

네트워크에서 계층적 슈퍼프레임 알고리즘을 통한 대역폭의 효율적인 활용

정희원 연구정*, 전선도*, 이장연*, 이현석*, 원윤재*, 권대길*,
비회원 Attila Török*, Lóránt Vajda*

Hierarchical superframe formation algorithm in 802.15.3 network

Kyu-Jung Youn*, Sun-Do June*, Jang-Yeon Lee*, Hyeon-Seok Lee*, Yun-Jae Won*,
Tai-Gil Kwon* *Regular Members*, Attila Torok*, Lóránt Vajda* *Non-members*

요 약

본 논문은 시분할 슈퍼프레임을 사용하는 무선 네트워크에서 슈퍼 프레임을 형성하는 새로운 알고리즘을 제안하고 있다 제안된 알고리즘은 높은 성능과 안정성, 오류 저항성을 제공할 뿐만 아니라, 전력 절약을 쉽게하는 특징도 가지고 있다 다양한 종류의 트래픽 아래서의 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 응답시간, 비콘 손실에 대한 오류 저항성 등의 성능지수로 분석하였다 분석결과, 제안된 알고리즘이 기존에 제안된 알고리즘들의 장점을 이어받으면서도, 단점을 크게 줄였음을 알 수 있었다

Key Words 802.15.3, MAC, QoS, Mini-beacon, Hierarchical superframe

ABSTRACT

This paper proposes a novel superframe formation algorithm for wireless systems with time-slotted superframe structure. The design objective of the proposed algorithm is to provide high performance, stability, error tolerance, as well as power-saving features The paper presents a comprehensive performance analysis of the proposed superframe formation algorithm with different types of traffic applied During analysis several performance metrics are investigated. The error tolerance to beacon loss and the behavior of CBR flows are also studied We show that the proposed algorithm inherits the advantages of the previously used algorithms, while providing additional features

I 서 론

사무실이나 가정에서 사용하는 휴대용 기기들을 무선 네트워크를 통해 통합하고자 새로운 종류의 무선 네트워크 표준들이 등장하였다^[1]. 그러한 새로운 표준의 하나가 Bluetooth^[2]로서, 기존의 전선들을 대체하고자하는 만들어졌으며, 대역폭이 좁은 대신 간단한 무선 기술을 사용하여 저렴하게 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다 Bluetooth 외에도 광대역 통신과 서비스 품질 보장(QoS Quality of Service)

에 대한 요구를 만족시키기 위해 높은 대역폭을 제공하는 IEEE 802.11e 와 IEEE 802.15.3^[3]과 같은 무선 네트워크 표준이 등장하였다

IEEE 802.15.3 표준은 무선 PAN(Personal Area Network)을 위한 프로토콜로서 멀티미디어 트래픽에 대한 넓은 대역폭과 QoS를 저전력으로 제공하도록 설계되었다. 802.15.3은 Bluetooth와 같이 중앙집중식의 연결지향적인 애드혹 네트워크 구조를 가지고 있지만, Bluetooth와는 달리 마스터가 패킷 포워딩을 하지 않고, 출입 제어, 스케줄링, 네트워크

* 전자부품연구원 무선PAN사업단 (kyoung@keti.re.kr)

논문번호 #KICS2004-08-136, 접수일자 2004년 8월 4일

※ 본 연구는 Electro-0580사업단의 '복합 위상 신호를 적용한 다중 칩셋 개발 과제'의 연구성과물로 수행되었습니다

관리 기능만을 수행한다. 802.15.3의 MAC(Media Access Control)계층은 시간 슬롯 기반의 슈퍼프레임 구조를 취하고 있으며, 슈퍼 프레임은 다시 비콘 구간과 CAP (Contention Access Period) 구간, CFP (Contention Free Period) 구간으로 나뉜다. 전체 슈퍼프레임과 각 구간은 가변적인 길이를 가지므로, 802.15.3 네트워크는 변화하는 환경에 대해 유연하게 대응할 수 있다.

대역폭을 효율적으로 사용하기 위하여 802.15.3은 각 구간별로 서로 다른 접근제어를 하는 복합적 구간 구조를 사용하였다^{[4][5]}. 자원할당 요청을 하는 CAP구간에서는, 경쟁기반의 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 알고리즘을 사용하고, 데이터를 송수신하는 CFP구간에는 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 슬롯 할당 알고리즘을 사용한다. 이런 식의 복합적인 MAC 프로토콜 구조는 무선 ATM을 비롯한 대부분의 무선 MAC 프로토콜에서 발견되고 있다^{[4][5][6][7]}. 그런 발전된 모습의 MAC 프로토콜은 성능을 최대화하기 위하여 복합적 구간 구조 외에도 채널 예약에 대한 빠른 피드백 기법이나 데이터 패킷에 노드의 내부정보를 piggyback하는 기법, 셀 트레인 기법, 가변 길이 프레임 기법들을 사용하고 있다.

본 논문에서는 그런 기법들이 802.15.3의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 이들 기법을 분석한 논문들^{[1][4][6][7]}이 있었지만, 이 논문에는 이들 기법의 단점에 대한 분석은 빠져있었다. 그리고 이 논문들은 ATM 시스템을 기반으로 실험하고 있어, 802.15.3에 적용되었을 때의 영향을 가늠하기가 어렵다. [8]에서 저자는 802.15.3에서의 정적과 동적 - 두 종류의 슈퍼프레임 알고리즘에 대한 성능 분석을 하였으며, 슈퍼 프레임의 길이에 따라 성능이 큰 폭으로 변화함을 보여주었다.

본 논문은 정적과 동적 슈퍼프레임 알고리즘의 장단점을 더욱 심층적으로 분석하였고, 그런 분석을 기반으로 '계층적 슈퍼프레임 알고리즘'이라는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 정적/동적 슈퍼프레임 알고리즘의 장점을 모두 가지고 있으며, 본 논문은 다양한 환경에서의 시뮬레이션 실험을 통해 이를 증명하였다. 그리고 제안된 알고리즘이 채널에러에 대한 저항성 또한 높음을 확인하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 정적 슈퍼프레임과 동적 슈퍼프레임 알고리즘에

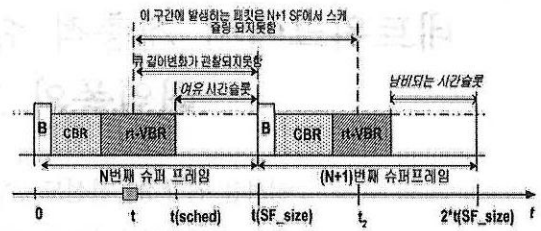


그림 1. 정적 슈퍼프레임의 단점

대한 개략적인 설명이 나와있으며, 각각의 장단점을 분석하였다. 3장에서는 기존 알고리즘들의 단점을 개선한 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능분석을 하였고, 5장에서는 결론을 이야기하고 있다.

II. 정적 슈퍼프레임과 동적 슈퍼프레임의 분석

이 장은 정적 슈퍼프레임이나 동적 슈퍼프레임을 사용하였을 때의 문제점을 분석하였다. 네트워크 프로토콜 분석 시에 가장 중요한 성능지수는 채널 사용 효율성이다. 그러므로 각 슈퍼프레임 알고리즘의 성능을 채널 사용 효율성을 통해 분석하였다. 그리고 무선 네트워크에서 중요한 고려대상은 무선 장비들이 일반적으로 배터리를 사용한다는 점이다^[9]. 그리고 또 하나의 고려 대상은 무선 시스템은 쉽게 채널 오류에 노출된다는 점이다. (그러므로, 좋은 무선 시스템은 잦은 패킷 오류에 대한 저항성을 가지고 있어야 한다)^[4]. 15.3의 경우에는 많은 무선 장비들이 공유하는 주파수 대역인 ISM 밴드를 사용하므로, 후자의 고려사항이 더욱 중요성을 가지게 된다. 802.15.3에서는 각 노드들이 비콘을 통해 시간 슬롯 할당 상황을 통보받고, 그에 따라 데이터를 전송하게 되므로, 비콘의 손실상황은 통신성능과 직결되게 된다. 그러므로, 비콘 손실에 대한 시스템의 저항성 역시 분석하였다.

2.1. 슈퍼 프레임 알고리즘의 일반적 특성

무선 ATM에서는 MAC계층의 성능을 개선하기 위하여 많은 알고리즘들이 제안되었다. 그 알고리즘 중 일부는 802.15.3 네트워크에 적용되어 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 정적/동적 슈퍼 프레임 알고리즘을 분석하기에 앞서 소개한다.

스케줄링 성능을 향상시키기 위해서는 마스터는 각 노드의 상황을 최대한 자세히 아는 것이 중요하다. Piggybacking 기술을 사용하여 노드들이 내부류의 상황을 마스터에게 알려주면, 마스터는 이를

참고하여 보다 효율적인 스케줄링을 함으로써 성능을 향상시킬 수 있다^{[1][6][7]}. Piggybacking 기술을 사용함으로써, 특히 VBR(Variable Bite Rate) 트래픽의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. VBR 트래픽의 경우, 매시간 전송되는 데이터 량이 변화하게 되는데, piggybacking 기술을 사용하지 않는다면, 변화하는 데이터 량에 따라 시간 슬롯의 길이를 변화시키지 못해 대역폭을 낭비하게 되는 결과를 가져온다.

높은 성능을 내기 위해서는 대역폭 사용량이나 공정성 측면에서 뛰어나 스케줄링 알고리즘을 사용해야 한다. SRPT(Shortest Remaining Processing Time) 알고리즘이 우수한 알고리즘으로 증명되었으므로^[10], 시뮬레이션 시에 SRPT 스케줄링 알고리즘을 사용하였다.

2.2. 정적 슈퍼프레임 알고리즘의 분석

정적 슈퍼프레임 알고리즘은 고정된 길이의 슈퍼프레임을 사용한다. 그러므로 마스터가 주기적으로 비콘을 전송하게 된다. 정적 슈퍼프레임 알고리즘은 그 동작의 단순함 이외에도 전력절약 모드의 구현^[9]이나 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽의 스케줄링이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

하지만, 본 알고리즘은 아래와 같은 단점 역시 가지고 있다. 그림1에서는 두 개의 슈퍼프레임이 인접해서 이어져 있고, 각자의 CBR와 VBR 트래픽이 전송되는 부분이 표시되어 있다. 노드 A가 시각 t에서 VBR 트래픽을 위한 시간 슬롯을 받았다고 가정해보자. 노드A가 데이터를 전송하게 되면, 마스터는 piggybacking된 정보를 통해 노드A의 큐 상황을 통보 받게 된다. 그 정보는 다음 번인 N+1번째 슈퍼프레임을 스케줄링할 때 사용되게 된다. 하지만, 노드 A는 주어진 시간 슬롯이 이후부터는 더 이상 패킷을 전송할 수 없게 되고, 이후의 큐의 크기가 변경되더라도 이를 마스터는 알 수가 없게 된다. 그러므로 (t, t2) 구간 동안에 생성되거나 도착한 패킷에 대해서는 마스터가 N+1번째 슈퍼프레임에서 시간을 할당하지 못하게 된다. 이는 그림1에서와 같이 남는 시간이 있음에도 패킷을 전송하지 못하는 대역폭의 낭비로 이어지게 된다.

또, 마스터는 노드들의 큐 상황에 대해 잘못된 정보를 가지고 있으므로 해서, 이후 스케줄링이나 다른 의사결정에서 잘못된 판단을 내리게 된다. 본 논문에서는 마스터가 아는 큐의 길이와 실제 큐의 길이의 차이를 QSI(Queue Size Inconsistency)로 정의

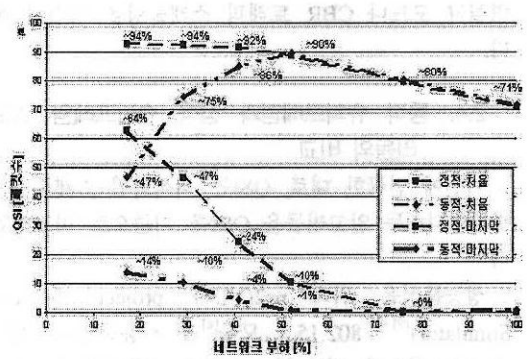


그림 2. 처음과 마지막 플로우의 QSI

하고, 이를 성능분석 시에 하나의 성능지수로 사용하였다.

2.3. 동적 슈퍼프레임 알고리즘의 분석

동적 슈퍼프레임 알고리즘은 보다 유연한 동작을 보여준다. 슈퍼 프레임의 길이가 마스터에 의해 동적으로 변화하게 된다. 그러나 802.15.3 표준^[3]은 마스터가 슈퍼프레임의 길이를 변경하고자 할 시에는 길이의 변화를 변경하기 전 일정시간 동안 이를 알려야 한다고 강제하고 있다. 이런 제약사항은 802.15.3 네트워크가 트래픽 변화에 따라 슈퍼 프레임 길이의 변경하는 속도를 느리게 한다. 하지만, 본 논문에서는 그런 제약사항이 없는 완전한 동적 슈퍼프레임 알고리즘을 그 비교 대상으로 하였다. 이는 완전한 동적 알고리즘이 거의 최적의 성능을 보여주고 있기 때문이다.

동적 슈퍼 프레임 알고리즘을 사용할 시에는 정적 슈퍼프레임에서 문제시되었던 시간 슬롯의 낭비를 막을 수 있다. 예를 들어, 3개의 연속된 슈퍼 프레임을 살펴보자. 첫번째 슈퍼프레임에서 노드들의 데이터 전송이 끝나자마자, 두번째 슈퍼프레임의 비콘이 전송되므로, 여유슬롯의 낭비가 없게 된다. 두번째 슈퍼프레임의 경우에는 마스터가 이전 경우와 마찬가지로 부정확한 정보를 가지고 스케줄링하게 되지만, 여유시간 슬롯 없이 바로 세번째 슈퍼프레임이 시작되므로, 결과적으로 낭비되는 시간슬롯은 없게 된다.

결과적으로, 동적 슈퍼프레임 알고리즘은 트래픽 변화에 매우 민첩하게 대응하면서, 대역폭 사용측면에서도 높은 효율성을 나타내게 된다. 하지만, 이 알고리즘 역시 단점들을 가지고 있다. 우선 이 알고리즘은 높은 복잡도를 요구하고 있다. 둘째, 이 알고리즘은 고정적인 슈퍼프레임의 길이를 원하는 전

력절약 모드나 CBR 트래픽 스케줄링을 어렵게 한다

2.4 동적 슈퍼프레임과 정적 슈퍼프레임 알고리즘의 비교

이전에 언급한 대로, QSI는 최적화된 스케줄링을 방해한다 두 알고리즘을 QSI를 기준으로 비교하였다.

성능분석을 위해 ns2(VINT project Network Simulator)^[9]와 802.15.3 모듈^[8]을 사용하였다. 제안된 알고리즘에 해당하는 모듈을 구현하였고, 보다 세밀한 분석을 위해 시뮬레이터를 향상시켰다 시뮬레이션에서는 하나의 마스터와 두 개의 일반 노드로 구성된 네트워크 토폴로지를 사용하였다 이런 토폴로지는 본 알고리즘의 성능을 테스트할 수 있는 가장 단순한 구성이다. 무선 채널은 이상적이라고 가정하였고, 따라서 비콘 손실 실험을 제외하고는 데이터가 노이즈나 신호왜곡을 통해 깨지는 현상을 고려하지 않았다 물리적 계층의 데이터 속도는 100Mbps이다 하지만, 패킷 헤더나 비콘 등의 네트워크 부하를 고려하면, 시스템이 실제로 도달할 수 있는 최대 대역폭은 70Mbps정도이다. 네트워크 부하 계산 시에는 물리적 대역폭 대비 적용된 트래픽을 사용하였다 이는 실제로 가능한 최대 네트워크 부하가 그림에서 제시된 값보다 적음을 의미한다

기본적인 실험방법론은 각 알고리즘 별로 트래픽 부하를 증가시키면서 여러 성능지수들을 관찰하는 것이다 데이터 패킷은 첫번째 노드에서 생성되어, 두번째 노드로 직접 전송된다 마스터는 출입제어, 스케줄링만을 관여하여 실제 데이터 패킷 전송에는 관여하지 않는다 모든 시뮬레이션은 200초간 40개의 랜덤 시드와 서로 다른 슈퍼프레임 길이(4ms, 8ms, 10ms)를 사용하여 이루어졌다 동적 슈퍼프레임에서는 주어진 슈퍼프레임의 길이가 최대 슈퍼프레임의 길이로 사용되었다

트래픽은 mpeg4 트래픽 생성기[11]로 만들어진 MPEG-4 비디오 스트림으로 구성되었으며, 트래픽의 모든 패킷은 33ms의 데드라인을 가진다.

QSI는 증가하는 네트워크 부하야래서 관찰되었고, 네트워크 부하는 VBR 플로우의 수를 증가시킴으로써 증가시켰다 QSI는 모든 큐 길이의 차이(마스터가 이는 큐 길이와 실제 노드의 큐 길이)의 합으로 계산되었다

그림 2 는 슈퍼 프레임의 처음과 마지막에 스케

줄되는 플로우의 QSI를 나타내고 있다 처음 플로우는 항상 슈퍼프레임의 첫번째 부분을 차지하고 있고, 각 플로우들이 차례로 따라오는 형태를 취하고 있다. 그래프는 QSI를 각 플로우의 전송된 전체 패킷의 수에 대한 비율로 나타내고 있다.

우선, 첫번째 플로우의 경우를 살펴보자. 낮은 또는 중간 중도의 네트워크 부하에서 정적 슈퍼프레임 알고리즘들은 94%라는 매우 큰 QSI값을 가지고, 이 값은 네트워크 부하가 증가하면서 71%까지 감소한다 그런 감소는 네트워크 부하가 증가에 따른 스케줄러의 반응 때문에 생긴다 네트워크 부하가 높아짐에 따라 플로우가 슈퍼프레임의 점점 작은 부분을 차지하게 되고, 시간 슬롯들은 더 많은 슈퍼프레임에 걸쳐 퍼지게 된다 그런 퍼짐은 노드들이 마스터에게 자신의 상태를 알려주는 기회가 더 많아짐을 뜻하게 되고, 이는 QSI가 줄어들음으로 나타난다.

동적 슈퍼프레임 알고리즘들은 네트부하가 증가할 때 네트워크 부하가 55%가 될 때까지는 QSI가 증가세를 보이다가, 이후부터는 정적 슈퍼프레임 알고리즘과 같이 감소세로 돌아선다 네트부하가 적을 때, QSI가 증가세를 보이는 이유는 네트부하가 증가함에 따라 슈퍼프레임의 길이가 길어지게 되고, 이는 첫 플로우의 마지막 패킷과 해당 슈퍼프레임의 끝까지의 거리가 멀어짐을 의미한다 그런 거리의 멀어짐은 노드의 큐의 길이가 다음 슈퍼프레임이 시작되기 전에 변경될 가능성이 높아짐을 의미한다 네트부하가 50%가량 되었을 때, 슈퍼프레임 길이는 동적 슈퍼프레임 알고리즘이 허용하는 최대 길이에 이르고, 네트워크 부하가 그 이상 증가하면, 동적 슈퍼프레임 알고리즘들은 정적 슈퍼프레임 알고리즘과 유사하게 동작한다

그림 2를 보면, 마지막 플로우의 QSI는 처음 플로우의 경우와는 다른 특성을 보임을 알 수 있다. 정적과 동적 슈퍼프레임 알고리즘의 경우, 네트워크의 부하가 증가함에 따라, 모두 마지막 플로우의 QSI는 처음 플로우의 QSI에 비해 보다 급격하게 떨어진다. 그런 급격한 감소는 네트워크의 부하가 증가함에 따라 마지막 플로우와 해당 슈퍼프레임의 끝 사이의 거리가 작아지기 때문이다 정적 슈퍼프레임 알고리즘들은 고정된 길이의 슈퍼프레임을 사용하기 때문에 네트워크의 부하가 적을 때는 마지막 플로우도 슈퍼프레임의 끝부터는 멀리 떨어지게 되고, 이는 곧 높은 QSI로 나타난다

동적 슈퍼프레임 알고리즘의 경우에는, 마지막 플

로우는 항상 슈퍼프레임의 마지막에 위치하는데, 이 경우에도 QSI가 14%부터 0%까지 감소하는 추세를 관찰할 수 있다. 이는 슈퍼프레임의 길이가 짧을수록, 새로운 패킷이 스케줄링의 시각시간(마지막 패킷의 전송된 후부터, 스케줄링 되기 직전까지의 시간)에 도착할 확률이 증가하기 때문이다.

III. 제안된 알고리즘

앞서 기존의 알고리즘들을 분석을 통해 정적 슈퍼프레임은 그 구성의 단순성, CBR 트래픽의 스케줄링 용이성, 전력절약 모드의 구현용이성의 장점이 있지만, 동시에 대역폭의 비효율적 활용(여유 시간 슬롯의 낭비)나 높은 QSI 값 등의 단점을 가지고 있음을 확인하였다. 그런 단점으로 인해, 시스템의 성능이 슈퍼 프레임의 크기 및 네트워크 부하상황에 따라 크게 변화되었다.

동적 슈퍼프레임 알고리즘은 실패율과 응답시간 측면에서 좋은 성능을 보였다. 이는 네트워크 부하에 따른 슈퍼프레임의 길이가 변하는 유연성과 낭비되는 시간슬롯이 없다는 점에 기인하고 있다. 다른 한편으로는 동적 슈퍼프레임 알고리즘은 보다 복잡하고, CBR 플로우의 관리와 전력절약 모드의 구현이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

두 슈퍼프레임 알고리즘의 장/단점을 분석하여, '계층적 슈퍼프레임 알고리즘'을 제안한다. 제안한 알고리즘은 복잡하지 않으면서, 동적 슈퍼프레임 알고리즘에 준하는 성능을 내고, CBR 트래픽의 스케줄링과 전력절약 모드의 구현을 쉽게 하는 특징을 가지고 있다.

알고리즘의 단순성을 유지하기 위하여, 고정된 길이의 슈퍼프레임을 사용하면서도, 미니 비콘의 도입을 통하여 동적 슈퍼프레임 알고리즘의 장점을 취하였다. 제안된 알고리즘에서는 미리 약속된 길이의 슈퍼프레임을 주기로 비콘이 전송되다, 해당 슈퍼프레임에서 여유시간이 있을 경우, 미니비콘을 전송하여 남은 여유시간을 다시 할당하여 사용하게 된

다.

제안된 알고리즘의 동작을 설명하기 위해 그림 3의 연속한 두 개의 슈퍼프레임의 경우를 보자. 그림1의 정적 슈퍼프레임 알고리즘의 경우에는, N과 N+1 슈퍼프레임 모두 노드들에게 할당되지 않은 여유 슬롯을 가지고 있지만, N+1 슈퍼프레임에 있는 여유시간슬롯은 전송될 패킷이 있음에도 불구하고 마스터가 가진 정보의 부정확성으로 사용되지 못한 채 낭비되고 있었다.

제안된 알고리즘에서는 미니비콘의 도입으로 ($t_1, t(SF_size)$) 구간의 여유슬롯을 다시 할당하여 사용하게 되고, 이는 대역폭 활용의 효율성을 높이는 효과뿐만 아니라, 마스터에 보다 정확한 큐 길이를 알려 줌으로써 N+1번째 슈퍼프레임의 보다 최적화된 스케줄링을 가능케 한다. 보다 최적화된 스케줄링은 ($t_2, 2 * t(SF_size)$) 구간의 효율적 사용을 의미한다. 이렇게 미니 비콘의 사용함으로써 정적 슈퍼프레임 알고리즘의 단순성과 동적 슈퍼프레임 알고리즘의 유연성을 동시에 취할 수 있다. 또 배터리로 동작하는 전력소모의 제약이 심한 기기는 주기적으로 송신되는 비콘만을 수신하고, 미니비콘을 사용하지 않음으로써 전력소비를 줄일 있고, 전력소모의 제약의 제약이 없는 기기는 비콘과 미니비콘 모두를 수신하고, 그를 이용함으로써 대역폭을 최대로 늘릴 수 있다. 주기적인 시간 슬롯의 할당을 요구하는 CBR 트래픽 역시 정기적으로 전송되는 비콘만을 사용함으로써 요구 주기 별로 정확하게 스케줄할 수 있다.

IV. 성능 분석

이 장에서는 앞에서 언급된 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 통한 성능분석을 하고 있다. 제안된 계층적 알고리즘의 성능을 정적/동적 알고리즘을 상대로 비교하였고, 이 때에 사용된 파라미터 값은 2장에서 언급된 바와 같다.

4.1. 성능 지수

알고리즘의 성능을 분석하기 위하여, 다음과 같은 성능지수를 정의하였다.

QSI(Queue Size Inconsistency): 매 슈퍼프레임 별로 합산된 큐 길이 차이(마스터가 인지하고 있는 큐 길이와 슬레이브가 가지는 실제 큐 길이)의 합
 실패율(Job Failure Ratio): 실패하는 패킷의 비율.
 모든 패킷은 각 패킷이 가지는 데드라인 내에 전송

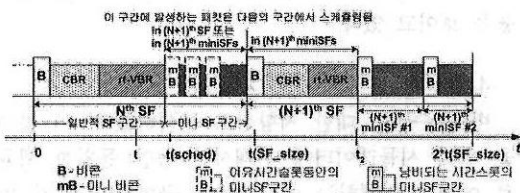


그림 3. 계층적 슈퍼프레임 구조

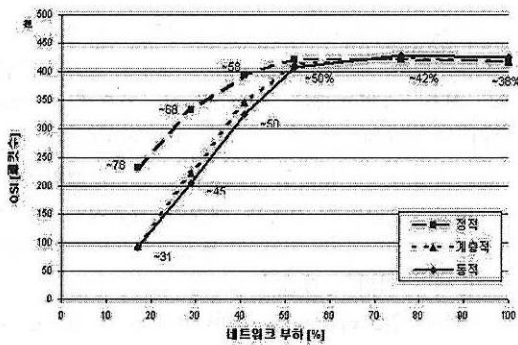


그림 4. QSI

되지 못하면 실패한 것으로 간주하고 버려진다.
 응답시간(Response Time): MAC상위계층에서 내려온 때부터 전송된 후, 그에 대한 수신확인 패킷을 받을 때까지 걸린 시간

4.2. QSI

2.2절에 언급된 시간 슬롯의 낭비현상이 그림 4에 분석되어있다. 이 그림은 세 개의 슈퍼프레임 알고리즘에 대해 네트워크 부하와 QSI와의 관계를 나타내고 있다. 그래프에 세로축은 QSI를 전체 패킷 수의 비율로 나타내고 있다. 2.4절에서는 QSI를 플로우 별로 분석하였고, 이번에는 모든 플로우의 QSI를 합산하여 분석하였다. 제안된 알고리즘은 동적 슈퍼프레임 알고리즘과 유사한 QSI값을 보여주고 있다. 낮은 네트워크 부하에서는 제안된 계층적 슈퍼프레임 알고리즘과 동적 슈퍼프레임 알고리즘은 정적 슈퍼프레임 알고리즘보다 60% 정도 정확한 정보를 사용하게 된다. 네트워크 부하가 증가함에 따라 알고리즘들 간의 정보 정확도의 차이는 줄어든다. 이는 네트워크 부하가 커지면, 동적 슈퍼프레임 알고리즘과 계층적 슈퍼프레임 알고리즘 모두

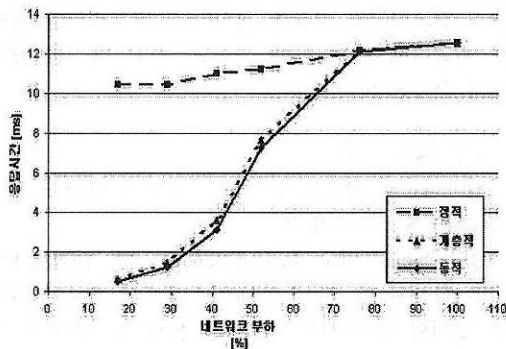


그림 5. 응답시간

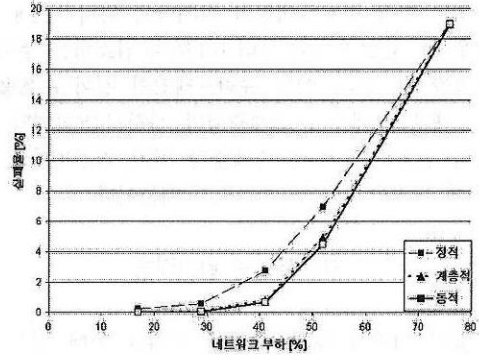


그림 6. 실패율

최대 길이의 슈퍼프레임을 사용하게 되어, 사실상 알고리즘들 간의 차이가 없어지게 되기 때문이다. 이론적으로 많은 트래픽이 적용될수록, QSI는 증가하여야 하고, 그렇다면 그래프는 지속적인 상승세를 보여야 한다. 하지만, 실제실험에서는 네트워크 부하가 시스템의 성능을 넘어서게 되면, 손실되는 패킷이 생기게 되고, 손실되는 패킷의 수는 네트워크 부하가 커짐에 따라 증가하게 된다. 그러므로 높은 네트워크 부하에서 QSI값이 일정하게 유지되는 이유는 증가되는 QSI가 네트워크 과부하로 인한 패킷 손실로 상쇄되기 때문이다.

4.3. 실패율과 응답시간

실패율과 응답시간에 관해서는 그림5와 그림6은 중간 네트워크 부하(30~60%)에서는 제안된 알고리즘들이 정적 알고리즘보다는 우수하며, 이상적인 상황에 근접하는 동적 알고리즘에 준하는 성능을 보이고 있음을 보여준다. 네트워크 부하가 41%일 때는 실패율을 살펴보면, 계층적 알고리즘은 동적 알고리즘과 같이 0.7% 을 가지고 있으며, 이는 정적 알고리즘의 2.7%에 비해 75% 개선된 값이다. 낮은 네트워크 부하(30%이하)에서는 실패율 측면에서는 세 알고리즘이 거의 비슷한 성능을 보이고 있는 반면, 응답시간 측면에서는 그림5에서와 같이 정적 알고리즘이 가장 나쁜 성능을 보여주고 있다. 높은 네트워크 부하에서는 세 알고리즘이 모두 비슷한 실패율을 보이고 있다.

4.4. 비콘 손실에 대한 저항성

비콘 손실에 대한 저항성도 분석하였다. 이 분석을 위해 시뮬레이터에 전체시간 동안 동일한 확률로 에러를 발생하는 에러모델을 구현하였다. 세 알

고리들의 비콘에 대해 3%와 5% 확률로 에러가 발생하여 비콘이 손실된다고 가정하고 시뮬레이션을 하였다. 미니비콘 역시 같은 확률로 비콘이 손실된다고 가정하였다. 시뮬레이션에서 사용한 성능지수는 실패율의 변화율로서, 이 값은 이상적인 상황과 비콘손실이 있는 상황에서의 실패율의 차이의 비율을 의미한다. 그림7은 각각 3%와 5%의 확률로 비콘이 손실될 때의 실패율의 변화율을 네트워크 부하를 변화시키며 측정한 값의 그래프이다.

제안된 계층적 슈퍼프레임 알고리즘은 동적 알고리즘과 거의 같은 성능을 내는 반면에, 정적 슈퍼프레임 알고리즘은 비콘 손실에 크게 영향을 받는 것을 볼 수가 있다. 모든 상황에서 제안된 계층적 슈퍼프레임 알고리즘은 정적 슈퍼 프레임 알고리즘에 비해 낮은 실패율 변화율을 보이고 있다. 5% 비콘 손실과 50% 네트워크 부하에서 정적 알고리즘은 이상적인 경우에 비해 5.6%의 실패율 변화율을 보이는 반면, 제안된 알고리즘은 2%의 실패율 변화율을 보이고 있다. 이 경우, 제안된 알고리즘은 63% 적은 실패율 변화율을 보이고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 802.15.3의 특성에 대해 연구하였고, 슈퍼프레임 알고리즘이 전체 성능에 큰 영향을 미침을 알게 되었다. 기존의 정적 및 동적 슈퍼프레임 알고리즘의 장단점을 분석하였고, 그런 분석을 기반으로 '계층적 슈퍼프레임 알고리즘'이라는 새로운 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘을 기존의 두 알고리즘과 함께 성능분석을 하고, 비교하였다. 성능분석에서는 다양한 성능지수들을 사용하였고, 비콘 손실에 대한 저항성 역시 성능지수 중 하나로

사용되었다. 분석결과, 제안된 알고리즘은 기존의 두 슈퍼프레임 알고리즘의 단점은 최소화하면서, 장점은 고스란히 이어받았음을 알 수 있었다.

앞으로는 제안된 슈퍼프레임 알고리즘에 최적화된 스케줄링 알고리즘을 연구할 계획이며, TCP 트래픽에서의 성능 역시 분석할 예정이다.

참고 문헌

- [1] R. Cusani, M.Torregiani, F. Delli Priscoli, G.Ferrari, "A novel MAC and Scheduling strategy to guarantee QoS for the new-generation WIND-FLEX wireless LAN", *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.9 No.3 , June 2002, pp. 46-56
- [2] www.bluetooth.com
- [3] Robert F. Heile, Ian C. Gifford, James D. Allen, Patrick Kinney, et. all, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN)", *Draft Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems*, Draft P802.15.3/D15, October 2002
- [4] Ajay Chandra V. Gummalla, John O. Limb, "Wireless Medium Access Control Protocols", *IEEE Communications Surveys*, Second Quarter 2000
- [5] J. C. Chen, K. Sivalingam, P. Agrawal, and S. Kishore, "A Comparison of MAC Protocols for Wireless Local Networks Based on Battery Power Consumption", *Proceedings of IEEE INFOCOM '98*, April 1998
- [6] Chung Gu Kang, Chang Wook Ahn, Kyung Hun Jang, Woo Sik Kang, "Contention-Free Distributed Dynamic Reservation MAC Protocol with Deterministic Scheduling (C-FD3R MAC) for Wireless ATM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18 Issue: 9 , Sept. 2000, pp. 1623 -1635
- [7] N. Passas, L. Merakos, D. Skyrianoglou, F. Bauchot, G. Marmigere and S. Decrauzat, "MAC Protocol and Traffic Scheduling for Wireless ATM Networks", *Mobile Networks*

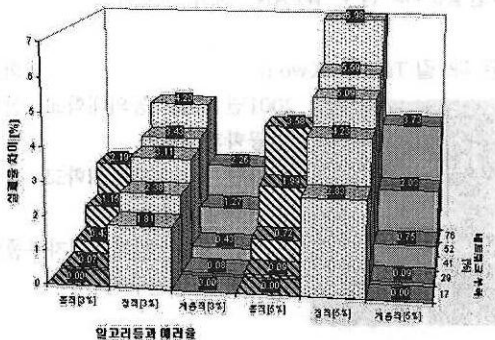


그림 7. 비콘 손실시의 실패율 변화율

and Applications, Vol. 3, Issue 3, 1998, pp. 275 - 292, ISSN:1383-469X

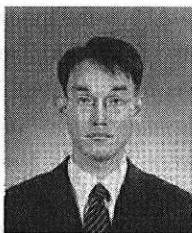
[8] R. Mangharam and M. Demirhan, "Performance and simulation analysis of 802.15.3 QoS", *IEEE 802.15-02/297r1*, Jul. 2002

[9] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[10] Lu C., Stankovic J.A., Tao G., Son S.H., "Design and evaluation of a feedback control EDF scheduling algorithm", *Real-Time Systems Symposium, 1999. Proceedings. The 20th IEEE*, 1-3 Dec. 1999, pp. 56 -67

[11]<http://www.sce.carleton.ca/~amatrawy/mpeg4/>

연 규 정(Kyu-Jung Youn) 정회원



1997년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업
1999년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업
2002년 1월~현재: 전자부품연구원 전임연구원

<관심분야> 무선네트워크, WPAN

전 선 도(Sun-Do June) 정회원



1993년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업
1995년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 석사
2000년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 박사
2000년 3월~2002년 4월: 삼성

종합기술연구원 전문연구원

2002년 5월~현재: 전자부품연구원 책임연구원

<관심분야> 무선 네트워크, 음성인식, HCI, 통계 및 적응 신호처리

이 장 연(Jang-Yeon Lee) 정회원



1996년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업
2002년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 석사
1996년 3월~2000년 1월: 삼성 전자 정보통신본부 주임연구원

2002년 1월~현재: 전자부품연구원 선임연구원

<관심분야> 무선네트워크(WPAN, WLAN), 임베디드 시스템

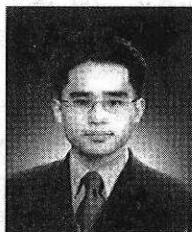
이 현 석(Hyeon-Seok Lee) 정회원



2000년 2월 : 한양대학교 전자, 전자통신, 전파공학과 졸업
2002년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
2002년 1월~2003년 2월: 삼성 전기 주임연구원
2003년 2월~현재: 전자부품연구원 전임연구원

<관심분야> 무선MAC, 임베디드 시스템

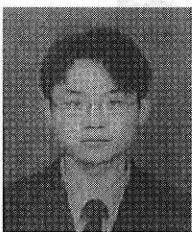
원 윤 재(Yun-Jae Won) 정회원



2000년 2월 : 고려대학교 산업공학과 졸업
2002년 2월 : 고려대학교 산업시스템공학과 석사
2002년 1월~현재: 전자부품연구원 전임연구원

<관심분야> ITS, WPAN, 센서 네트워크

권 대 길(Tai-Gil Kwon) 정회원



2001년 2월 : 동의대학교 산업공학과 졸업
2003년 8월 : 고려대학교 산업시스템공학과 석사
2003년 9월~현재: 전자부품연구원 전임연구원

<관심분야> 임베디드 시스템, 멀티미디어