

무선 저속 PAN에서 연속된 충돌 회피를 위한 그룹 노드 경쟁 알고리즘

준회원 이주현*, 정회원 유상조**

Group Node Contention Algorithm for Avoiding Continuous Collisions in LR-WPAN

Ju-Hyun Lee* Associate Member, Sang-Jo Yoo** Regular Member

요 약

본 논문에서는 충돌이 잦은 무선 저속 Personal Area Network에서 펄스(pulse) 신호를 이용한 효율적인 그룹 폴링 알고리즘을 제안한다. 현재 IEEE 802.15.4 (LR-WPAN) 표준은 저속, 저가, 저 전력 소모를 목표로 한다. 하지만, 최근 LR-WPAN (Low Rate Wireless PAN)의 응용범위가 확대되고 이에 따라 잦은 충돌이 발생하는 상황 또한 늘어나고 있다. 여기서 충돌의 대부분은 '히든노드 문제'로 인하여 발생되고 이는 CSMA/CA 만으로 해결하기 어렵고 연속해서 일어날 경우 네트워크 성능을 크게 저하 시킨다. 또한, 현재 히든노드 충돌에 관한 대부분의 연구는 연속된 충돌이 잦은 상황에서 많은 채널 낭비를 유발한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 잦은 충돌 상황이 발생하였을 때 이미 그룹핑 되어 있는 PAN을 전제로 펄스신호를 이용하여 각 그룹에게 채널 할당과 순서를 정해주고 할당 받은 그룹의 노드들만 경쟁 시킨다. 이에 따라 데이터를 보내기 위해 경쟁하는 노드의 수가 현저히 줄어 연속된 충돌을 줄이고, 충돌로 인한 채널낭비와 낮은 데이터 전송률이 보다 향상되어, 잦은 충돌로 인한 네트워크의 손상을 막는다. 이러한 성능 향상을 NS-2 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

Key Words : IEEE 802.15.4, grouping mechanism, contended collision, hidden node collision, SDTR

ABSTRACT

In this paper, we proposed an efficient algorithm using pulse signal based on group-node-contention in LR-WPAN. The purpose of IEEE 802.15.4 is low speed, low cost and low power consumption. Recently, as applications of LR-WPAN have been extended, there is a strong probability of collision as well and almost collision occurs because of hidden node problem. Moreover, if the collision continuously occurs due to hidden node collision, network performance could be decreased. Nowadays, although several papers focus on the hidden node collision, algorithms waste the channel resource if continuous collisions frequently occur. In this paper, we assume that PAN has been already formed groups, and by using pulse signal, coordinator allocates channel and orders, and then, nodes in the allocated group can compete each other. Hence, contention nodes are reduced significantly, channel wastage caused by collision is decreased, and data transmission rate is improving. Finally, this algorithm can protect the network from disruption caused by frequent collisions. Simulation shows that this algorithm can improve the performance.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥연구원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-C1090-0801-0019).

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망 연구실 (stht01@naver.com)

** 인하대학교 정보통신대학원 교수 (sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-07-316, 접수일자 : 2008년 7월 15일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 3일

I. 서 론

최근 기술 집약형 모바일 핸드폰, PDA, MP3, 정보통신 가전 등과 같이 인터넷 연결이 가능한 작고 값싼 장치들의 성장이 급속히 이루어지고 있다. 만약 작고 값싼 장치들 간 혹은 다른 장치와 통신하는 것이 가능하다면, 기존의 단순 통화만을 제공하는 통신에서 상당히 확대된 개념의 통신 시스템 기술로의 진화로 볼 수 있다. 이와 같이 좁은 범위에서 장치 간 연결 문제는 유선케이블들을 사용하여 해결할 수 있지만, 대부분의 유선케이블은 장치 이동에 있어서 제한될 뿐만 아니라 자유로운 모바일환경 관점에서 볼 때 방해가 된다. 따라서 케이블을 대신할 수 있는 새로운 무선통신기술이 필요하게 되었으며, 이러한 연결기술을 통상 무선 근거리무선통신 기술, WPAN이라 부른다.^[1] 그중에서 IEEE 802.15.4 (LR-WPAN)는 다른 근거리무선통신과는 달리 저속 데이터와 저 전력 그리고 저가의 특성을 갖는 장치들을 위해 채택된 표준이다.^[2] 이 장치들은 소규모 네트워크를 구성하여 홈 컨트롤, 유선 케이블 대체, 산업 자동화, 센서 네트워크 등에 응용되고 있고 그 범위가 점차 확대 되어 가고 있다.^[3]

현재 IEEE 802.15.4 표준은 비콘(beacon) 비활성 모드와 비콘 활성 모드가 있다. 비콘 활성 모드는 PAN 코디네이터가 슈퍼프레임을 디자인하여 사용하고 이를 유지하기 위해 비콘 메시지를 사용한다. 또한 IEEE 802.15.4 표준은 충돌을 회피하기 위해 IEEE 802.11의 CSMA/CA^[4]를 저속, 저가, 저 전력이라는 목적에 맞게 수정하여 채택 했다. 따라서 IEEE 802.15.4 표준에서는 충돌을 피하기 위해 두 번의 clear channel assessment (CCA) 동작으로 채널을 센싱하고 만약 채널 센싱 후 채널이 사용되지 않는다는 것을 인식하면 데이터를 전송 하고 반대로 채널이 사용되고 있다면 백오프 메커니즘을 통해 충돌을 피하고 있다. 하지만 통신 가능한 거리에 있는 두 노드가 동시에 CCA를 동작하여 데이터를 전송하게 되면 충돌이 일어나게 되고, 또한 두 노드가 통신이 가능하지 않은 거리에 있다면 CCA를 실행하더라도 서로 채널의 사용 유무를 알 수 없으므로 충돌이 일어난다. 본 논문에서는 첫 번째 충돌 상황을 '경쟁 충돌' (contended collision) 이라고 명명하고 두 번째 충돌 상황을 '히든노드 충돌' (hidden node collision)이라고 명명한다. LR-WPAN은 저가와 저 전력의 목표를 두기 때문에 IEEE 802.11에서 충돌을 줄이기 위해 사용하는 request to

send/ clear to send (RTS/CTS)와 같은 메커니즘을 사용하지 않는다.^[5] 하지만, 저속인 LR-WPAN에서도 위에서 언급한 두 가지 충돌이 빈번히 일어나는 상황이 존재하기 때문에 네트워크에 심각한 피해를 줄 수 있다.^[6] 따라서 LR-WPAN에도 IEEE 802.11의 RTS/CTS와 같이 충돌을 줄이는 메커니즘이 필요하다. 현재 이 두 가지 충돌을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행 되고 있고 특히 히든노드 충돌을 제거하기 위한 연구가 참고문헌 [6]과 [7]에서 다루어졌다. 하지만 데이터 전송률이 높아져 히든노드 충돌이 빈번하게 발생하였을 때 두 논문에서 제안한 방법은 채널 낭비가 심하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 그룹 간 패킷충돌 회피를 위한 그룹폴링(polling) 알고리즘을 제안한다. 또한 본 논문에서는 노드들의 움직임은 없다고 가정한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 참고문헌 [7]에서 제안한 그룹핑 방법을 통해 PAN이 5개의 그룹으로 그룹핑 되어 있다고 가정하고 데이터 성공률이 첫 번째 경계 값 이하로 낮아지면 시작된다. 또한 슈퍼프레임 구조를 변경하여 각 그룹의 노드들만 경쟁하는 구간을 만들어주고, 각 그룹의 노드들은 펄스 신호를 통해서 데이터의 유무를 코디네이터(coordinator)에게 알려준다. 코디네이터는 이 펄스 신호를 기초로 각 그룹에 채널을 할당해주고, 채널을 할당 받은 그룹의 노드들은 그 안에서 경쟁하여 데이터를 전송하기 때문에 히든노드 충돌이 없는 상황에서 경쟁 하게 된다. 이런 동작으로 인해 연속된 충돌 상황이 극복 되고 데이터 성공률이 두 번째 경계 값이 이상이 되면, 네트워크는 다시 IEEE 802.15.4 표준의 CSMA/CA 방식으로 돌아가게 된다. 따라서 제안한 알고리즘은 연속된 충돌로 인한 채널 낭비와 네트워크 손상을 막는 기대효과가 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 IEEE 802.15.4 표준의 MAC 및 관련연구에 대해 살펴보고, 제 III장에서는 그룹 간 충돌 회피를 위한 그룹폴링 알고리즘의 세부 단계별 과정을 전반적으로 다루며 제 IV장에서는 NS-2 시뮬레이션을 통해 제안한 방법을 기존의 IEEE 802.15.4 표준과 비교 및 평가 하고 마지막으로 제 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.15.4 표준의 MAC 및 관련 연구

본 장에서는 IEEE 802.15.4 표준의 MAC 프로

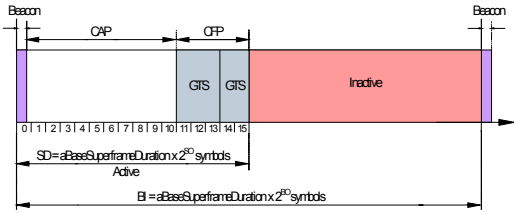


그림 1. IEEE 802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조

토콜을 설명하고, 히든노드 충돌과 히든노드 충돌에 따른 연속충돌을 해결하기 위한 기존의 연구들을 소개한다.

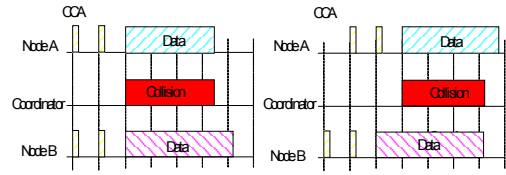
2.1 IEEE 802.15.4 표준의 MAC

비콘 활성화 모드에서는 데이터 송수신을 위해 그림 1과 같은 슈퍼프레임 구조를 사용한다. 그림 1은 두 개의 디바이스(device)에게 guaranteed time slot (GTS)를 3개, 2개씩 각각 할당 하고 inactive 구간이 포함된 슈퍼 프레임 구조의 한 예이다. 모든 디바이스들은 매 비콘 때마다 전송할 데이터의 유무에 관계없이 항상 active 상태로 유지하면서 동기를 맞춰야 한다. 한 슈퍼 프레임은 beacon order (BO)값과 superframe order (SO)값에 의해 superframe duration (SD)구간과 beacon interval (BI)구간을 정하게 된다.^[8]

슈퍼프레임 구조는 크게 active 구간과 inactive 구간으로 나누어지고, active 구간은 다시 contention access period (CAP)구간과 contention free period (CFP)구간으로 나누어진다. Active 구간은 SD 구간이라고도 하며, BI 구간의 크기와 상관없이 항상 16(0~15) 개의 슬롯으로 나누어진다. CAP 구간에서는 Slotted CSMA/CA 방식을 통해서 데이터를 직접 주고받을 수 있고, CFP 구간은 GTS 구간이라고도 하며 주기적인 데이터 전송이 필요한 경우 CAP 구간에서 미리 요청하고 다음 비콘을 통해서 코디네이터가 요청한 디바이스에게 직접 할당해 준다. CAP 와 CFP의 경계와 CFP에서의 GTS 할당 정보는 코디네이터에서 매번 비콘이 생성될 때 마다 업데이트 되어서 디바이스들에게 브로드캐스트되며 IEEE 802.15.4 표준은 사용 목적에 의하여 그 용도가 결정되는 MAC 구조를 구현한 것이기 때문에 CFP 구간과 inactive 구간을 선택사항으로 두고 있다.^[9]

2.2 관련연구

앞서 설명한 것과 같이 비콘 활성화모드인



(a) 경쟁충돌 (b) 히든노드 충돌

그림 2. IEEE 802.15.4의 충돌의 두 가지 경우

LR-WPAN (본 논문에서는 스타형 토폴로지를 생각한다)에서는 모든 노드들이 동기화 되어 있기 때문에 그림 2와 같이 두 가지 경우의 충돌만 발생한다. 그림 2의 (a)는 두 노드들이 동시에 동작하여 일어나는 ‘경쟁 충돌’이고 그림 2의 (b)는 히든노드 문제 때문에 일어나는 ‘히든노드 충돌’이다.

현재 IEEE 802.15.4 표준은 이러한 충돌이 발생하였을 때 BE값을 이용해 백오프 시간을 늘려 재충돌 확률을 줄이는 방법만 존재하며 재전송이 aMaxFrameRetries(3번)만큼 실패하면 전송을 하지 않고 데이터는 ‘드롭(drop)’되어 삭제된다. 경쟁충돌만 일어날 경우 백오프 메커니즘을 사용하여 충돌확률을 현저히 줄일 수 있지만 히든노드 충돌의 경우 백오프 값이 (0~7)로 데이터 크기에 비해 작고, 재전송을 위해 기다리는 동안 다른 히든관계에 있는 노드가 전송을 시도할 수도 있기 때문에 백오프 메커니즘만으로 해결하기 어렵다.^[6] 그림 3을 예를 들면 노드1이 데이터를 전송 할 때 노드2는 채널 센싱을 하더라도 히든 노드 관계에 있기 때문에 채널이 ‘idle’ 하다고 인식하므로 데이터를 전송하여 충돌이 일어난다. 따라서 노드1은 데이터 전송을 마치고 macAckWaitDuration 동안 ACK를 받지 못하여 다시 재전송하고 노드2도 마찬가지로 macAckWaitDuration 동안 ACK를 받지 못하여 재전송을 한다. 이 과정에서 백오프 시간이 데이터 크기에 비해 작기 때문에 그림 3과 같이 연속된 충돌이 일어날 확률이 매우 높다. 이러한 이유로 히든노드 충돌을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있고 특히 참고문헌 [6]과 [7]에서 제시한 메커니즘으로 히든노드 충돌을 줄일 수 있다. 참고문헌 [6]에서는 참고문헌 [7]에서 제안한 그룹핑을 전제로 어떤 두 그룹의 노드들이 히든노드 충돌이 일어났을 때 PACK(Polling ACK)를 사용하여 히든노드 충돌을 일으킨 그룹의 노드들에게 순서대로 데이터 전송의 기회를 주어 히든 노드 충돌을 빠르게 복구시키는 방법을 제안하였다. 하지만 히든노드 충돌이 일어날 때마다 폴링 (polling) 하기 때문에 히든노드

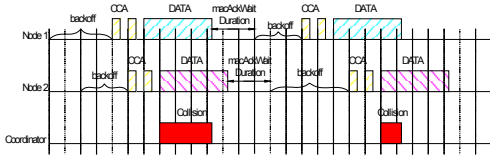


그림 3. 연속된 히든노드 충돌

충돌이 잦은 상황에서는 채널 낭비가 심하다. 참고 문헌 [7]에서는 각 노드들이 보내는 히든 노드 정보를 바탕으로 히든 노드 테이블을 구성하고 그림 4와같이 PAN을 그룹핑을 한다. 또한 그룹핑된 각 그룹의 모든 노드들은 통신이 가능하다는 것을 전제로 히든 노드 충돌을 막기 위한 그룹은 5개면 충분하다는 것을 증명하였다. 이와 같은 내용을 바탕으로 각 그룹에게 매 슈퍼프레임 마다 HA(hidden avoidance) -GTS 구간을 할당해주어 각 그룹의 노드들에게 데이터 전송을 보장해 주므로 히든노드 충돌을 막는다. 하지만, 데이터가 없으면 채널이 낭비되는 단점이 있다.

III. 그룹 간 패킷충돌 회피를 위한 그룹폴링 (polling) 알고리즘

3.1 그룹핑 메커니즘

본 장에서는 제안한 알고리즘의 전제인 그룹핑 알고리즘에 대해 간략하게 설명한다.

그림 4를 보면 새로운 노드가 네트워크에 등록하기 위해 등록요청 메시지 (association request)를 보내고 코디네이터는 등록을 허락하기 위해 등록요청 응답 메시지 (association response)를 보낸다. 노드 B는 새로운 노드의 등록요청 메시지와 코디네이터의 등록요청 응답 메시지를 모두 수신 할 수 있다. 이로 인해 노드 B는 새로운 노드와 자신이 히든노드 관계가 아니라는 것을 알고 히든노드 알림 메시지 (hidden node indication)를 보내지 않는다. 하지

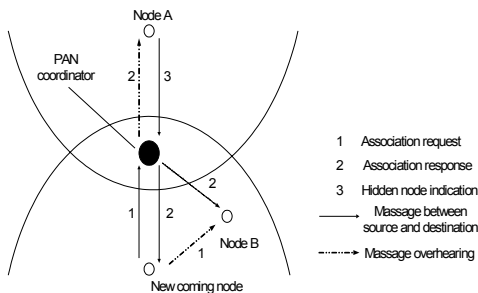


그림 4. 그룹핑 메커니즘

만 노드 A는 새로운 노드의 등록요청 메시지는 수신 하지 못하고 코디네이터의 등록요청 메시지만 수신하기 때문에 새로운 노드와 자신이 히든노드 관계인 것을 알 수 있다. 따라서 노드 A는 히든노드 알림 메시지를 보내서 새로운 노드와 자신이 히든노드 관계인 것을 코디네이터에게 알려준다. 그러면 코디네이터는 이런 정보를 바탕으로 히든노드 관계인 노드들은 다른 그룹으로 그룹핑하고 히든노드관계가 아닌 노드들은 같은 그룹으로 그룹핑하게 된다. 그룹은 5개면 모든 PAN의 히든노드를 다루기에 충분하다는 것을 참고문헌 [7]에서 이미 증명하였다.

3.2 그룹 간 패킷충돌 회피를 위한 그룹폴링 (polling) 알고리즘

본장에서는 2.2 장에서 설명한 기존 연구의 단점을 보완하고 보다 충돌이 잦은 조건에서 채널 사용률을 높이기 위해 그룹 간 패킷충돌 회피를 위한 그룹폴링 알고리즘을 제안한다. 또한 본 알고리즘에서 제안 하는 알고리즘은 동적인 것은 고려하지 않았다. 제안한 알고리즘의 기본 아이디어는 연속된 충돌이 빈번한 상황에서 동작하여 각 그룹 내의 노드들만 경쟁시켜 연속된 충돌을 줄이고 다시 IEEE 802.15.4 표준의 CSMA/CA 방식으로 돌아오는 것이다. 본 논문에서는 T_s 를 ‘데이터 전송 성공률’로 정의하고 제안한 알고리즘의 시작과 종료의 경계 (threshold) 값으로 한다. 따라서 T_{s1} 은 시작의 경계 값으로 T_{s2} 는 종료의 경계 값으로 한다. 또한 그룹핑 메커니즘으로 PAN이 5개 그룹으로 그룹핑 되어 있다고 가정한다. 물론 실제 PAN은 그림 5와같이 정확한 모양으로 그룹핑 되지는 않는다. 한 PAN의 코디네이터는 네트워크의 성공률이 T_{s1} 값 이하가 되면 비콘에 그룹 시퀀스 번호를 포함시켜 보내게 되고 제안한 알고리즘의 시작을 알린다. 각 그룹의 노드들은 자신이 속한 그룹의 그룹 시퀀스 번호를 받게 되면, 펄스신호를 보내서 자신의 데이터 유무

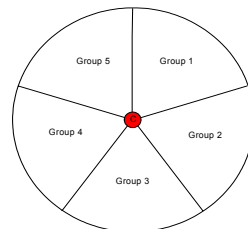


그림 5. 그룹핑된 PAN

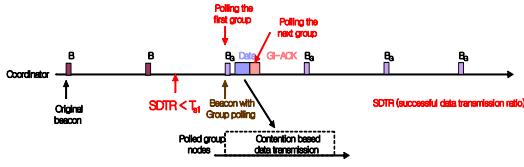


그림 6. 제한한 알고리즘의 시작

를 코디네이터에게 알려준다. 코디네이터는 펄스 신호를 바탕으로 각 그룹의 노드들에게 채널을 할당해 준다.

예를 들어 그림 6은 네트워크가 T_{s1} 값 이하가 되어 제한한 알고리즘이 시작되는 상황이다. 코디네이터가 비콘에 그룹1을 지정해주는 시퀀스 번호를 포함하여 보내면 그룹1의 노드들은 펄스 신호를 보내고 IEEE 802.15.4 표준의 CSMA/CA 방식으로 데이터를 전송한다. 코디네이터는 그룹1에서 받은 펄스 신호를 3.4장에서 설명할 그룹폴링 테이블에 저장하고 다음 라운드의 그룹을 지정할 때 참고한다. 라운드는 각 그룹에서 데이터를 가진 노드 중 한 노드만 데이터 전송을 할 만큼 코디네이터가 채널을 할당해 주는 구간을 말한다. 코디네이터는 그룹1에서 데이터를 받은 후 수신확인과 함께 그룹 시퀀스 번호가 포함된 group indication (GI)-ACK를 보내서 다음 데이터 전송을 위해 그룹2를 지정해준다. 3~5번 그룹도 이와 마찬가지로 GI-ACK를 기다린 후 자신의 그룹 시퀀스 번호를 받으면 펄스 신호를 보내 코디네이터에게 데이터의 유무를 알린 후 데이터를 전송한다. 이런 모든 동작은 슈퍼프레임의 group(G)-CAP 구간에서 일어난다.

그림 7은 제안한 알고리즘의 변경된 슈퍼프레임 구간의 동작을 보여준다. 제안한 알고리즘이 시작되면 IEEE 802.15.4 표준에서 제시한 슈퍼프레임의 CAP 구간을 G-CAP 구간과 free(F)-CAP으로 나눈다.

1) G-CAP구간

- 폴링된 그룹 내 노드들이 경쟁을 통해 데이터를 전송한다.

2) F-CAP구간 :

- 룬에 상관없이 WPAN의 모든 노드들이 IEEE 802.15.4 표준의 CAP 구간과 같이 데이터를 전송한다.
- 새로운 노드의 등록요청을 위해 필요하다.(최소440심볼)

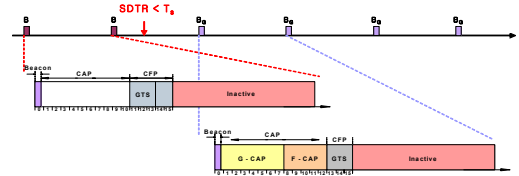


그림 7. 수정된 슈퍼프레임 구조

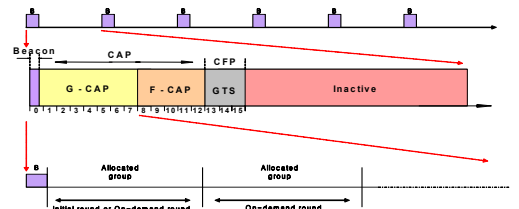


그림 8. G-CAP 구간의 동작

F-CAP 구간은 새로운 노드가 등록 요청 메시지를 보내기 위하여 표준에서 제시한 최소 440심볼을 항상 유지한다. 이것을 보장하기 위해 제한한 알고리즘은 $SO \geq BO \geq 3$ 을 만족하여야 한다.

그림 8에서는 G-CAP 구간의 동작을 나타낸 그림이다. 처음 시작라운드(Initial round)에서는 그룹폴링 테이블이 없기 때문에 1~5그룹의 순서로 채널을 할당해준다. 그룹폴링 테이블이 생긴 후에 온디맨드라운드(On-demand round)에서는 그룹폴링 테이블을 기초로 그룹의 순서를 정해준다. 시작라운드는 알고리즘이 시작한 직후와 그룹 폴링 재지정 구간 직후에만 존재하고, 나머지 라운드는 모두 그룹폴링테이블을 기초로 한 온디맨드라운드이기 때문에 G-CAP 구간의 첫 번째 라운드는 시작라운드 일수도 있고 온디맨드라운드 일수도 있다. 한 슈퍼프레임의 G-CAP 구간의 라운드는 여러 번 반복되지만 F-CAP 구간의 최소 440심볼을 보장하는 내에서 제한되어 있다. 만약 남은 라운드에 데이터를 전송 하여 F-CAP 구간의 최소 440심볼을 보장하지 못한다면, G-CAP 구간을 곧바로 끝내고 F-CAP 구간을 시작한다.

제안한 알고리즘의 종료는 네트워크의 성공률이 T_{s2} 값 이상이 되면 종료한다. 또한 종료 후에도 네트워크가 T_{s1} 값 이하가 되면 다시 동작한다. 따라서 제안한 알고리즘은 데이터 전송이 잦아 충돌이 심할 때 시작되고, 데이터 전송이 낮아지면 IEEE 802.15.4의 CSMA/CA 방식으로 돌아오는 동작을 반복 하면서 연속된 충돌로 인한 네트워크의 손상을 막는다.

Octets 2	1	410	2	Variable	Variable	Variable	1	2
Frame Control	Sequence number	Addressing fields	Suppfram specification	GIS field	Pending address fields	Beacon payload	Group Sequence field	FCS
MHR			MAC payload				MFR	

그림 9. 수정된 비콘 프레임 구조

표 1. 그룹 시퀀스 번호 정의

Value	Description
0x00	End of G-CAP
0x01~0x05	Number of Next Group Allocation
0x06~0xfe	Reserved
0xff	End of Group Allocation Procedure

Octets: 2	1	1	2
Frame Control	Sequence number	Group Sequence Field	FCS
MHR		MAC Payload	MFR

그림 10. 수정된 ACK 프레임(GI-ACK)

3.3 IEEE 802.15.4 표준의 수정

제안한 알고리즘을 사용하기 위해 IEEE 802.15.4 표준의 비콘 프레임 및 ACK 프레임을 다음과 같이 변경 한다.

수정된 비콘 프레임과 ACK 프레임의 그룹시퀀스 필드의 번호를 표1과 같이 정의한다.

3.4 펄스 신호를 이용한 그룹 할당 및 그룹폴링 테이블 업데이트(update) 방법

본 논문에서 제안한 알고리즘의 코디네이터는 펄스신호로 지정한 그룹의 노드들이 데이터를 갖고 있는지 없는지를 알 수 있다. 지정된 그룹의 노드들이 데이터가 있으면 펄스 신호를 보내고 이를 바탕으로 코디네이터는 다음 라운드에 채널 할당 순서를 판단한다. 또한 반대로 데이터가 없다면 노드들이 펄스 신호를 보내지 않기 때문에 지연 없이 바로 다음 그룹을 지정한다. 펄스신호는 0,1,M으로 그룹폴링테이블에 저장되며 0은 데이터가 없음을, 1은 하나의 노드가 데이터를 가지고 있음을 표시하고, M(Multiple)은 2개 이상의 노드가 데이터를 가지고 있음을 표시한다. M을 판단하는 방법은 두 노드가 데이터를 전송하기 위해 펄스신호를 동시에 보내면 충돌로 인해 신호의 왜곡이 생겨서 몇 개의 노드가 펄스 신호를 보냈는지는 알 수 없지만 코디네이터는 왜곡된 신호를 받기 때문에 2개 이상이라는 것은 알 수 있다.

그룹의 순서를 정해줄 때 데이터가 없거나 하나

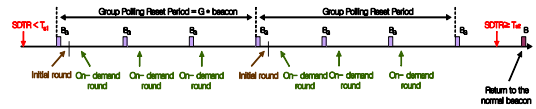


그림 11. 그룹폴링 재지정 구간(group reset period)

의 데이터를 가진 그룹의 노드들은 다음 라운드의

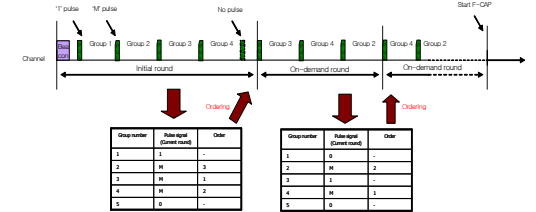


그림 12. 그룹폴링 테이블 업데이트 방법

그룹할당에서 제외되고, 제외된 그룹의 노드들은 데이터가 생길 경우 F-CAP 구간에서만 전송하여야 하기 때문에 공정성에 위배된다. 따라서 본 논문에서는 그림 11과 같이 그룹폴링 재지정 구간(group polling reset period)을 두어 주기적으로 그룹의 순서를 1~5의 순서로 재지정 해준다. 여기서 상수 G는 그룹재지정 상수이고 그림 11에서는 3이므로 3번 비콘 주기로 그룹재지정 구간이 온다.

그림 12는 코디네이터가 각 라운드에서 받은 펄스 신호를 그룹폴링 테이블에 업데이트 한 다음 각 그룹의 순서를 정해주는 방법을 나타낸 것이다. 그룹 폴링 테이블은 코디네이터가 다음 라운드의 그룹의 순서를 정할 때 참고한다. 그룹의 순서는 M인 경우에만 랜덤(random)으로 순서를 정해 채널을 할당해 주고 0인 경우와 1인 경우에는 채널을 할당해 주지 않는다. 1인 경우에 채널을 할당 해주지 않는 이유는 한 라운드에서 코디네이터는 한 노드의 데이터 전송을 보장해 주기 때문이다. 그림 12의 처음 라운드는 시작라운드로 코디네이터는 그룹폴링테이블이 없기 때문에 그룹1부터 그룹5까지 순서대로 채널을 할당해주고 다음 라운드의 그룹 순서를 정하기 위해 받은 펄스 신호를 그룹폴링 테이블에 저장한다. 그림 12에서 코디네이터는 그룹폴링 테이블을 바탕으로 다음 라운드의 그룹 순서를 3->4->2의 순서 정해준다. 그룹 2, 3, 4는 M으로 같기 때문에 랜덤으로 순서를 정해준다. 그림 12의 두 번째 온디맨드라운드는 코디네이터가 앞의 온디맨드라운드의 펄스 신호가 저장된 그룹폴링 테이블을 바탕으로 그룹의 순서를 정해준다. 그림 12에서 첫 번째 온디맨드라운드의 그룹2와4가 M으로 같기 때문에 두

번째 온디맨드 라운드의 순서를 랜덤으로 4->2 의 순서로 정해준다. 다음 온디맨드라운드도 이와 같은 방법으로 순서를 정해주고, 그룹핑링 재지정 구간이 나오면 다시 그룹의 순서를 1~5로 정해준다.

IV. 모의실험

본 논문에서는 제안한 알고리즘을 기존의 IEEE 802.15.4 표준과 데이터 성공률, 채널 사용률을 비교하여 그 효율성을 어느 정도 증가하였는지를 비교하고자 한다. 모의실험은 NS-2^[10]를 통해 시뮬레이션 했으며, 그림 5와 같이 그룹핑 된 PAN의 각 그룹에 노드 3개씩 배치한 토폴로지(topology)를 적용하였고, 적용된 환경파라미터는 표 2와 같다.

본 실험에 앞서 IEEE 802.15.4 표준에 그림 5의 토폴로지를 적용하여 충돌이 잦은 상황을 찾아보았다. 그림 13의 결과를 보면 포아송 패킷 전송률이 높아지면서 IEEE 802.15.4 표준의 전송 성공률은 2(packet per second(pps) 이후로 급격히 낮아지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 제안한 알고리즘의 T_{s1} 값을 70%로, T_{s2} 값을 75%로 정의하고 2pps 이후부터 비교하기로 한다.

그림 15에서 IEEE 802.15.4 표준은 3pps 이후에 채널사용률은 패킷전송률이 증가하더라도 패킷의 드

표 2. 모의실험 환경 파라미터

Simulation parameter	Value
노드 수	Coordinator 1, Device 15
BO=SO	3
전송범위	15 meters
포아송 패킷 사이즈	70bytes
포아송 패킷 생성률	0.1pps ~ 10pps
시뮬레이션 시간	1000seconds
시뮬레이션 반복횟수	10
그룹재지정상수 (G)	3
데이터 전송 성공률 T_{s1}, T_{s2}	70%, 75%

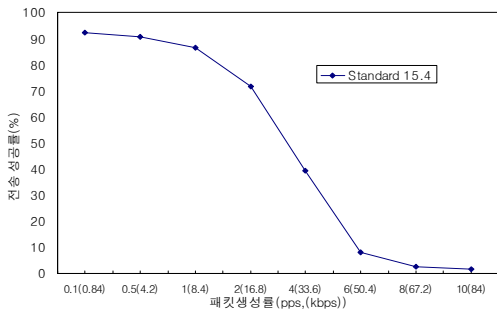


그림 13. 그림 5의 토폴로지를 적용한 IEEE 802.15.4 표준의 전송성공률

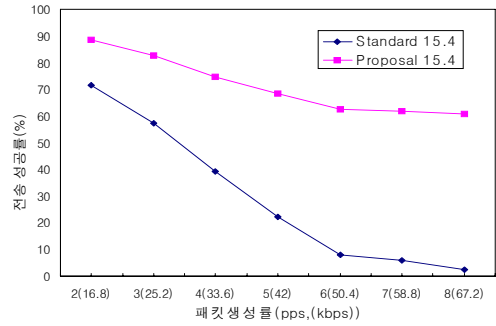


그림 14. IEEE 802.15.4 표준과 제안한 알고리즘의 전송 성공률 비교

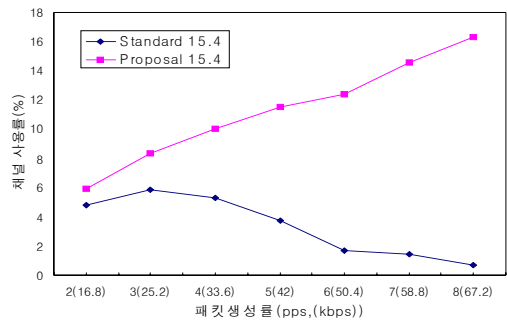


그림 15. IEEE 802.15.4 표준과 제안한 알고리즘의 채널 사용률 비교

롭으로 인해 점점 줄어들지만, 제안한 알고리즘의 경우는 한 슈퍼프레임의 active 구간이 960×23(심볼)=7680심볼이고 20심볼은 0.32ms 이므로 1symbol은 0.016ms가 된다. 따라서 한 슈퍼프레임의 구간은 약0.123s이 되기 때문에 패킷 전송률이 8pps(0.125s)가 되더라도 G-CAP 구간에서 데이터를 모두 보낼 수 있으므로 채널 사용률은 점점 증가한다.

그림 16을 보면 IEEE 802.15.4 표준은 드롭된 패킷 수가 패킷전송률이 높아짐에 따라 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으나, 제안한 알고리즘은 보다 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 앞서 설명한 것처럼 패킷이 드롭 된다는 것은 재전송을 aMaxFrameRetries(3번) 만큼 시도해도 전송 할 수 없다는 것을 의미한다. 다시 말해 드롭 되는 패킷이 많다는 것은 연속된 충돌이 많다는 것을 의미한다. 이 결과를 보면 연속된 충돌을 IEEE 802.15.4 표준 보다 현저히 낮추므로 드롭 되는 패킷에 의한 네트워크의 손상을 보호하는 것을 알 수 있다.

그림 17은 시간에 따라 패킷전송률을 변화시켜 비교한 그림이다. 1pps에서 시작하여 10초단위로 60초까지 2pps씩 늘리고 60초에 8pps가 된 이후로

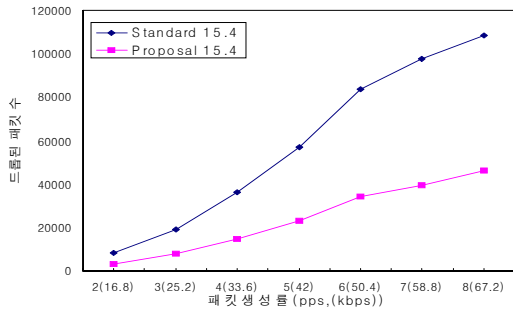


그림 16. IEEE 802.15.4 표준과 제안한 알고리즘의 드롭 된 패킷 수 비교

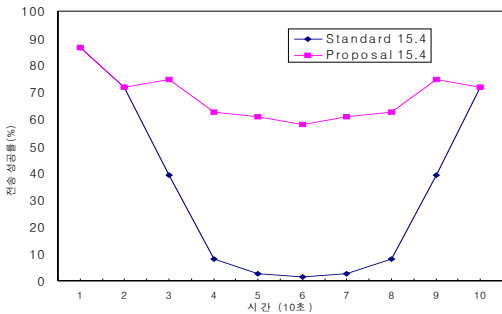


그림 17. IEEE 802.15.4 표준과 제안한 알고리즘의 시간변화에 따른 비교

100초전까지 2pps씩 줄였다. 그래프에서 알 수 있듯이 70%이상이 되는 20초에 이후에 제안한 알고리즘이 동작하고 75%이상이 되는 90초 이후에는 다시 IEEE 802.15.4 표준의 CSMA/CA로 돌아오는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 충돌이 잦은 상황에서 이미 그룹핑 되어 있는 PAN의 노드들을 자신의 그룹 안에서만 경쟁 시키므로 연속된 충돌을 줄여 네트워크의 손상을 보호 하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 장점은 데이터 전송이 적은 환경에서는 IEEE 802.15.4 표준의 CSMA/CA를 사용하고 데이터 전송이 많아져 충돌이 많은 상황이 발생하면 제안한 알고리즘을 일시적으로 사용하다가 다시 데이터 전송이 적은 환경으로 돌아오면 IEEE 802.15.4 표준의 CSMA/CA를 사용하기 때문에 알고리즘의 적용에 있어 매우 유연하다고 할 수 있다. 마지막으로 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 알고리즘을 사용하면 기존의 IEEE 802.15.4 표준에 비해 전송 성공률이 현저히 향상 되고 채널 사용률이 증가하여

같은 시간에 더 많은 데이터를 전송하는 것을 알 수 있었다. 따라서 충돌이 잦은 상황에서는 표준의 IEEE 802.15.4보다 제안한 알고리즘이 효율적인 것과 동시에 같은 시간에 더 많은 데이터 전송을 하므로 에너지 절약 적인 측면에서도 표준의 IEEE 802.15.4 보다 효율적인 것을 확인 하였다.

참고 문헌

- [1] Sung-Su Choi and Young-Sun Kim, "IEEE 802.15 WPAN", Journal, Vol.34, No.3, *Korea Information and Communications Society, KICS* pp.284-297, March 2007.
- [2] IEEE 802.15.4 - 2003, "IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements" Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), October 2003.
- [3] Gang Lu, Bhaskar Krishnamachari, and Cauligi S. Raghavendra. "Performance evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC for low-rate low-power wireless networks." *In Proceedings of the 23rd IEEE International Performance, Computing and Communications Conference(IPCCC 2004)*, April 2004.
- [4] IEEE 802.11, Part11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, *IEEE*, Aug.1999.
- [5] Jianliang Zheng and Myung J. Lee, "A comprehensive performance study of IEEE 802.15.4", *IEEE Press Book*, 2004.
- [6] Shengzhi Zhang and Sang-Jo Yoo, "Effective hidden node collision recovery protocol for low rate wireless personal area networks", *IEEE Computers and Information Technology, (IEEE CIT)*, October 2007.
- [7] Lain-Jinn Hwang, Shiann-Tsong Sheu, Yun-Yen Shih, and Yen-Chieh Chen, "Grouping strategy for solving hidden node problem in IEEE 802.15.4 LR-WPAN", *in Proceedings of Wireless Internet Conference*,

WICON, pp.26-32, July 2005.

- [8] Li-chun Ko, Yung-chih Liu, Hua-wei Fang, "Design and implementation of IEEE 802.15.4 beacon-enabled network Devices", *Proceedings of the Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PERCOMW'06*, March 2006.
- [9] Yu-Kai Huang, Ai-Chun Pang and Hui-Nien Hung, "An adaptive GTS allocation scheme for IEEE 802.15.4", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.19, No.4, pp. 641-651, April 2008.
- [10] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

이 주 현 (Ju-Hyun Lee)

준회원



2007년 2월 인하대학교 전자
전기공학과(공학사)
2007년 3월~현재 인하대 학교
정보통신대학원 석사과정
<관심분야> LR-WAPN, USN
MAC 프로토콜

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자
통신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원
전기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전
자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 KT

연구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인
터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive
Radio Network