

트리 구조를 갖는 TDMA 기반 무선 네트워크의 시간 동기화 기법

김요한¹, 김선용¹, 권대훈², 함재현², 임 혁¹

¹광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부
²국방과학연구소

Time Synchronization for TDMA based Wireless Networks with Tree Topology

Yohan Kim¹, Sunyong Kim¹, Daehoon Kwon², Jaehyun Ham², and Hyuk Lim¹

¹Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)
²Agency for Defense Development (ADD)

요 약

TDMA (Time Division Multiple Access) 기반 다중 홉 무선 네트워크에서 노드 간의 시간 동기화가 제대로 유지되지 않을 경우 인접한 패킷 전송 타임 슬롯(time slot) 간 충돌이 발생할 수 있다. GPS 신호나 노드 간의 정보 교환을 통하여 시간 동기화가 유지되는 상황에서도 무선 신호의 전파 지연에 따라 충분한 가드 타임(guard-time)이 주어지지 않으면 패킷 전송 슬롯 간 충돌이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 트리구조를 갖는 다중 홉 무선 네트워크 환경에서 최소 가드 타임으로 인접 타임 슬롯에 간섭을 일으키지 않도록 하는 시간 동기화 기법에 대해 논한다.

I. 서 론

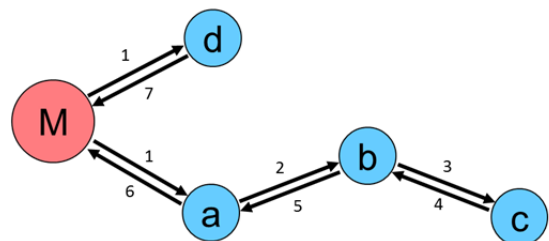
TDMA (Time Division Multiple Access) 기반 다중 홉 무선 네트워크에서는 노드 간 정밀한 시간 동기화가 필요하다. 시간 동기화가 제대로 유지되지 않을 경우 한 타임 슬롯(time slot)에서 전송한 패킷이 인접 타임 슬롯의 전송과 충돌할 수 있다. 시간 동기화 기법에는 GPS 와 같은 시간 동기화 장치를 이용하는 전역적 시간 동기화 기법과 RBS (Reference Broadcast Synchronization)[1], TPSN (Timing-sync Protocol for Sensor Networks)[2], 그리고 FTSP (Flooding Time Synchronization Protocol)[3] 와 같이 노드 간 시간 정보 교환을 활용하는 동기화 기법이 있다. 하지만, GPS 의 경우 GPS 신호가 도달하지 않는 실내 또는 읍영지역에서 사용이 불가능하다. RBS, TPSN, 그리고 FTSP 의 경우 대규모 네트워크 적용되었을 때 멀리 떨어진 노드 간 시간 오차가 클 수 있으며, 시간 정보의 교환으로 인한 데이터 전송 오버헤드가 크다.

일반적으로 TDMA 네트워크에서 각 전송 타임 슬롯은 패킷 전송에 필요한 슬롯과 패킷 전송 슬롯 간 충돌을 방지하기 위한 가드 타임(guard-time)으로 이루어진다. 정밀한 시간 동기화가 가능한 상황에서는 가드 타임을 시스템의 통신 반경을 고려한 최대 전파 지연(propagation delay)으로 설정한다. 만약 시간 동기화가 제대로 유지되지 않는 경우에는 타임 슬롯 간 충돌을 방지하기 위하여 오차 범위를 고려하여 가드 타임을 충분히 길게 잡아야 한다. 특히 다중 홉 네트워크와 같이 시간 동기 오차가 누적될 수 있는 무선 네트워크 환경에서는 오차가 홉 수에 비례하기 때문에 가드 타임을 충분히 크게 잡아야 한다.

본 논문은 다중 홉 무선 네트워크 환경에서 최소 가드 타임으로 인접 타임 슬롯에 간섭을 일으키지 않도록 하는 시간 동기화 기법을 제안한다.

II. 다중 홉 무선 네트워크 시스템 환경

본 논문에서는 그림 1 과 같이 마스터 노드와 다수의 노드들로 이루어진 TDMA 기반 다중 홉 무선 네트워크 환경을 고려하였다. 각 노드 간 동일한 거리를 가정하였고, 최대 홉 수는 3 홉으로 제한하였다. 마스터 노드는 다운 링크 슬롯을 통해 라우팅 토폴로지 및 노드의 슬롯 할당을 위한 데이터를 브로드 캐스팅(broadcasting)하며, 각 노드들은 업 링크 슬롯을 통해 자신이 수집한 데이터와 하위 노드로부터 전달받은 데이터를 마스터 노드로 전송한다. 그림 1 의 표는 TDMA 프레임의 타임 슬롯 할당을 나타낸 것으로, 각 행은 해당 타임 슬롯에 전송하는 데이터와 사용되는 링크이다. 마스터 노드가 첫번째 슬롯에서 a 와 d 노드에게 다운 링크 데이터 D_M 을 전송하고, 두번째 슬롯에서 a 노드가 b 에게 데이터 D_M 을 전송하여 차례로 c 까지 다운 링크 전송이 이뤄진다. 이후 c 가 b 에게 업 링크 데이터 D_c 를 전송하며, b 노드는 자신의 데이터 D_b 와 D_c 를 차례로 a 노드에게 전달한다.



Data	D_M	D_M	D_M	D_c	D_b	D_c	D_a	D_b	D_c	D_d	...
Link	M ↓ a,d	a ↓ b	b ↓ c	c ↓ b	b ↓ a	b ↓ a	a ↓ M	a ↓ M	a ↓ M	d ↓ M	...

그림 1. 다중 홉 네트워크 TDMA 슬롯 할당

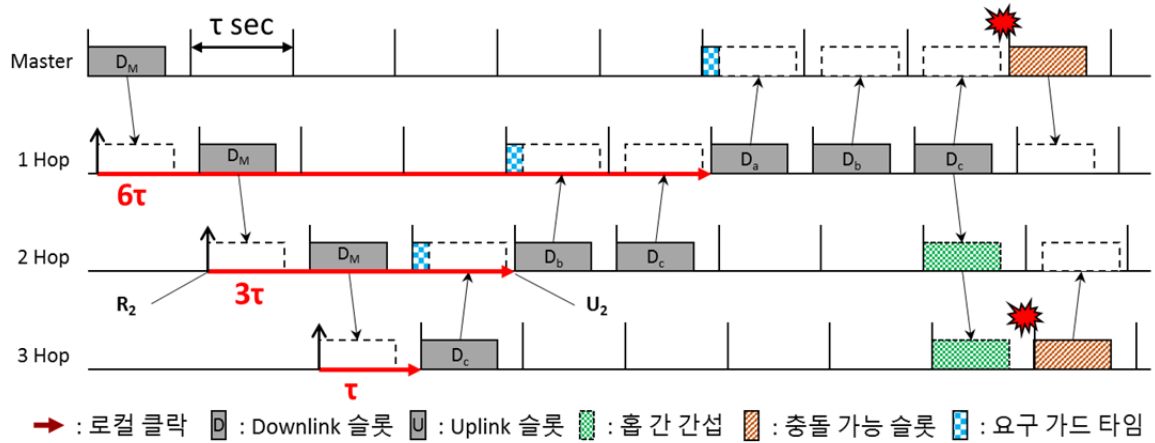


그림 2. 다중 홉 TDMA 네트워크에서의 시간 동기화 기법

III. 제안하는 시간 동기화 기법

제안하는 로컬 클락 기반 동기화 기법은 트리 구조를 갖는 다중 홉 무선 네트워크에서 각 노드는 트리 구조내의 상위 노드로부터의 다운 링크 트래픽 발생시 매번 자신의 로컬 시간을 업데이트하고 이를 기준으로 자신이 전송해야 하는 데이터를 전송한다. 그림 2 는 마스터 노드로부터 3 홉 떨어진 노드까지를 고려한 로컬 클락 기반 시간 동기화 기법의 예를 보여준다. 각 노드는 마스터 노드로부터 다운 링크 데이터를 전달받아 라우팅 경로와 할당 슬롯 및 마스터 노드로부터 자신까지의 홉 수 정보를 갱신한다. 이때, 각 노드는 상위 노드로부터 다운 링크 데이터를 수신한 시점을 자신의 데이터 전송을 위한 기준 시점 R_h 로 정하여 클락을 갱신하며, 할당받은 슬롯 및 자신의 홉 수에 따라 업 링크 데이터 전송 시점 U_h 를 결정한다. 이는 다음과 같이 간단히 식으로 나타낼 수 있다.

$$U_h = R_h + (n - h) \cdot \tau \quad (1)$$

위 식에서 τ 는 한 타임 슬롯에 대한 전송 시간이며 n 은 각 노드가 할당받은 슬롯의 시작 번호, h 는 마스터 노드로부터 각 노드까지의 홉 수이다. 예를 들어, 그림 2 에서 마스터 노드로부터 2 홉 떨어진 노드의 할당 슬롯은 5, 6 번 슬롯이다. 따라서, 슬롯의 시작 번호는 5 이므로, 2 홉 노드는 다운 링크 패킷을 수신한 기준 시점 R_2 로부터 3τ 떨어진 U_2 에 2 개의 업 링크 슬롯을 할당 받아 수집한 데이터를 전송한다.

TDMA 기반 네트워크 환경에서 노드 간 정확한 시간 동기화가 이루어졌을 경우에는 가드 타임을 시스템의 통신 반경을 고려한 최대 전파 지연으로 하는 것이 일반적이다. 하지만, 다중 홉 네트워크는 시간 동기 오차가 누적되어 각 노드의 패킷 전송 슬롯과 인접 노드의 패킷 전송 슬롯 간에 충돌이 발생할 수 있으므로 무선 신호의 간섭 환경에 비례하여 요구되는 가드 타임이 증가한다.

그림 2 는 가드 타임이 충분하지 않아 패킷이 충돌하는 경우를 보여준다. 제안된 시간 동기화 방식의 경우, 가드 타임은 각 노드가 트리 상의 바로 위 노드와의 왕복 전파 시간만을 고려하면 되므로, 마스터 노드로부터의 홉 수가 증가함에 상관없이 가드 타임이 1-홉 패킷 전파 지연의 2 배 보다 크면 충돌이 발생하지 않는다. 반면, 첫째 홉 노드가 마스터로 데이터를 전송할 때 가드 타임이 1-홉 패킷 전파 지연 시간의 2 배 보다 작게 되면 충돌이 발생하게 된다. 또한, 그림 2 에서 볼 수 있는 바와 같이, 첫째 홉에서 전송된 패킷이 둘째, 셋째

홉의 전송에 간섭을 일으킬 수 있다. 하지만, 제안하는 시간 동기화 기법은 하위 홉으로 내려갈수록 노드의 로컬 클락이 전파 지연과 동일한 시간만큼 지연된다. 따라서 제안하는 시간 동기화 기법을 적용하면, 다중 홉 무선 네트워크에서 무선 신호의 간섭 거리가 증가하여도 이에 대한 가드 타임을 늘려줄 필요가 없다.

제안하는 시간 동기화 기법은 트리 구조의 다중 홉 무선 네트워크에서 시간 동기화를 위한 별도의 시간 정보 교환이 없는 방식이며, 가드 타임을 1-홉 패킷 전파 지연의 2 배로 제한 할 수 있는 특성을 갖는다.

IV. 결론

본 논문에서는 TDMA 기반 다중 홉 무선 네트워크에서 타임 슬롯 간 가드 타임을 효과적으로 할당하기 위한 로컬 클락 기반 시간 동기화 기법을 제안하였다. 제안하는 시간 동기화 기법을 이용하면 시간 동기화를 위한 복잡도나 정보교환을 위한 데이터 전송 없이 가드 타임을 줄일 수 있어서 효율적인 TDMA 기반 다중 홉 무선 네트워크의 구성이 가능해진다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 국방과학연구소의 “그룹 무인로봇체계용 위치기반 전술 MANET 통신/제어 S/W 개발” 과제의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Jeremy Elson, Lewis Girod, and Deborah Estrin. “Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts,” ACM SIGOPS Operating Systems Review, pp. 147-163, 2002.
- [2] Saurabh Ganeriwal, Ram Kumar, and Mani B. Srivastava. “Timing-sync protocol for sensor networks,” International conference on Embedded networked sensor systems. ACM, pp. 138-149, 2003.
- [3] Miklós Maróti, et al. “The flooding time synchronization protocol,” International conference on Embedded networked sensor systems. ACM, pp. 39-49, 2004.