8] H. Shan, "Cross-layer cooperative MAC protocol in distributed wireless networks," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol 10, no. 8, pp. 2603-2615, August 2011.

[9] T. Guo, R. Carrasco, "CRBAR: Cooperative relay-based auto-rate MAC for multirate wireless networks", *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 8, no. 12, pp. 5938-47, December 2009.

[10] M. H. MacDougall, *Simulating computer systems: Techniques and tools*, The MIT Press, 1992.

저자소개

장재신(Jaeshin Jang)

1990년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사)
1998년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사)
2002년 ~ 현재 인제대학교 정보통신공학과 부교수
※관심분야 : 이동통신, 애드혹 네트워크, 협력통신