

무선 애드혹 네트워크에서 채널 상태를 고려한 MAC (Medium Access Control) 프로토콜

이승희^o 최진영
고려대학교

{shlee^o, choi}@formal.korea.ac.kr

A MAC protocol based on Channel State Information in Wireless Ad hoc Networks

Song-Hee Lee^o Jin-Young Choi
Korea University

요 약

본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크 환경에서 채널 상태를 고려한 MAC (Medium Access Control) 프로토콜을 제안한다. 수정된 IEEE802.11 표준과 채널 상태 정보에 따라 다음 전송 노드의 집합을 선택하고 이를 토대로 전송 파워를 조절함으로써 더 나은 신뢰성을 제공한다. 제안된 프로토콜은 기존에 연구되어진 프로토콜들과의 분석과 다양한 시나리오에서의 성능 평가를 통해서 그 효율성이 증명되었다.

1. 서 론

IEEE 802.11 표준에서 RTS/CTS/ACK 등의 컨트롤 프레임 이용을 이용한 유니캐스트(unicast)와 달리 그림 1에서처럼 멀티캐스트/브로드캐스트에 대해서는 컨트롤 프레임 사용하지 않음으로써 신뢰성을 보장하지 않는다. 그러나 이러한 one-to-many 통신 기법은 하나의 전송 노드로부터 여러 개의 수신 노드들에게 동시에 데이터를 전송하는 방식이다. 이러한 브로드캐스팅이나 멀티캐스팅은 무선 애드혹 센서 네트워크에서 정보 분배와 같은 애플리케이션에서 사용이 되고 또한 전체 네트워크 정보를 지속적으로 유지하기 위한 기법뿐만 아니라 경로 설정을 위한 라우팅 프로토콜에서도 필수적으로 사용되고 있다[1]. 본 연구에서는 무선 애드혹 센서 네트워크의 환경에서 애플리케이션에서의 보다 신뢰성있는 멀티캐스트/브로드캐스트를 제공하기 위해 링크의 상태를 고려한 신뢰성을 제공하는 MAC (Medium Access Control) 프로토콜을 제안한다.

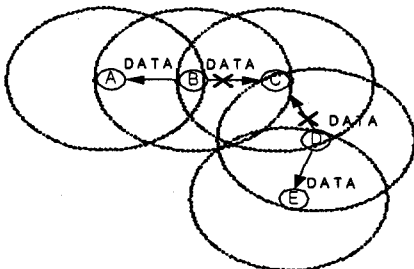


그림 1 IEEE 802.11 표준에서 멀티캐스트/브로드캐스트 문제

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 신뢰성을 제공하는 브로드캐스팅 기법에 대한 관련 연구들에 대해서 논의하고, 3장에서는 제안된 신뢰성을 제공하는 토폴로지 컨트롤 기법에 대해서 상세하게 나타내었으며, 4장에서는 제안된 기법을 분석하고 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 과제에 대해서 논의 하였다.

2. 관련 연구

최근에 MAC 계층에서 CSMA/CA를 수정하여 신뢰성 있는 멀티캐스트를 제공하는 프로토콜에 대한 많은 연구들이 이루어지고 있다. BMW [2]에서는 모든 노드들이 인접 노드의 목록, 전송된 프레임, 수신된 프레임의 시퀀스 번호를 유지한다. 인접 노드의 목록은 RTS/CTS/DATA/ACK/HELLO 프레임을 통해 업데이트되고, 전송의 신뢰성은 이 목록에 달려있으며, 에러에 대한 리커버리가 네트워크에서 노드의 수에 달려있다는 단점이 있다.

BMMM [3] 프로토콜은 hidden terminal 문제를 완화시키고 신뢰성있는 전송을 위해 제안되었다. 이 프로토콜에서 전송 노드는 데이터 전송전에 인접한 모든 노드와 RTS/CST의 교환을 하고 데이터 프레임 전송 후 RAK/ACK 를 통해 전송을 확인함으로써 신뢰성을 제공한다. 즉, 다수의 수신자에게 보내질 하나의 데이터프레임을 위한 다수의 경쟁 (contention phases)을 하나로 줄였다. 그러나 이 프로토콜은 멀티캐스트 전송의 지연이 반복적으로 발생할 수 있다는 단점이 있다.

[4]는 MAC 계층에서 IEEE 802.11 표준을 확장한 신뢰성을 제공하는 멀티캐스트를 위한 기법을 제안하였다. 이 연구에서는 최대 4개의 멀티캐스트 주소를 포함하도록 RTS 프레임을 수정하였으나, 이는 실제적으로 IEEE 802.11 표준에서 MAC 헤더에서 소스 주소, 목적지 주

소, AP (Access Point) 등 네 개의 주소를 포함하는 내용과 같음으로서 프레임 사이즈의 변화는 없다. 또한 멀티캐스트 RTS 프레임에 대한 다수의 CTS 프레임의 충돌을 방지하기 위해서 순차적으로 스케줄링 된 CTS 프레임을 전송하며, DATA 프레임의 신뢰성있는 전송을 위하여 각 노드의 위치 정보를 기억함으로써 전송되지 않은 ACK 프레임에 해당 되는 노드에 DATA 프레임을 재전송하는 기법을 사용했다.

3. 제안된 프로토콜

1. 가정

- 인접한 노드간의 링크는 상호 교환을 갖는다. 같은 채널 이득을 갖는다: 만약 노드 A가 노드 B의 인접노드이면, 노드 B가 노드 A의 인접노드이고, 이들 사이의 채널 이득 (channel gain)은 거의 같다.
- 각 노드는 주기적으로 Hello 메시지를 전송한다.
- 노드들은 전송을 위해 자신의 파워 레벨을 조절할 수 있다.

2. 제안된 프로토콜 (CSR-MAC)

본 논문에서 제안된 채널 상태를 고려한 CSR-MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 표준을 기반으로 수정되었다. 우선 [4]에서 처럼 멀티캐스트 RTS 프레임 (MRTS)에는 최대 4개의 수신 노드들의 주소가 포함되며, 순차적으로 스케줄링된 CTS 프레임 구조를 갖는다. [4]과의 차이점은 본 논문에서는 이러한 MRTS/CTS 프레임이 인접 노드의 채널 상태 정보를 교환함으로써 상호간에 링크 즉 다음 전송 노드들의 집합이 선택되어진다는 점이다. 그리고, 선택되어진 노드들의 집합에 대해 데이터 프레임을 브로드캐스팅 혹은 멀티캐스팅이 이루어지고, 단 한번의 RAK(Request for ACK)/ACK교환을 통해 신뢰성을 제공한다. 일반적인 경우에는 단 한번의 RAK/ACK교환으로 데이터의 신뢰성을 보장할 수 없겠지만, 본 논문에서는 링크의 상태를 고려해서 선택되어진 다음 전송 노드들의 집합을 대상으로 이루어지기 때문에 신뢰성 보장에 영향을 주지않는다. 그림 1은 제안된 CSR-MAC 프로토콜의 시간에 따른 동작에 대한 다이어그램을 보여 주고 있다.

CSR-MAC 프로토콜에서는 채널 상태를 고려한 다음 전송 노드 집합을 선택하기위해서 MRTS/CTS 프레임 교환 과정에서 상호간의 SINR (signal to interference noise ratio) 정보와 채널 이득 (channel gain)을 기반으로 CSI (Channel State Information)를 계산하여 교환하고, 선택된 전송 노드 집합의 데이터 프레임 전송을 위해 각 수신 노드들에서 요구되어지는 전송 파워 정보도 교환된다. 따라서, 채널 상태 정보 (CSI: Channel State Information)와 요구되어지는 전송 파워 정보 계산 및 교환은 그림 1에서의 MRTS/CTS 프레임 교환 중에 이루어지고, 선택되어진 다음 전송 노드 집합에서 데이터 프레임 전송을 위한 파워의 레벨이 결정되며, 데이터 프레임의 확인을 위한 RAK/ACK 프레임을 교환한다.

CSR-MAC에서는 Rayleigh 채널 모델을 기반으로 채널 이득과 SINR을 계산하였다.

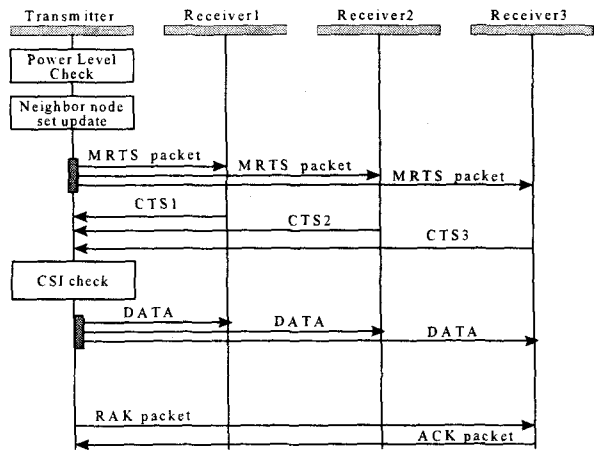


그림 2 CSR-MAC의 시간에 따른 다이어그램

우선 MRTS/CTS 프레임 교환에 포함되는 CSI 필드는 다음과 같이 계산되어진다.

$$CSI_{(i,j)} = W_{(i,j)} \log_2(1 + G_{(i,j)} \cdot SINR_{(i,j)})$$

이 식은 전송노드 i와 인접한 수신노드 j사이의 채널 상태 정보에 대한 값이다. 여기에서 W는 두 노드간의 bandwidth이고 G(i,j)는 두 노드사이의 채널 이득, SINR(i,j)는 두 노드사이의 SINR 값이다. 이 CSI 값은 CTS 프레임의 필드에 포함되어진다. 다음으로 요구되어지는 전송 파워의 레벨은 다음과 같다.

$$P_{desired}^{(i,j)} = \max \left\{ \frac{P_{(i,i)}}{G_{(i,i)}}, \frac{SINR_{(i,j)}}{G_{(i,j)}} \right\}$$

이 식은 수신 노드 j가 송신 노드 i에게 요구되어지는 파워의 레벨을 계산한 값이다. 이 값은 채널 이득에 대한 전송 노드 i의 파워 레벨과 채널 이득에 대한 전송노드 i의 SINR의 값 중에서 큰 값이 선택되어진다. 이 두 필드를 통해 선택되어진 다음 전송 노드의 집합 (N_{set})은 다음과 같다.

$$N_{set}^A = \{CSI_{th} \leq CSI_{(i,j)} \mid j \neq i, j = 1, K, n\}$$

이 계산식은 CSI값의 임계치 기반으로 다음 전송 노드의 집합을 구한 것이고, 다른 방법으로는 CSI값의 상위 순서대로 다음 전송 노드의 집합을 선택할 수도 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 통해 시뮬레이션 되었다. 선택하였다.

CSI 값을 기반으로 선택된 다음 전송 노드 집합에서의 데이터 프레임에 대한 파워 레벨은 다음과 같이 계산되어진다.

$$P_{DATA} = \left[\max \left\{ P_{desired}^{(i,j)}, K, P_{desired}^{(i,n)} \right\} ; i \neq j, j = \{1, K, n\} \in N_{f_{ser}} \right]$$

송신 노드와 수신 노드의 각 관점에서 보여지는 CSR-MAC 프로토콜의 pseudo 코드는 표 1, 2와 같다.

표 1 송신 노드에서의 CSR-MAC 프로토콜

```

Procedure CSR-MAC_at_Transmitter()

Begin
Estimate the number of ready receivers;
/* It is based on the captured beacon */
Send MRTS;
Select a next forwarding node set;
/* It is selected based on CSI fields in CTS */
Determine the power level for transmission;
/* It is the power of node which has the
highest desired power value in the next
forwarding node set. */
Transmit data at determined power level;
Send RAK to a selected receiver;
/* RAK refers to request for ACK */
End
    
```

표 2 수신 노드에서의 CSR-MAC 프로토콜

```

Procedure CSR-MAC_at_Receiver()

Begin
When MRTS intended for the receivers is
received do the following
If (data channel is idle) then
Wait for data;
Set NAV of each CTS for the duration;
If (data begins to arrive before NAV expires)
then
Receive the data;
Else
/* the expire time is out */
wait for data to arrive
When the data transmission is over then do the
following
If (a selected receiver receives a RAK) then
Send ACK and pass it to the higher layer;
End
    
```

4. 프로토콜 분석 및 성능 평가

1. 프로토콜 분석

제안된 프로토콜의 효율성을 분석하기 위해서 경쟁 및 전송도니 프레임 컨트롤의 수와 전송 시간을 분석하였다. 표 3에서는 RTS/CTS 교환에서의 경쟁(contention phase)의 수와 전송되는 프레임 컨트롤의 수와 데이터 프레임 전송 과정을 BMW와 BMMM 프로토콜과 비교하였으며, 함으로써 CSR-MAC 프로토콜의 효율성 분석하고 결과는 표 3과 같다.

표 3 RTS/CTS 교환과 데이터 전송의 분석

Protocol	RTS/CTS phase	Data transfer phase
BMW	$nDIFS+nCW+nDIFS+nRTS+SIFS+CTS$	$SIFS+DATA+nSIFS+nACK$
BMMM	$DIFS+CW+nDIFS+nRTS+nSIFS+nCTS$	$SIFS+DATA+nSIFS+nRTS+nSIFS+nACK$
CSR-MAC	$DIFS+CW+DIFS+MRTS+S+nSIFS+nCTS$	$SIFS+DATA+nSIFS+nACK$

표 4는 각 프로토콜들의 전송 시간을 분석하기 위해 사용된 파라미터이고 결과는 그림 3에 나타난다. CSR-MAC 프로토콜이 비교된 다른 프로토콜에 비해서 수행된 전송 시간이 약 30% 정도 빠른 것을 알 수 있다.

표 4 전송 시간 분석을 위해 사용된 파라미터

Parameter type	Parameter value
SIFS Duration	10 μ s
DIFS Duration	50 μ s
Minimum CW	31 μ s
Maximum CW	1023 μ s
RTS packet	160bits
MRTS packet	304bits
CTS/ACK/RAK packet	112bits
DATA	2KB
Data rate	1 Mbps

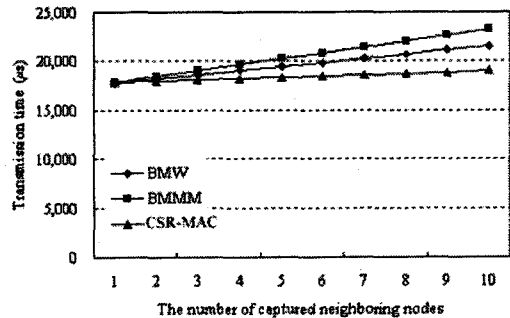


그림 8 캡처된 노드수에 따른 전송 시간

2. 성능 평가

실제적인 성능 평가를 위해 데이터 전송의 신뢰성을 분석하기 위해 packet delivery ratio를 평가하였고 두 가지 모드 (고정 모드와 이동 모드)로 시나리오를 구성하였고, 제안된 프로토콜과 유사한 BMMM [3] 프로토콜과 비교하였다. 이동 모드는 Random waypoint 모델을 따른다. 또한 1000x500 크기에서 각각 20개와 50개의

노드수를 가지고 평가 되었다. 성능 평가를 위해 사용된 표 6 성능 평가에 사용된 파라미터

Parameter type	Parameter value
Data packet size	2 KB
Data rate	5 Mbps
Capture threshold	10 dB
Maximum transmission range	250 m
P_{max}	28.5 dBm
P_{min}	-7.5 dBm

파라미터는 표 5와 같다.

성능 평가에서 packet delivery ratio는 노드들에게 수신 되어져야할 전체 패킷의 수 vs 모든 노드들에게 수신된 전체 패킷의 수로 다음과 같이 정의 되었다.

$$Packet\ Delivery\ Ratio = \frac{No.\ of\ packets\ received}{No.\ of\ packets\ ended}$$

그림 9는 정적 모드에서의 packet delivery ratio에 대한 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 노드의 수가 많아질수록 그리고 전송되어져야할 패킷의 수가 많아질수록 packet delivery ratio가 약간 감소한다. 그러나 제안된 CSR-MAC 프로토콜은 BMMM 프로토콜에 비해서 약 20%정도 성능이 향상됨을 보여준다.

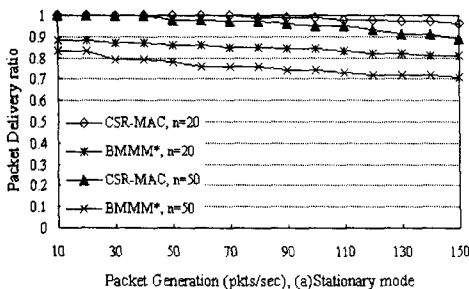


그림 9 정적 모드에서의 packet delivery ratio

그림 10은 이동 모드에서의 packet delivery ratio의 결과를 보여준다. 그림 9와 비교했을 때 CSR-MAC 프로토콜은 전체적으로 대략 18%정도 성능이 저하되었으나 BMMM 프로토콜은 거의 30%정도 성능이 저하되었음을 보여준다. 따라서 제안된 프로토콜은 노드수와 패킷의

수 무선 이동 환경에서도 신뢰성을 보장함을 성능 평가를 통해서 보여주고 있다.

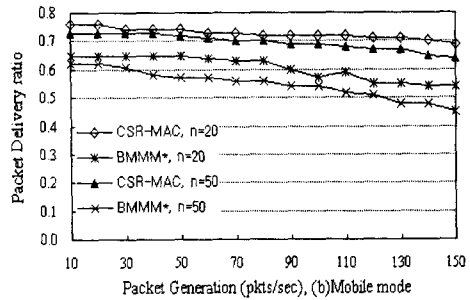


그림 10 이동 모드에서의 packet delivery ratio

4. 결론

본 논문에서는 무선 애드혹 환경에서 채널 상태를 고려함으로써 MAC 계층에서 신뢰성을 보장하는 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 다양한 평가 시나리오에서 성능의 우수성을 보였으며 특히, 무선 환경 뿐만 아니라 이동 환경에서도 신뢰성을 보장함을 성능 평가를 통해서 보여주고 있다. 향후에는 좀 더 실제적인 환경에서의 구현이 필요하다.

참고문헌

- [1] Xiang-Yang Li, Ivan Stojmenovic, Broadcasting and topology control in wireless ad hoc networks, In Proc. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, v.15 n.12, p.1057-1069, December 2004.
- [2] K. Tang and M. Gerla, Random access MAC for efficient broadcast support in ad hoc networks, In Proc. IEEE WCNC 2000, pp. 454-459, sept. 2000.
- [3] M.T. Sun, L. Huang, A. Arora, and T.H.Lai, Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 wireless networks, In Proc. Parallel Processing, Aug, pp. 527-536, 2002.BMMM
- [4] S. Jain and S.R. Das, MAC layer Multicast in wireless multihop networks, In Proc. Comsware 2006.