Ad hoc 네트워크에서 TDMA의 전송성능 향상을 위한 타임슬롯의 동적 할당

김환선° 이병주* 이승형* 최웅철** 정광수*
*광운대학교 전자공학부, ** 광운대학교 컴퓨터과학과
{kingdom,parang}@explore.kw.ac.kr {shrhee,wchoi, kchung}@daisy.kw.ac.kr

Dynamic Time-Slot Allocations for Performance Enhancement of TDMA in Ad hoc Netwokrs

Hwan Sun Kim° Byung Joo Lee* Seung Hyong Rhee* WoongChul Choi** Kwangsue Chung*
*School of Electronics, **Dept. of Computer Science Kwangwoon University

요 약

Mobile ad hoc 환경에서의 TDMA(time division multiple access)는 contention 없이 node 간에 충돌(collision) 없는 전송을 제공하며 동일 주파수대를 시간으로 분할하여 신호가 겹치지 않도록 상호통신을 하는 시분할다중접속 방식이다. TDMA는 충돌 없이 전송할 수 있다는 이점 때문에 Mobile 환경에서 많이 응용하여 사용되어 지고 있다. 하지만 할당 되어진 time slot을 사용하지 않을 경우 대역폭의 낭비가 발생할 수 있다는 문제 점도 가지고 있다. 본 논문에서는 사용하지 않는 time slot의 재사용을 통해서 성능을 향상 시키는 방법을 제안하고 그 것을 Mobile ad hoc 환경에 적용하는 방법에 대해 연구한다.

1. 서 론

TDMA는 유무선 환경뿐만 아니라 여러 응용분야에서 널리 사용되고 있는 매체 접근 방법이다. Mobile ad hoc 환경에서의 TDMA(time division multiple access)는 node 간에 충돌(collision) 없는 전송을 제공하며 동일 주파수대를 시간으로 분할하여 신호가 겹치지 않는 상호통신을 제공하는 시분할다중접속 방식이다. 본 논문에서는 Mobile ad hoc 환경에서 TDMA의 time slot의 재사용을 통한 성능 향상 방법을 기술한다.

Mobile ad hoc 환경에서 TDMA는 시간적으로 분할된 time slot을 각각의 mobile node에 할당하고 할당 받은 node에 의해서만 time slot이 사용되어진다. Network에 많은 node가 존재하고 트래픽이 많을 경우 TDMA는 충돌(collision) 없이 적당한 throughput을 보여준다. 하지만 트래픽이 간헐적 이거나 network에 속해 있으면서 휴면 상태인 node가 많아지게 되면 throughput은 떨어지게 된다. 이러한 점을 개선하기 위해서는 사용되어지지 않는 time slot을 재사용하여야 한다. 이에 대한 몇 가지 종래 기술들이 있다. 그 중 사용하지 않는 time slot 구간을 보낼 데이터가 있는 node들 간에 CSMA/CA 기술을 사용해 경쟁(contention)을 통해 time slot을 재사용하는 방법을 들 수 있다[1]. 이 기술은 충돌 없는 전송을 보장하지 못하며, time slot이 사용 유무를 확인하고 재사용하는 과정에서 hidden node problem 이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 hidden node problem 과 충돌 없는 전송을 보장하며 TDMA의 throughput을 향상 시킬 수 있는 time slot 재사용 방법을 제안한다.

이 후 2장에서는 time slot 재사용 방법에 대해서 설명하고, 3장에서 STDMA를 응용해 Mobile ad hoc 환경에서 개선된 TDMA를 적용하는 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 성능평가를 한다. 마지막 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대해 기술한다.

2. TDMA Time Slot Reuse

TDMA는 동일 주파수대를 시간으로 분할 하여 통신을 하게 된다. Time slot의 수는 network에 node의 수와 동일하게 된다. Network에 참여한 node는 time slot 하나를 할당 받아 사용하게 되고 time slot의 사용 유무에 상관 없이 다른 node에 의해서 침해 받지 않는다. 다른 node의 방해를 받지 않음은 collision free를 보장한다. 본 논문에서는 사용 되어지지 않는 time slot을 collision free를 보장하면서 재사용한 방법을 제안한다.

2.1 Time slot 재사용 방법

Time slot을 재사용하기 위해서 몇 가지 가정을 한다. 모든 node들은 서로 인접한 거리에 위치하여야 하며 time slot의 사용 유무는 time slot 초기에 모든 node들이 carrier sensing을 통해서 확인할 수 있다고 가정한다. 모든 node는 서로 전파범위 안에 위치 하게 됨으로

[1] 본 연구는 과학기술부 과학재단 목적기초연구(R01-2005-10934-0)의 지원으로 수행되었음

hidden node problem이 발생하지 않는다.

이러한 가정 하에서 할당 받은 node가 일정시간(T_b) 동안 전송을 시도 하지 않으면 주변 node들은 그 time slot은 사용 되어지지 않는 것으로 간주하고 time slot을 앞당겨 사용하게 된다. 그림 1(a)는 그 과정을 표현하고 있다. Node A와 Node B가 할당 받은 time slot에 정상적으로 전송을 하고 time slot 3이 되었을 때 할당 받은 Node C가 보낼 데이터가 없어 time slot 3을 사용하지 않는다. T_b 동안 전송하지 않았기 때문에 주변의 모든 node들은 time slot 하나가 당겨졌다는 것을 알게 된다. 그렇게 되면 superframe의 길이가 줄어들게 되는데 그림 1 (b)에서 보여지는 것과 같이 동적으로 time slot의 수가 줄었다 늘었다 하면서 time slot을 재사용하게 된다. 그림 1(b)에서 보여지는 상황은 전체 network에 node의 개수가 4인 경우에서 time slot 3을 할당 받은 node가 time slot 3을 T_b 동안 사용 하지 않았을 때 이웃한 node들이 자신의 time slot 주기를 한 단계 앞당겨 사용함으로써 버려지는 time slot 3을 재사용하고 버려지는 slot 없이 time slot을 연결하여 superframe을 구성하고 있다.

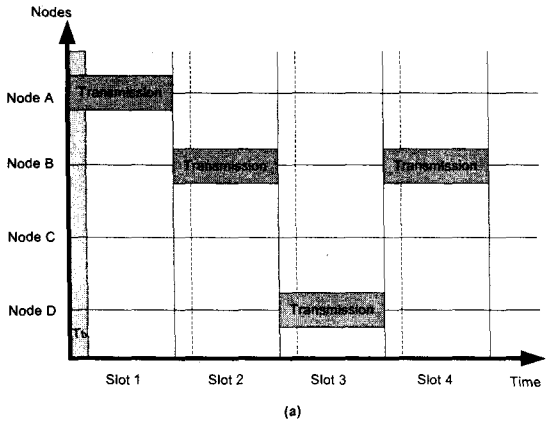

그림 1. (a) Time slot 재사용 방법 (b)Superframe의 구성

2.2 연속된 빈 time slot의 재사용

사용 되어지지 않는 time slot이 연속하여 2개 이상 존재하게 되는 경우가 발생할 수 있다. 처음 사용하지 않는 time slot이 발생하면 T_{b1} 경과 후 사용하지 않음을 알았던 것과 같이 T_{b1} 이후 다시 T_{b2} 동안 모니터링하고 사용유무를 확인하게 된다. 그림 2는 연속된 빈 time slot을 재사용하는 과정을 나타내고 있다. Node C와 Node D가 보낼 데이터가 없어 time slot을 사용하지 않을 경우 두 번의 T_b 이후에 Node A에 의해서 time slot 3이 재사용 되어지고 있다. 연속된 T_b시간의 증가로 인해 time slot의 크기가 작아지게 된다. 이로 인해 time slot이 데이터를 전송할 수 없을 만큼 작아지게 되면 그 time slot은 버려지게 되고 다음 Time Slot을 사용하게 된다. T_b 의 threshold는 time slot의 길이와 T_b 의 크기에 따라서 달라질 수 있다. T_b 의 크기, T_b의 Threshold와 Time Slot의 길이에 대한 값은 4장 시뮬레이션 부분에서 다루도록 하겠다.

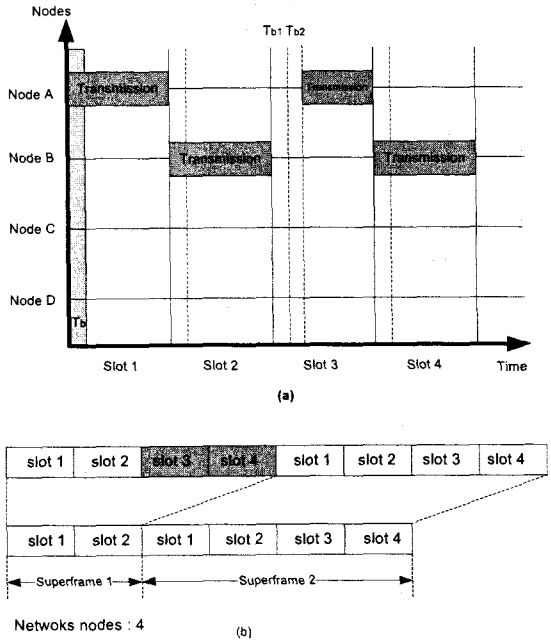

그림 2. (a) 연속된 time slot 재사용 방법 (b)Superframe의 구성

3. Mobile ad hoc 환경에서의 적용

2장에서 제안 된 time slot 재사용에 대한 기술은 여러 가지 제약을 가지고 있다. 이웃 node들이 인접한 거리에 있어야 하며 time slot의 사용 유무를 확인 할 수 있어야 한다. 이러한 제약을 지키면서 mobile ad hoc 환경에 개선된 TDMA를 적용하기 위해서는 위치적으로 인접한 node들에게 인접한 time slot을 할당하거나 하는 특별한 scheduling algorithm[2,3]이 필요하다. 기존에 scheduling algorithm 중 STDMA라는 기술을 있다. STDMA는 node의 위치를 가상의 공간으로 분할하고 분할된 가상의 공간을 기반으로 time slot을 할당하는 scheduling algorithm이다. 위치에 따라 time slot을 할당하기 때문에 time slot을 재사용하는 node들이 인접한

범위에 있어야 한다는 제약 조건을 만족 시킬 수 있다.

3.1. STDMA

STDMA는 그림3에서 보는 것과 같이 Network을 가상의 공간으로 분할하고 각 가상의 공간에 하나의time slot을 할당하는 scheduling 방법이다. 위치를 기반으로 하기 때문에 전체 network에 time slot 1을 할당 받은 node들이 다수 존재 할 수 있고 동시에 데이터를 전송할 수 있다. 이는 한 space frame의 범위를 node의 전파범위와 동일하게 설정하기 때문이다 같은 time slot을 할당 받은 node들은 서로 2hop 거리 밖에 위치하기 때문에 서로 동시에 데이터를 전송하는 데에 영향을 주지 않는다.

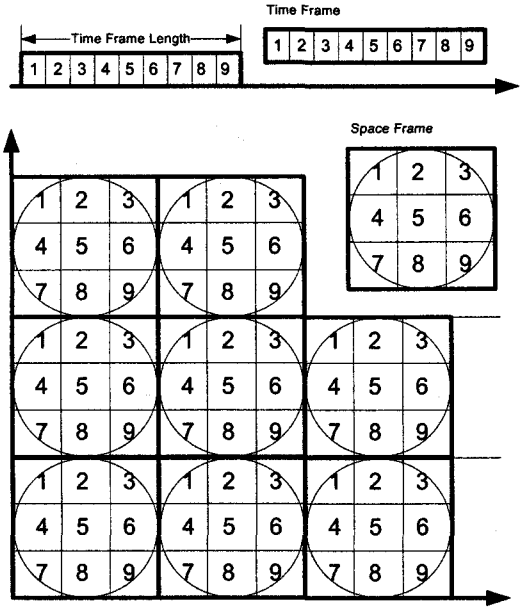

그림 3. STDMA의 superframe 구조

동일 공간에 위치한 node들은 같은 time slot을 할당 받아 서로 일정한 순서에 의해 같은 time slot을 사용하게 된다. 그림 4(a)에서와 같이 각각의 node가 위치하고 9개의 가상의 공간으로 분할 되어 있다고 가정 하면 time slot 5는 4개의 node가 공유하게 된다. 한 time slot을 공유하는 4개의 node는 그림 4(b)에서 보는 것과 같이 scheduling 된다. 최초 Node d가 서비스를 받아 전송을 하고 나서 다음 전송을 하기까지 36개의 time slot을 기다려야 한다.

그림 4(b)에서 보여 지는 것이 각 time slot에 각각의 node가 할당 되어진 모습이다. 그림 4(b)에서 보여지는 것과 같이 time slot 1, 2, 6, 7, 9번은 비여 있는 상태로 서비스 되어진다. 전체 network에 node의 수에 따른 적정한 공간 분할을 통해서 빈 time slot의 수와 node의 delay에 관한 부분은 STDMA에 설명되어 있으며 본 논문에서는 그림 4(c)에 보여지는 것과 같이 인접한 node들 사이에서의 time slot 재사용에 따른 성능향상만을 다루도록 하겠다.

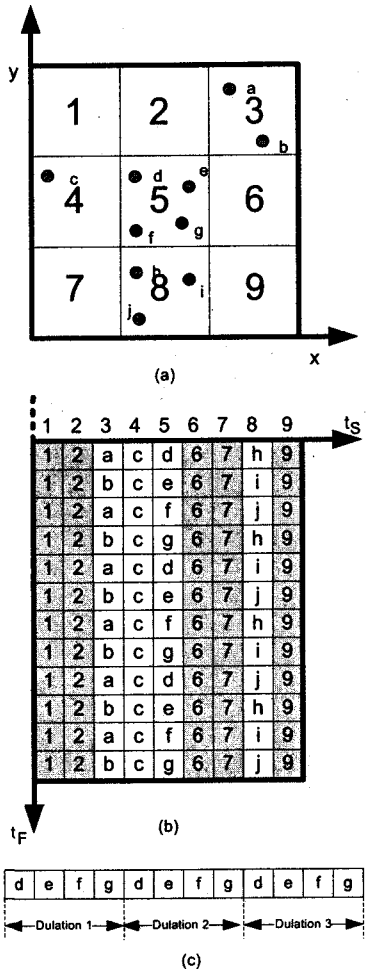

그림 4. (a)topology (b)superframe (c)time slot 5의 Node들

3.2 STDMA에서의 time slot 재사용

STDMA에서는 가상의 공간으로 분할하여 인접한 공간에 있는 node들에게 동일한 time slot을 부여하고 각각의 node들은 일정한 순서에 따라서 데이터를 전송하도록 하고 있다. 여기서 말하는 일정한 순서는 그림 4(c)에서 보여지는 것과 같이 표현할 수 있다. 2장에서 설명한 time slot 재사용 방법을 그림 3(c)에 적용하면 인접한 node들 사이에 사용하지 않는 time slot을 재사용할 수 있게 된다. 그림 5는 그림 4(c)의 Node e가 time slot을 간헐적으로 사용하고 있지 않을 때를 나타낸 것이다. 이렇게 사용하지 않는 time slot을 다음 node들에 의해 재사용 하게 되면 전체 network의 throughput과 delay를 개선할 수 있다. 이 방법은 각 node간에 간헐적인 데이터 전송이 많고 time slot을 할당 받아 사용하지 않는 node의 수가 많은 network에서 더 큰 효과를 거둘 수 있다.

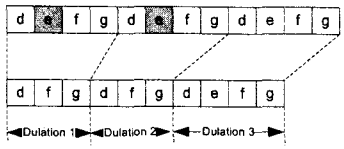

그림 5. STDMA[2]에서 time slot 재사용

4. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 ns2 시뮬레이터를 사용하였다[4]. 버전은 ns2.28 버전을 사용하였고 tdma 프로토콜은 ns2에 구현 되어 있는 mac-tdma에 T_b 시간 동안 데이터 전송이 없을 때 다른 node들이 그 time slot count를 연결하여 사용 할 수 있도록 수정하였다. time slot의 크기는 default 값인 1500byte를 전송할 수 있는 크기를 설정하였으며 T_b threshold 값을 6번으로 제한하였다. 시뮬레이션을 수행한 환경은 다음 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경

Attribute	Value
time slot length	1500 bytes
node 개수	20
Flow 개수	2~10
Traffic 종류	TCP

인접한 20개의 고정된 node를 생성하고 network에 2, 4, 6, 8, 10개의 flow를 증가 시키면서 시뮬레이션을 반복 수행하였다. 결과로 전체 Network에 평균 throughput과 delay를 측정하였으며 기본 TDMA와 비교 분석하였다.

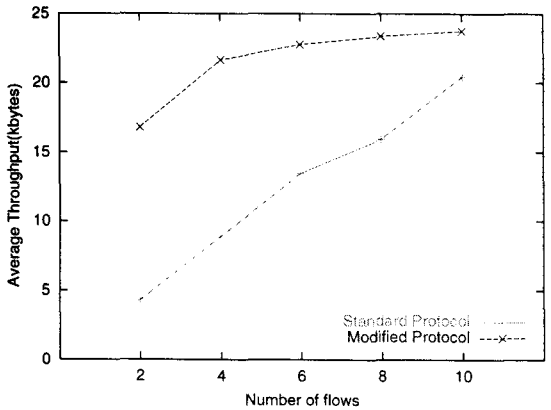

그림 6. Flow개수에 따른 평균 throughput의 변화

그림 6는 flow를 증가 시키면서 평균 throughput을 측정한 결과이다. Standard Protocol은 기존의 TDMA를 의미한다. Flow에 따른 변화가 크게 발생하고 있다. flow의 개수가 증가 하면 전체 traffic이 증가 하기 때문에 평균 throughput은 증가하게 된다. 기존의 TDMA는 flow의 개수가 적을 때 낮은 throughput을 보여주는 반면 본 논문에서 제안된 TDMA는 상당히 높은 throughput을 보여주는 것을 보여준다. Flow의 개수가 늘어나게 되면 안 쓰는 time slot이 줄어 들게 됨으로 제안 된 TDMA의 성능은 기존 TDMA의 성능과 비슷하게 된다.

그림 7은 flow 개수에 따른 평균 Delay를 측정한 결과이다. 기존 TDMA는 할당 받은 time slot만 사용하기 때문에 flow 개수의 증가에 따른 변화가 없다. 반면, 제안된 TDMA는 적은 flow 개수에서 더 좋은 평균 Delay를 보여준다. 이는 flow의 개수가 적을수록 사용 되어지지 않는 time slot의 개수가 증가 하기 때문에 빠르게 전송을 할 수 있는 기회가 증가 하기 때문이다.

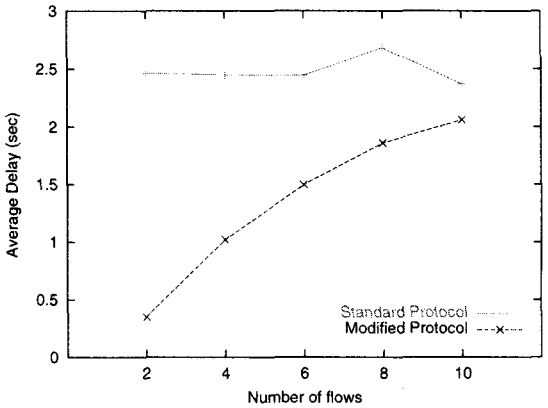

그림 7. flow개수에 따른 평균 Delay의 변화

5. 결 론

본 논문에서는 인접한 node들 사이에 할당 받았으나 사용되지 않는 time slot를 효율적으로 재사용 하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 기존 STDMA와 마찬가지로 node의 위치에 따라서 time slot를 할당 받음으로써 mobile ad hoc network 환경에 적용이 가능하다. 제안된 방법으로 사용되지 않는 time slot를 재사용함으로써 기존 TDMA와 비교하여 throughput과 delay에 많은 이득을 얻을 수 있다.

현재 제안된 방법은 node의 이동이 없는 고정된 환경만을 고려하여 시뮬레이션 하였다. 향후 node의 이동성을 고려한 time slot 재사용 방법에 대한 연구와 보다 효율적인 scheduling 방법에 대한 연구를 할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] B A Sharp, "Hybrid TDMA/CSMA Protocol for Self Managing Packet Radio Networks," *IEEE Trans. Commun., Nov.* 1995.

[2] Amouris K, "Space-time Division Multiple Access (STDMA[2]) and Coordinated, Power-Aware MACA for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE GLOBECOM , 2001.

[3] Ji-Her Ju, "TDMA Scheduling Design of Multihop Packet Radio Networks Based on Latin Squares," IEEE, Aug. 1999.

[4] The CMU Monarch Project, "Wireless and mobile extension to ns," Snapshot Release 1.1.1, Carnegie Mellon University, Aug. 5, 1999.