

방향성 안테나에 기반을 둔 애드 hoc 네트워크를 위한 매체 접근 제어 프로토콜

임 화정^o, 허 태성, 차 영환

상지대학교 컴퓨터정보공학부, 인하공업전문대학교 컴퓨터정보공학부, 상지대학교 컴퓨터정보공학부
eastseas@cizeta.sangji.ac.kr^o, tshur@true.inhatc.ac.kr, yhtscha@mail.sangji.ac.kr

A Medium Access Control Protocol for Ad Hoc Networks Based on Directional Antennas

Hwa-Jung Lim^o, Taisung Hur, Yeonghwan Tscha

School of Computer, Information and Communication Engineering, Sangji University

School of Computing and Information Systems, Inha Technical College

School of Computer, Information and Communication Engineering, Sangji University

요 약

본 논문에서는 방향성 안테나를 사용하는 이동 노드들로 구성된 애드 hoc 네트워크에서의 새로운 매체 접근 제어 프로토콜을 제안한다. 고려된 네트워크에서는 단일 채널이 사용되며, 각각의 노드는 하나의 트랜시버와 m 개의 방향성 안테나를 사용하며 특정 안테나를 필요시 on/off할 수 있다고 가정한다.

제안된 프로토콜은 은닉 단말기 문제를 해결하여 서로 다른 노드로부터 동일 노드로 전송되는 사용자 데이터 프레임의 충돌을 방지하는 한편, 노출 단말기 문제를 해결하여 이웃한 노드들이 서로 다른 노드들로 사용자 데이터 프레임을 동시에 전송 또는 수신할 수 있다. 네트워크 이용도에 있어서도 단일 채널 애드 hoc 네트워크의 매체 접근 제어 프로토콜 중 가장 우수한 것으로 알려진 DBTMA보다도 최대 25%정도 향상되었다.

1. 서 론

단일 채널을 공유하는 이동 호스트(노드)들로 구성된 무선 네트워크에서 RTS/CTS의 dialog를 이용하여 은닉 단말기 문제(hidden terminal problem)와 노출 단말기 문제(exposed terminal problem)를 해결하기 위한 매체 접근 제어 프로토콜(media access control protocol)에 관한 수많은 연구들이 진행되어 왔다[1-4, 8]. 대부분의 연구에서는 전방향(omnibus) 안테나를 사용하는 경우를 고려하였으며, 데이터 채널 외에 사용자 데이터의 송수신 상황을 나타내는 제어용 채널을 추가적으로 고려한 DBTMA 프로토콜이 RTS/CTS, MACA 및 FAMA 등의 다른 프로토콜보다 우수함이 밝혀졌다[3].

최근에는 방향성(directional) 안테나를 여러 개 수용하는 노드들로 구성된 애드 hoc 네트워크(ad-hoc network)를 위한 매체 접근 제어 프로토콜이 새로이 제안되었다[6]. 여러 개의 방향성 안테나를 이용하여 융통성 있는 데이터 송수신이 가능함을 보였음에도 불구하고, 사용자 데이터 프레임(frame)의 충돌(collision) 문제를 해결하지 못하여 성능이 악화되는 문제점을 지니고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하는 한편, 은닉 단말기 문제와 노출 단말기 문제를 해결하는 새로운 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜에 의하면 단지 초기의 RTS 프레임이 충돌되지 않는다면 사용자 데이터의 송수신이 충돌 없이 성공적으로 진행될 수 있다. 어떠한 노드도 통신 중에 있는 노드들로의 안테나를 사용하지 않은 한 다른 노드와의 송신 또는 수신이 가능하다. 아울러, 성능분석을 통해 제안된 프로토콜은 DBTMA보다도 더 우수한 것으로 평가되었다.

2. 네트워크 모델

본 논문에서 고려되는 애드 hoc 네트워크 모델은 다음과 같다(다음 조건 4)과 6)외에 참고문헌[6]의 모델에 준함).

- 1) 단일 채널을 사용한다.

- 2) 각각의 노드는 $m(m>1)$ 개의 방향성 안테나를 수용하는 차량 또는 선박 등을 가정한다.
- 3) 각각의 노드는 송신과 수신을 반이중(half-duplex) 형태로 수행하는 트랜시버(transceiver: transmitter + receiver)를 하나씩 갖는다.
- 4) 각각의 노드는 특정 안테나를 필요시 on/off할 수 있으며, off된 안테나로 도착된 신호는 무시된다.
- 5) 각 노드는 on 상태의 안테나들을 통한 broadcast는 물론, 특정한 하나의 안테나를 통한 unicast가 가능하다.
- 6) 하나의 노드에 서로 다른 안테나를 통해 여러 개의 신호가 동시에 도착하면 가장 강한 신호 하나만이 선택된다.
- 7) 하나의 안테나로 여러 개의 신호가 도착되거나, 둘 또는 이상의 노드가 동일 방향의 안테나들을 통해 동시에 전송을 시도하는 경우 충돌이 발생하며, 이때 back-off 알고리즘(예를 들면 [3], [5])에 의해 임의의 지연시간 후 재 시도한다.

이 밖에도 충돌이 없는 경우에는 모든 프레임은 바르게 인식한다고 가정하고, 다른 연구[3]와 마찬가지로 논의의 편의성을 위해 데이터 송수신시에는 거주 셀을 벗어나지 않고, 어떠한 고장도 발생하지 않는다고 가정한다.

3. 제안된 매체 접근 제어 프로토콜

3.1 기본 아이디어

방향성 안테나를 사용하는 기존 프로토콜[6]에서의 문제점은 특정한 하나의 안테나를 통한 unicast형의 DATA 프레임 전송 중에 다른 안테나를 통해 수신되는 신호가 DATA 프레임과 충돌될 수 있다는 것이다. 그런데, 하나의 트랜시버와 단일 채널을 사용하는 노드의 입장에서는 단지 이웃 노드들 중 어느 한 노드와의 데이터 송신 또는 수신 여부가 결정되게 되면 다른 안테나들은 데이터의 송신 또는 수신에 완료될 때까지 모두

off 상태로 하여도 무방하다는 사실이 명백하다. 즉, 트랜시버가 하나이므로 송신 또는 수신 중 어느 한가지만이 각 노드에 대해 가능하며, 이는 방향성 안테나의 수와는 무관하다.

따라서, 제안 프로토콜의 기본적 아이디어는 다음과 같이 요약된다. 먼저, 만일 사용자 정보를 전송하는 경우에는 RTS 전송 시에 사용될 안테나를 제외하고, 다른 안테나들을 모두 off 상태로 하여 다른 노드들로부터 발생되는 신호로부터의 DATA 프레임 충돌 가능성을 배제한다. 마찬가지로, 이웃 노드로부터 RTS를 수신한 경우에는 해당 안테나를 제외한 모든 안테나를 off 상태로 하여 DATA 프레임의 수신 중에 간섭 발생 가능성을 배제하도록 한다.

3.2 프로토콜

사용되는 프레임은 CTS/RTS dialog를 이용하는 다른 프로토콜들과 마찬가지로 CTS, RTS, DATA의 세 가지를 기본적으로 고려한다[2-5].

- 1) RTS(Clear To Send): 사용자 정보를 전송하고자 할 때 수신자 노드에게 이 사실을 알리는 제어 프레임.
- 2) CTS(Clear To Send): RTS에 대응하여 수신가능 여부를 알리는 제어 프레임.
- 3) DATA(Data): 사용자 정보를 포함한 데이터 프레임.

RTS와 CTS는 DATA 프레임 전송에 앞서 사용될 채널을 예약하는 일종의 제어 프레임들이다. 모든 프레임에는 DA (Destination Address), SA (Source Address), FT(Frame Type) 등의 필드가 공통적으로 들어가며, DATA 프레임의 경우 사용자 정보필드를 나타내는 필드와 사용자 정보에 해당하는 payload 필드가 추가적으로 필요하다. 기존 프로토콜에서는 항상 CTS가 broadcast되었으나[6], 제안 프로토콜에서는 모든 프레임이 특정한 하나의 안테나를 통한 unicast도 가능하다.

프로토콜의 동작은 그림 1과 같이 노드의 역할에 따라 송신 노드, 수신 노드, 그리고 송수신 노드들간의 이웃한 노드들로서 교환되는 프레임을 인식하는 수동적 리스너(passive listener) 노드로 구분된다.

초기 IDLE 상태의 송신 노드는 전송할 사용자 정보가 존재하는 경우, 수신 노드방향의 안테나를 통해 RTS를 전송하되 다른 안테나들은 off로 한 후, CTS를 기다리는 W_CTS 상태로 이전한다. 만일 충돌이 발생한 경우에는 back-off 알고리즘을 이용하여 특정 시간동안 대기 후 재 시도한다. 재 시도 횟수가 일정 치에 이르면, 상대방 노드가 다른 노드와 통신 중임을 가정하고 초기 상태로 복귀한다. CTS가 도착한 경우에는 상대방으로 DATA 프레임을 전송하고 이것이 도착되기 위해 소요되는 지연시간만큼 대기한 후에 초기 상태(IDLE)로 복귀하되, off된 모든 안테나들을 on으로 한다.

수신 노드의 경우에는 RTS 도착 방향의 안테나를 제외한 모든 안테나를 off시킨 후, CTS를 전송하고 DATA 프레임을 기다리는 W_DATA 상태로 이전한다. DATA가 도착하면 이를 수신하고 초기상태로 복귀한다. 그리고 off인 모든 안테나를 on으로 전환한다.

수동적 리스너 노드들의 경우에는 송수신자들 사이에 교환되는 RTS 또는 CTS를 수신시 해당 안테나를 DATA 프레임을 주고받기까지 소요되는 시간 동안 off한다. 따라서, 수동적 리스너에 해당되는 노드도 on 상태의 안테나가 존재하는 한 다른 노드와의 송신 또는 수신 기능을 수행할 수 있다.

3.3 은닉 단말기 문제 및 노출 단말기 문제

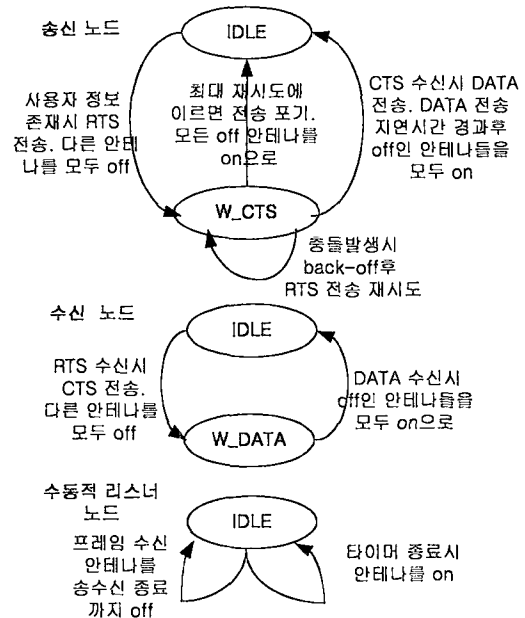


그림 1 프로토콜 동작

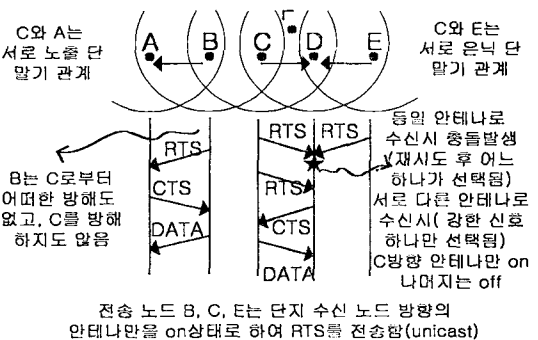


그림 2 프로토콜 동작 예

그림 2와 같이 수신 노드 D에 대해 은닉 단말기 관계인 C와 E를 고려하자. 이들이 D로 RTS 전송을 각기 시도한다면 다음과 같은 두 가지 경우를 고려할 수 있다. 첫째, D의 어느 한 안테나로 RTS가 도착하는 경우이다. 만일 동시에 전송이 있게 되면 충돌이 발생하고 back-off후 어느 하나가 결정된다(그림 2에서는 노드 C). 또한, C와 E중 어느 하나의 RTS가 먼저 도착되는 경우에는 다른 안테나들은 모두 off되므로, RTS를 수신한 안테나를 제외하고는 다른 안테나들로부터는 어떠한 프레임도 수신되지 않는다. 둘째, D의 서로 다른 안테나를 통해 C와 E의 RTS가 각기 도착하면 이들 중 어느 강한 신호 하나만이 선택된다. 따라서 어떠한 경우라든 하나만 선택되고, RTS가 수신된 안테나 외에는 모든 안테나가 off된다. 결론적으로 일단 RTS가 D에 바르게 수신되기만 하면, 프레임들간의 어떠한 충돌도 없이 CTS가 전송되게 되고, 이어서 DATA 프레임도 충돌 없이 전송된다.

한편, 서로 노출 단말기 관계에 있는 B와 C의 경우에는 각각

에 대한 수신 노드 A와 D가 서로 다른 셀에 존재하고, B와 C 사이 상호 방해를 받지 않으므로(B와 C는 unicast형 RTS를 전송하므로) 노출 단말기 문제가 발생할 수 없다. 그리고, C와 D에 대해 수동적 리스너 노드인 F의 경우에는 C와 D사이의 통신이 끝나기까지 C와 D로의 안테나는 off된다. 그러나, C와 D의 다른 노드와의 통신은 여전히 가능하다.

4. 성능 분석

제안 프로토콜에서는 일단 RTS가 충돌 없이 수신 노드에 도착한다면 DATA 프레임의 성공적 전송이 보장되므로 DATA 프레임이 성공적으로 전송될 확률 $P_s = e^{-(\gamma + \tau)(\lambda \rho \pi R^2 - 1)}$ 이 된다. 단, γ 는 RTS의 전송시간, τ 는 지연시간, ρ 는 노드 밀도(nodal density), λ 는 DATA 프레임 도착률(poisson 분포), R 은 셀의 반지름이다.

두 개의 연속된 휴지(idle) 기간 사이에 존재하는 비번(busy) 기간 $B = T_s \cdot P_s + T_j \cdot (1 - P_s)$ 이 되며, T_s 는 DATA 프레임이 성공적으로 전달될 때까지의 소요된 시간, T_j 는 RTS 전송 후 충돌로 인한 대기 시간으로 각기 $T_s = 2\gamma + 3\tau + \delta$, $T_j = \gamma + 2\tau - \frac{(1 - e^{-\lambda \rho \pi R^2})}{\lambda \rho \pi R^2}$ 로 주어지며, δ 는 DATA 프레임 전송시간이다. 따라서, 평균 이용기간 $U = \delta \cdot P_s$ 가 되고, 평균 휴지 기간 $I = 1 / (\lambda \rho \pi R^2)$, 채널의 성능 $S_c = \frac{U}{(B+I)}$ 가 된다.

한편, 셀의 모양은 원래 원의 형태이나 육각형 모양의 다각형에 의한 근사적 성능분석이 간편성과 함께 매우 우수한 근사적 해를 제공하므로[3], 네트워크내의 셀들의 수를 육각형 셀의 수 M 으로 나타내면 $M = \frac{A_{cell}}{2\sqrt{3}R^2}$ (단, A_{cell} 은 셀 크기로 πR^2 ,

$$R' = \frac{R + (\frac{\sqrt{3}}{2} R)}{2}$$

이고[1], 네트워크 전체의 이용도(utilization)

$$S = M \frac{1}{\rho \pi R^2} \cdot \int_0^R 2\pi x \rho S_c dx = M \cdot S_c$$

가 된다.

그림 3은 관련 연구 중 가장 우수한 성능을 나타내는 DBTMA[3]와의 비교를 위해 해당 연구에서 사용된 파라미터들을 사용하여 얻어진 결과이다. 즉, 400개의 노드들이 6x6km의 네트워크에 존재하는 경우 $R=0.5$ 과 1km에 대해, 링크속도는 2.048Kbps, CTS/RTS 프레임의 길이는 48bits, DATA 프레임의 길이 1024bit를 가정하여 얻어진 네트워크 이용도이다. 단, 프로토콜의 처리시간은 무시하였고, 충돌발생에 따른 비성공적 프레임은 수신 노드에서 삭제됨을 가정하였다.

그림에서 offered load는 네트워크 전체에 부과된 트래픽을 나타내며, 이용도는 네트워크 내의 각 셀에서 성공적으로 전송된 DATA 프레임들의 총 수를 나타내므로, 1보다 크게 된다. 일반적으로 제안된 프로토콜은 DBTMA에 비해 최대 25%이내의 향상된 성능을 나타내는데, 이는 DBTMA의 경우 최소한 DATA 프레임용 전송하기 전에 2τ 만큼의 프레임 충돌 가능 시간이 소요되나, 제안 프로토콜은 단지 τ 의 시간만이 소요되기 때문에 DATA 프레임 전송에 앞서 교환되는 RTS-CTS 프레임들의 충돌 가능성이 상대적으로 낮아지기 때문이다. 일반적으로 R 증가함에 따라 약 $\frac{1}{R^2}$ 의 비율로 네트워크의 이용도는 감소되는데, 이는 네트워크내의 셀들의 수가 R 의 증가함에 따라 같은 비율로 감소하기 때문이다. 성능의 최대 관건은 프레임의 길이나 링크속도보다는 셀의 반지름 R 에 가장 많은 영향을 받으며, 이는 링크의 속도가 높을수록 더욱 더 현저하게 나타난다.

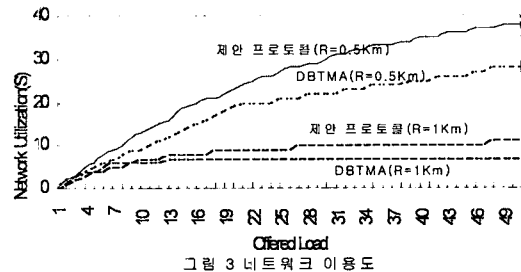


그림 3 네트워크 이용도

5. 결론

본 논문에서는 방향성 안테나를 사용하는 이동 호스트(노드)들로 구성된 애드 hoc 네트워크에서의 새로운 매체 접근 제어 프로토콜을 제안하였다.

제안된 프로토콜에 의해 각각의 노드는 DATA 프레임의 송신, 수신 또는 수동적 리스너(listener) 등 역할에 따라 방향성 안테나들을 on/off 함으로써 은닉 단말기 문제와 노출 단말기 문제를 해결하여, 서로 다른 노드들로부터 특정한 하나의 노드로의 사용자 데이터 프레임 전송시의 충돌 발생 방지와 상호 이웃한 노드들이 서로 다른 노드들의 DATA 프레임 전송 또는 수신이 동시에 가능하다. 단일 채널 애드 hoc 네트워크의 매체 접근 제어 프로토콜 중 가장 우수한 DBTMA보다도 최대 25%의 성능이 향상됨을 확인하였다.

송수신 중의 노드의 이동 및 고장 등을 고려한 세부적인 프로토콜의 설계 및 시뮬레이션을 통한 성능 평가, 그리고 라우팅 프로토콜로의 응용 등에 대한 추후 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] L. Kleinrock and F. Tobagi, "Packet switching in radio channels: Part I - carrier sense multiple-access modes and their throughput-delay characteristics," *IEEE Trans. Commun.*, vol.23, no.12, pp.1417-1433, 1975.
- [2] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A media access protocol for wireless LAN's," *ACM SIGCOMM'94*, pp.212-225, 1994.
- [3] Z. Haas and J. Deng, "Dual busy tone multiple access (DBTMA) - performance evaluation," *IEEE VTC'99*, Houston, TX, May 16-20, 1999 (<http://wnl.ece.cornell.edu/wnlprojects.html>)
- [4] C. Fullmer, J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Solution to hidden terminal problems in wireless networks," *ACM SIGCOMM'97*, pp.39-49, 1997.
- [5] Draft Standard IEEE 802.11, "Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications," 1997.
- [6] Y. Ko, V. Shankarkumar and N. Vaidya, "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks", *IEEE INFOCOM'2000*, March, 2000, pp.13-21.
- [7] Y. Ko and N. Vaidya, "Location-aided routing(LAR) in mobile ad hoc networks", *ACM MOBICOM'98*, October, 1998.
- [8] C. Perkins Ed., *Ad hoc networking*, Addison-Wesley, 2001.