

IEEE 802.15.4 기반의 미래병사체계 시스템 설계에 관한 연구

허준*, 이상진**, 최용훈*, 최효현***

A Study on Land Warrior System Design Based on IEEE 802.15.4

Jun Heo*, Sang-Jin Lee**, Yong-Hoon Choi*, Hyo Hyun Choi***

요약

본 논문에서는 개인 영역의 저속 데이터 전송률을 요구하는 응용을 운용하기 위한 미래병사체계의 시스템 모델을 제안한다. 저속 데이터 전송률을 요구하는 응용들은 기존의 무선 센서 네트워크기술을 참조할 수 있지만, 상이한 데이터 전송률을 지원하기에 적합하지 않다. 이러한 기존 시스템의 문제점들을 해결하기 위하여 미래병사체계에 적합한 CSMA/CA 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 데이터 전송률에 기반을 두어 CSMA/CA 알고리즘의 파라미터를 가변하도록 설계되었다. 제안한 시스템 모델 및 알고리즘은 Castalia를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 시스템 모델이 기존 방식과 비교하여 데이터 처리량이 개선되고, 충돌 확률이 감소함을 확인할 수 있었다.

▶ Keyword : 미래병사체계, IEEE 802.15.4, CSMA/CA, 무선센서네트워크, 개인영역네트워크

Abstract

In this paper, applications that require low-speed data rate on personal area network to operate the Land Warrior system is proposed. These applications can refer to WSN(wireless sensor network) technology. However, this technology is not suitable to support various data transmission rate. A suitable CSMA/CA algorithm for Land Warrior System in order to solve these existing system problems is proposed. The proposed algorithm is designed to be variable CSMA/CA algorithm parameter, depending on data rate. For the evaluation of Land Warrior system model and CSMA/CA algorithm, we used Castalia. As a result of the simulation, it is found that the

• 제1저자 : 허준 • 교신저자 : 최용훈

• 투고일 : 2012. 03. 09, 심사일 : 2012. 03. 21, 게재확정일 : 2012. 04. 03.

* 광운대학교 제어계측학과(Dept. of Information and Control Engineering, Kwangwoon University)

** (주)애드윈 통신연구소(Communication R&D Center, Addwin Co., Ltd.)

*** 인하공업전문대학 컴퓨터정보과(Dept. of Computer Science, Inha Technical College)

proposed system model can not only relieve loads of data processing, but also probability of collision was decreased.

▶ Keyword : Land Warrior, IEEE 802.15.4, CSMA/CA, Wireless Sensor Network, Personal Area Network

I. 서론

미래의 전장은 과학기술의 발전에 따라 다차원 동시 통합 전투의 정보전으로 표현되고 있다. 즉, 정보위성, 항공기, 화력체계 등 모든 무기체계가 하나의 정보통신망 내에서 실시간 전투정보를 상호 공유하면서 작전을 수행하게 된다[1]. 또한 미래 디지털 전장 환경에서의 무기체계에 대한 개념의 변화가 요구되어 병사 자체도 하나의 체계로 고려하여 시스템화 되어야 한다. 미래병사의 무기체계는 관측 및 통신 능력, 공격 및 이동 능력과 방어력 등을 응집성이 있고 균형이 유지되도록 통합되고 모듈로 된 하나의 시스템으로 구성되어야 한다. 이러한 미래병사체계 운용을 위해서는 무장, 지휘/통제, 컴퓨터/통신, 개인장구, 동력 등의 구성요소를 포함하여야 한다[2].

컴퓨터 및 통신은 분야는 정보를 생산, 출력, 저장하며 필요한 정보를 무선 또는 유선으로 송수신한다. 미래병사체계에서 통신 분야는 큰 범위에서는 외부의 네트워크와 통신을 수행하고, 작은 범위에서는 병사 개인이 소유하는 단말 간에 통신을 수행하기 위한 부분으로 구분할 수 있다[3].

개인 영역의 네트워크는 인체 주위에서 통신을 수행하게 되고, 주로 센서, GPS, 영상 및 음성 데이터를 다루는 단말로 구성될 것이다. 그 중에서 음성 및 영상과 같은 데이터의 경우 블루투스과 같이 해당 응용에 적합한 기술을 적용하여 구현할 수 있으며, 센서와 같이 저속 데이터 전송률을 요구하는 응용들은 기존의 무선 센서 네트워크 기술을 참조할 수 있다[4][5].

하지만 무선 센서 네트워크 기술을 적용하여 미래병사체계의 저속 통신 시스템을 구현하는데 있어 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 미래병사체계의 통신 분야 응용은 기존의 센서 네트워크 응용과는 다르게 응용서비스 별 상이한 서비스 품질을 요구한다. 노드의 종류에 따라 데이터 전송률이 다르기 때문에 기존의 채널 접근 방법을 그대로 적용하면 네트워크의 성능이 저하된다. 특히, 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드에서 전송 성공 확률이 감소한다[6-8].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 미래병사체계의 통신 분야 중에서 저속 데이터 전송률을 요구하는 응용들에 대한 시

스템 모델을 제안하였다. 원 홈 위주로 구성되는 개인 영역 네트워크에서 가능한 전송 확률을 보장하기 위한 시스템 모델을 제안하였다. 또한, 제안한 시스템 모델에서 채널 사용 효율을 개선하기 위하여 데이터 전송률을 고려한 CSMA/CA 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘을 운용하기 위해 MAC 프레임 타입을 설계 및 성능평가를 하였으며, 데이터 전송률에 따라 CSMA/CA 알고리즘의 파라미터를 가변할 수 있도록 구현하였다. 250kbps 내에서 상대적으로 높은 데이터 전송률을 처리하기 위한 High-Rate 큐와 전송률이 낮은 데이터를 처리하기 위한 Low-Rate 큐를 두어, 큐에 따라 다른 파라미터를 적용받도록 설계 및 성능평가를 하였다. 그 결과 미래 병사 체계의 통신 분야를 구성하는 노드들로 구성된 네트워크에서 기존의 무선 센서 네트워크를 적용하였을 때 보다 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

본 논문의 세부 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 미래병사체계와 무선 센서 네트워크 기술의 기반인 IEEE 802.15.4 기술을 설명하였으며, 제 3장에서 미래병사체계의 통신 분야에 적합한 시스템 모델 및 CSMA/CA 알고리즘을 제안하였다. 제 4장에서 제안한 시스템의 성능을 평가하고 결과를 분석한다. 제 5장에서 결론 및 추후 연구 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

1. 미래병사체계

현재의 미래병사체계는 무기체계의 한 분야로 소부대 전술 네트워크와 연동하면서 미래 디지털전장 환경에 적응하고, 효과적으로 임무를 수행할 수 있도록 지휘통제는 물론 치명성, 생존성, 임무지속성 및 기동성을 현격히 향상시킴으로서 전투 병사 개개인을 하나의 단위무기체계화 하는 것을 의미한다 [2].

1.1 연구동향

미국의 경우 Massachusetts주 Natick에 있는 미 육군 NSC(Soldier Systems Center)에서 개발을 주도하고 있으며 현존 장비의 현대화 등을 통한 1단계 병사체계(Land

Warrior), 현용 첨단기술이 적용된 2단계 병사체계(OFW : Objective Force Warrior), 그리고 미래의 첨단기술 등이 적용될 것으로 예상되는 3단계 병사체계(Future Warrior)로 구분되어 추진되고 있다. 1단계는 현재 실용화되어 이라크 전에서 사용하고 있으며, 2단계는 2010년대의 실용화 목표로 개발 중이며, 3단계는 개념연구 및 핵심기술에 대한 연구를 다양하게 추진하고 있는 것으로 알려져 있다.

1.2 미래병사체계 구성

미래병사체계는 5가지 주요 내용(개인무장, 통합헬멧, 컴퓨터 / 통신, 보호 / 개인장구, 개인 냉난방 / 동력장치)으로 구성되고 첨단 전자기술, 통신, 센서, 개인장구, 소화기 및 위협품목 등 여러 요소를 통합하여 성능이 우수하고 균형이 잡힌 단일체계로 개발 될 것으로 예상된다. 그림 1은 미래병사체계 운용을 위한 주요 구성요소를 그림으로 나타내었다[3].

미래병사체계 운용을 위한 구성요소 중 컴퓨터 및 통신 분야는 정보를 생산, 출력, 저장하며 GPS 수신기와 연결된 내부 항법장치에 의해 자료를 제공하고, 영상을 무선으로 전달하는 기능을 담당한다. 또한 각각의 병사는 개인용 컴퓨터 및 통신 시스템을 활용 음성으로 통제되지 않는 지역까지 정보를 취급할 수 있으며, 센서(화학탐지기, 개인생체 모니터, 열상 카메라, 거리 측정기 및 전투식별 호출 응답기)간의 인터페이스를 제공하며, GPS수신기와 연결된 내부 항법장치를 통해 위치 및 항법자료를 제공할 뿐만 아니라, 신호 및 영상의 각종 자료를 디지털부호로 전환하여 전송하는 역할을 할 것이다.

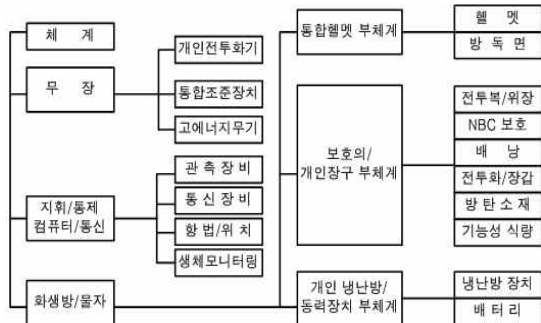


그림 1. 미래병사체계 운용을 위한 주요 구성요소
Fig. 1. Land Warrior for the Operation of Major Component

1.3 통신 분야의 응용서비스 특성

미래병사체계의 통신 분야는 다양한 응용으로 구성될 수 있다. 큰 범위에서는 군단 중심의 네트워크(대대망, 중대망, 소대망) 및 위성과 같은 외부 네트워크와의 연동 등을 구성될 수 있으며, 작은 범위에서는 병사 중심의 개인 영역 네트워크

를 구성할 수 있다. 병사 중심의 개인 영역 네트워크는 응용에 따라 다양한 기술이 적용될 수 있으며, 응용서비스의 특성에 적합한 기술을 선택하여야 한다.

미래병사체계의 개인 영역 네트워크를 구성하는 장비 중에 센서를 이용한 응용들은 기존의 WBAN 및 WSN 기술을 적용할 수 있다. WBAN 기술은 인체 내부 네트워크와 인체 외부 네트워크를 포함하고 있으며, 미래병사체계에는 인체 외부 네트워크 기술을 참고할 수 있다. WSN 기술은 미래병사체계의 저속 센서 응용서비스에 적용을 고려할 수 있다. 하지만 일반적인 WSN 응용과는 다르게 응용 서비스 종류에 따라 상이한 서비스 품질을 요구한다[4]. 표 1은 미래병사체계에서 사용될 수 있는 센서의 요구사항을 나타낸다.

표 1. 미래병사체계의 응용서비스 요구사항
Table 1. The Requirements for Land Warrior Application Services

응용서비스	전송률	지연시간
심전도	192 kbps	< 250 ms
뇌피도	86.4 kbps	< 250 ms
혈압	1 kbps	< 250 ms
Audio	1 Mbps	< 20 ms
Video	< 10 Mbps	< 100 ms
Voice	50-100 kbps	< 10 ms
적외선	< 250 kbps	-
화학탐지	< 250 kbps	-
진동감지	< 250 kbps	-

2. IEEE 802.15.4 기술

저속-WPAN(LR-WPAN: Low Rate Wireless Personal Area Network)은 비교적 단거리 내에서 정보를 전송하는 데 사용된다. 무선 LAN과는 달리 기반구조(Infrastructure)를 필요로 하지 않으므로, 다양한 종류의 디바이스에 소형, 저전력, 저가의 무선통신을 가능하게 한다. IEEE 802.15.4는 이러한 저속 WPAN을 위한 PHY 계층과 MAC 계층의 표준이다.

저속-WPAN은 제한된 전력과 낮은 데이터 처리율이 요구되는 곳에서 무선 접속으로 간단하게 구성할 수 있는 저비용의 통신 네트워크이다. 저속-WPAN은 설치가 용이하고, 신뢰성 있는 데이터 전송, 근거리에서의 동작, 초저가 비용, 그리고 합리적인 배터리 수명 등의 특징을 가지고 있으면서도 유지보수가 간단하고 유연한 프로토콜이 주된 특징이다. 저속-WPAN은 일반적으로 250kbps의 무선 데이터 전송률을 보

장하고, 성형(Star) 혹은 P2P(Peer-to-Peer)로 지원하며, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 채널 액세스를 기반으로 동작한다.

2.1 IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

저속 WPAN은 슈퍼프레임(Superframe) 구조를 선택적으로 사용할 수 있으며, 같은 사이즈를 갖는 16개의 슬롯으로 구성된다. 슈퍼프레임은 활동 구간(Active Period)과 비활동 구간(Inactive Period)이 존재한다. 비컨 프레임은 각 슈퍼프레임의 첫 번째 슬롯에서 전송되고, 만약 코디네이터가 슈퍼프레임의 사용을 원하지 않는다면 비컨이 전송되지 않는다. 비컨 사이에 있는 활동 구간의 CAP(Contention Access Period) 기간에서 통신하기를 원하는 디바이스는 Slotted CSMA/CA 방식을 사용하여 다른 디바이스들과 경쟁해야 한다.

슈퍼프레임의 활동 구간은 같은 간격으로 슬롯화된 'aNumSuperframeSlots'으로 나누어지며 비컨, CAP, CFP 세 부분으로 구성된다. 비컨은 CSMA를 사용하지 않고 슬롯 0의 시작에 전송되며, CAP는 비컨 다음에 바로 시작된다. CFP (Contention Free Period)가 존재하면 CAP 이후에, 슈퍼프레임의 활동 구간의 마지막까지 확장된다. 저속 WPAN(Wireless Personal Area Network)에서 사용되는 슈퍼프레임 구조는 그림 2와 같다[5].

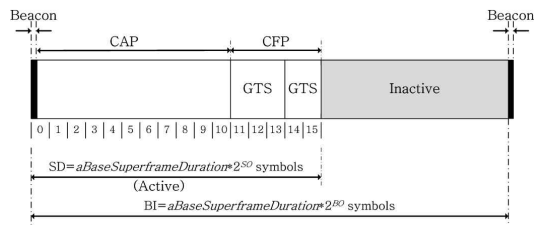


그림 2. 슈퍼프레임 구조
Fig. 2. Superframe Structure

2.2 CSMA/CA 알고리즘

CSMA/CA 알고리즘은 CAP 내에서 전송되는 데이터나 MAC 명령어 프레임 전송 전에 사용되며, 그렇지 않으면 프레임은 데이터 요청 명령어의 ACK에 이어 즉시 전송된다.

만약 PAN에서 주기적인 비컨이 사용되면, MAC 부계층은 슈퍼프레임 CAP에서의 전송에 대해 CSMA/CA 알고리즘의 슬롯화 버전을 사용한다. Slotted CSMA/CA 알고리즘은 백오프 기간(Backoff Period)이라 불리는 시간 단위를 사용하여 구현되며, 여기에서 하나의 백오프 기간은

'aUnitBackoffPeriod' 심볼과 동일하다. Slotted CSMA/CA에서 PAN에 있는 모든 디바이스의 첫 번째 백오프 기간의 시작은 비컨 전송의 시작과 일치한다. Slotted CSMA/CA에서 MAC 부계층은 PHY가 백오프 기간의 경계에서 모든 전송이 시작되는 것을 보장한다.

각 디바이스들은 매 전송에 대해 NB, CW, BE 3개의 변수를 관리한다. NB는 CSMA/CA 알고리즘에서 현재의 전송 동안에 시도된 백오프 횟수이다. 이 값은 매번 새로운 전송 시도 전에 0으로 초기화된다. CW는 경쟁 윈도우 (Contention Window) 길이이며, 전송이 시작되기 전에 채널 활동이 깨끗해지는 데 필요한 백오프 기간으로 정의된다. 이 값은 매번 새로운 전송 시도 전에 2로 초기화되며, 채널 액세스할 때 사용 중이면 2로 재설정된다. BE는 백오프 지수 (Backoff Exponent)이며, 한 디바이스가 채널 액세스하기 전에 얼마나 많은 백오프 기간을 대기해야 하는지와 관련되어 있다. 수신된 BLE (Battery Life Extension) 서브 필드가 0으로 설정된 시스템에서 BE는 macMinBE 값으로 초기화된다. 반대로 1로 설정되어 있으면, BE 값은 2와 macMinBE 값 중에서 작은 값으로 초기화된다. 만약 macMinBE가 0으로 설정되면 알고리즘의 첫 번째의 충돌 회피 기능이 정지된다.

그림 3은 CSMA/CA 알고리즘의 순서도이다[5].

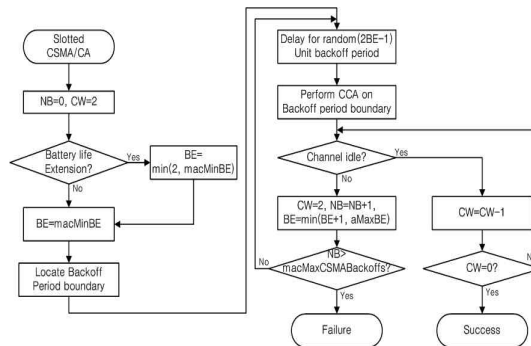


그림 3. CSMA/CA 알고리즘
Fig. 3. CSMA/CA Algorithm

III. 본 론

본 장에서는 미래병사체계의 통신 분야에 적합한 시스템 모델 및 제안하는 CSMA/CA 알고리즘에 관하여 기술한다. 제안하는 시스템 모델은 개인 영역 네트워크의 응용을 고려하였다. 그중에서 무선 센서 네트워크 기술을 적용할 수 있는

응용을 고려하였으며, 고속 데이터 전송을 요구하는 응용은 제외한다. 제안하는 CSMA/CA 알고리즘 IEEE 802.15.4 MAC 계층을 기반으로 하였으며, MAC 프레임과 함께 경쟁구간에서 성능 향상을 목적으로 설계 및 성능평가를 실시하였다.

1. 미래병사체계 통신 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 시스템 모델은 개인(인체) 영역에서 저속 센서 네트워크 기술을 사용하는 통신을 의미하며, 250kbps 이하의 전송속도에서 동작하는 것으로 제한한다. 250kbps 이상의 전송속도를 요구하는 응용은 무선센서 네트워크 기술이 아닌 다른 기술을 적용하여야 한다. 예를 들면 개인 영역 네트워크에서 이어폰과 마이크간의 무선 음성(voice)통신 또는 오디오(audio)와 같은 응용은 센서 네트워크 기술이 아닌 블루투스 등의 기술을 적용할 수 있을 것이다.

제안하는 시스템의 토폴로지 구조는 개인 영역 네트워크의 요구사항을 고려하여 그림 4와 같이 원 홉(One-Hop) 기반의 스타 토폴로지(Star Topology)를 기본으로 하여 구성되며, 신호 감쇄로 인한 경로 손실(Path Loss)을 고려해 멀티홉(Multi-Hop) 전송이 가능한 메쉬 토폴로지(Mesh Topology)를 지원할 수 있다. 망은 센서 네트워크를 관리하는 NC (Network Coordinator) 노드와 센서 노드로 구성된다.

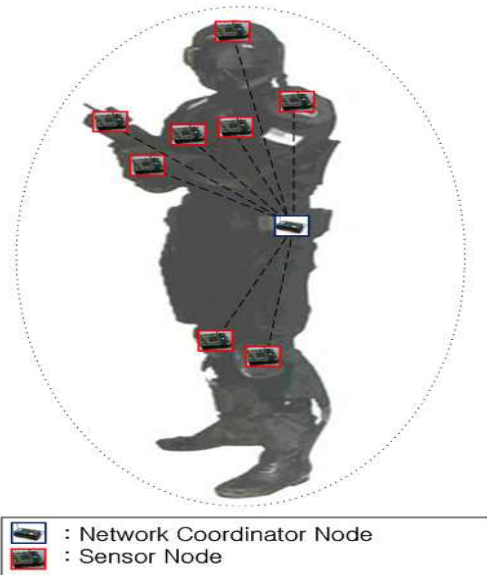


그림 4. 미래병사체계의 네트워크 토폴로지
Fig. 4. Network Topology of Land Warrior

2. 제안하는 CSMA/CA 알고리즘

미래병사체계에 사용되는 센서들은 기존의 센서 네트워크에 사용되는 센서와는 다르게 다양한 데이터 전송률을 요구한다. 250kbps 이하의 데이터 전송률 내에서도 응용 어플리케이션에 따라 1kbps~250kbps까지 상이한 데이터 전송률을 가진다. 한정된 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 다양한 전송률을 지원하는 시스템이 절실히 필요하다.

이러한 기존 시스템의 문제점들을 해결할 수 있는 미래병사체계에 적합한 시스템 모델을 구축하기 위해서 다음 방안을 제안하였다. 상이한 데이터 전송률을 지원하기 위해 MAC 프레임을 구분하여야 하며, 기존의 IEEE 802.15.4와 호환을 고려하여 미래병사체계에 적합한 MAC 프레임 구조를 제안하였다. 또한, 데이터 전송률을 고려한 큐를 설정함으로써 전송률에 따라 CSMA/CA 파라미터를 설정하는 알고리즘을 제안하였다.

2.1 MAC 프레임 구조

상이한 데이터 전송률을 지원하기 위해 MAC 프레임의 "프레임 제어 필드"의 "Frame Type" 서브 필드를 수정하여 250kbps 내에서 상대적으로 고속 데이터(High-Rate)와 저속 데이터(Low-Rate) 포맷을 추가하였다. 프레임 제어 필드는 2 옥텟의 크기를 가지며, "Frame Type" 서브 필드는 3비트의 크기로 구성된다. 표 2의 값들 중에 하나로 설정되어야 하며, 000~011은 기존 센서 네트워크와의 연동을 위해 필요하며, 미래병사체계에서는 데이터 전송률에 따라서 100 또는 101로 설정되어야 한다.

표 2. 프레임 타입 서브 필드 값
Table 2. Values of The Frame Type Subfield

프레임 타입 값	설명
000	비컨 프레임
001	데이터 프레임
010	Ack 프레임
011	MAC 명령어 프레임
100	High-Rate 데이터 프레임
101	Low-Rate 데이터 프레임
110 - 111	Reserved

또한, 망 가입 및 자원 요청 등에 사용되는 MAC 명령어 프레임의 가입 요청 명령어의 능력 정보 필드를 수정하였다. 능력 정보 필드의 구성은 IEEE 802.15.4와 구성은 동일하

지만, "Device Type" 서브 필드의 내용을 변경하여 망 가입을 시도하는 노드가 요구하는 데이터 전송률에 따라 큐를 구분한다. "Device Type" 서브 필드의 값이 1이면 High-Rate의 데이터 전송률을 요구하는 노드를 의미하고, 0이면 Low-Rate의 데이터 전송률을 요구하는 노드를 의미한다.

Bits: 0	1	2	3	4-5	6	7
Alternate PAN Coordinator	Device Type	Power Source	Receiver On When Idel	Reserved	Security Capability	Allocate Address

그림 5. 능력 정보 필드 포맷
Fig. 5. Capability Information Field Format

2.2 데이터 전송률을 고려한 CSMA/CA 알고리즘

IEEE 802.15.4의 표준에 명시된 CSMA/CA 알고리즘은 모든 MAC 프레임에 동일한 파라미터를 적용한다. 하지만 미래병사체계와 같이 다양한 전송률을 요구하는 노드들로 구성되는 네트워크에서는 경쟁구간에서의 성능을 저하시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 트래픽 상황에 따라 동적 CSMA/CA 알고리즘 중심으로 연구가 진행되었으나 이는 기존의 센서 네트워크 환경과 같이 대규모로 구성된 네트워크 환경에서 버스한 트래픽 특성을 가진 네트워크에 적합하다. 미래병사체계와 같은 소규모의 센서 네트워크에서는 데이터 전송 확률이 CSMA/CA 알고리즘의 파라미터에 의존하고 있음을 확인할 수 있다[6][7].

미래병사체계와 같이 상이한 데이터 전송률을 가지는 노드로 구성된 네트워크에서는 동일한 파라미터를 적용하면 충돌로 인한 프레임 손실이 발생할 가능성이 크다. 미래병사체계에서는 작전 또는 임무에 따라 병사의 생명과 직결될 수 있기 때문에 정보의 전송을 최대한 보장해야 한다. 그렇기 때문에 경쟁구간에서도 최대한 전송을 보장할 수 있도록 상이한 데이터 전송률을 지원해야 한다.

제안하는 알고리즘은 기존의 IEEE 802.15.4의 CSMA/CA 알고리즘과 비교하여 다음과 같은 차이점을 가진다. 첫째, 노드들은 상이한 데이터 전송률을 처리하기 위해 다중 큐를 지원한다. 기존의 센서 네트워크 시스템은 일반적으로 단일 큐로 구성되지만, 제안하는 시스템은 데이터 전송률을 구분할 수 있도록 다중 큐로 설계되었다. 본 논문에서는 250kbps의 전송 속도 내에서 128~250kbps의 전송속도를 지원하기 위한 High-Rate 큐와 1~127kbps의 전송속도를 지원하기 위한 Low-Rate 큐를 구성된다. 둘째, 노드들은 전송을 최대한 보장하기 위해 각 큐의 데이터 전송률을 고려하여 CSMA/CA 파라미터를 가변하는 기능을 가지고 있다.

큐에 대기하고 있는 패킷이 CSMA/CA 방식으로 채널에 접근할 때, 제안한 알고리즘은 우선적으로 어느 큐의 패킷이 채널 접근을 시도하는 지를 파악하여, High-Rate 큐와 Low-Rate 큐에 서로 다른 파라미터를 적용한다. High-Rate 큐의 백오프 지수의 범위는 0~3의 값을 가지며, Low-Rate 큐는 3~5의 값을 가지도록 설정되었다. 백오프 지수의 범위를 구분하여 상이한 데이터 전송률 간에 분산화된 채널 접근을 시도하고, 높은 데이터 전송률을 지원하는 큐가 낮은 전송률을 지원하는 큐보다 동일시간 내에 전송기회를 많이 획득할 수 있도록 제안하고 있다. 셋째, CW 값은 3으로, 모든 큐에 동일하게 적용된다. 기존의 알고리즘(CW=2)에 비해 채널 상태를 탐색하는 시간은 증가하지만, 경쟁구간에서의 충돌 확률이 감소된다.

전송률을 고려한 미래병사체계의 CSMA/CA 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 6과 같다.

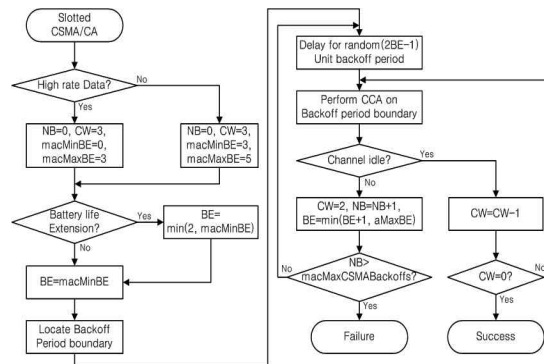


그림 6. 상이한 전송률을 지원하는 알고리즘의 흐름도
Fig. 6. Flowchart of Algorithm to Support Different Rates

IV. 성능평가

본 장에서는 제안한 미래병사체계 통신 분야의 시스템 모델 및 CSMA/CA 알고리즘의 성능을 평가한다. 제안한 알고리즘을 적용한 시스템 모델은 ZigBee 및 IEEE 802.15.4의 시뮬레이션이 가능한 OMNeT++의 Castalia 시뮬레이터를 사용하였다[9].

1. 성능평가 파라미터

제안한 미래병사체계 시스템 모델의 성능평가를 위해서 리눅스 기반의 OMNeT++ 4.1의 Castalia 시뮬레이터를 사용하였다. Castalia는 WSN, WBAN과 같은 저전력을 요구

하는 임베디드 디바이스의 시뮬레이션을 지원한다[9]. 그림 7은 Castalia에서 제공하는 구성요소를 나타내며 이 중에서 필요한 구성요소만 선택하여 시뮬레이션이 가능하다. 본 논문에서는 경쟁구간에서 상이한 데이터 전송률을 지원하는 CSMA/CA 알고리즘의 필요성을 확인하기 위해 동일한 환경에서 노드의 전송률을 변화시키면서 시뮬레이션 할 수 있는 'oneNodeVaryRate'를 선택하였다. 마지막으로 장치들의 상이한 데이터 전송률을 지원하기 위해 IEEE 802.15.4 기반인 'ZigBeeMAC'과 'allNodesVaryRate'를 동시에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.



그림 7. Castalia의 구성요소
Fig. 7. Configurations of Castalia

제한한 시스템 모델은 원 홉 기반의 스타 토폴로지를 사용하였으며, 응용서비스가 요구하는 최대지연인 250ms를 초과하면 전송 실패를 감지하여 패킷을 폐기하도록 설계 및 성능평가를 하였다. 설정된 트래픽 특성은 표 3과 같다. 표 4는 제한한 CSMA/CA 알고리즘에 적용되는 파라미터를 나타낸다.

표 3. 트래픽 파라미터
Table 3. The Traffic Parameters

파라미터	값
트래픽 종류	CBR
통신 범위	7m×7m
노드 개수	≤ 10개
NC 개수	1개
토폴로지	스타
트래픽 방향	양방향

트래픽 파라미터는 미래병사체계의 요구사항을 반영하도록 설정하였다. 고정된 데이터 전송률을 지원하기 위해 고정 비트율 트래픽 모델(CBR)을 적용하였으며, 통신 반경은 시뮬레이터에서 지원하는 최소 단위인 7m를 적용하였다. 노드 개수는 6개부터 10개까지 가변하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 4. CSMA/CA 파라미터
Table 4. The CSMA/CA Parameters

파라미터	1~127(kbps)	128~250(kbps)
macMinBE	3	0
macMaxBE	5	3
CW	3	3

CSMA/CA 알고리즘에 적용되는 파라미터인 macMinBE와 macMaxBE는 데이터 전송률에 따라 서로 다른 값으로 설정된다. macMinBE는 백오프 지수의 최소값을, macMaxBE는 최대값을 의미한다. High-Rate 큐와 Low-Rate 큐가 동일시간에 채널 접근을 시도하는 경우 High-Rate 큐가 우선적으로 채널을 선점할 수 있도록 파라미터를 설정하였다. CW는 경쟁 윈도우의 길이이며, 3으로 설정함으로써 지연시간이 증가하더라도 충돌을 줄이도록 설정하였다. 주로 원홉으로 구성되는 미래병사체계의 시스템에서 CW의 값을 3으로 설정하여도 응용서비스가 요구하는 지연시간을 초과하지 않는다.

2. 성능평가 결과

본 논문의 성능평가는 IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조의 경쟁구간에서의 데이터 프레임의 전송으로 수행되었다. 시뮬레이션 결과로써 처리량(throughput), 패킷 손실(packet loss), 전송 성공 확률(data delivery ratio)을 도출하였다. 지연시간은 250ms를 초과하는 경우에는 수신하더라도 패킷을 폐기함으로써 최대 지연시간이 250ms를 넘지 않도록 설계 및 성능평가를 하였다.

2.1 데이터 전송률에 따른 전송 성공 확률

동일한 데이터 전송률을 가지는 노드로 구성된 네트워크의 경쟁구간에서 노드의 데이터 전송률을 1kbps에서 250kbps 까지 50kbps 간격으로 변화시키면서 성능을 측정하였다. 한 개의 NC와 여섯 개의 노드를 사용하였으며, 여섯 개의 노드는 모두 동일한 데이터 전송률을 갖는다. 그림 8은 경쟁구간에서 전송되는 주기적인 데이터의 실험 결과이다.

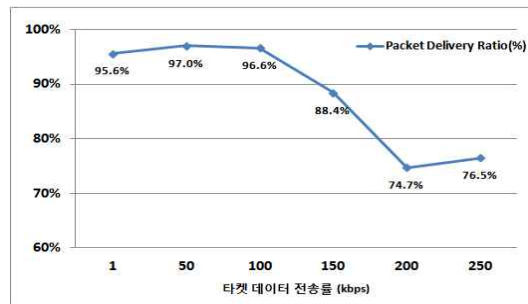


그림 8. 경쟁구간의 데이터 전송 성공률
Fig. 8. Data Delivery Ratio on The CAP

데이터 전송률이 100kbps 이하로 설정하는 경우 90% 이상의 전송 성공 확률을 보여준다. 하지만 데이터 전송률이 높아짐에 따라 전송 성공 확률이 점차 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 데이터 전송률이 200kbps 이상으로 증가하면 약 75%의 성공 확률을 확인할 수 있으며 노드의 개수를 증가하는 경우 성공 확률은 감소한다. 약 130kbps에서 성공 확률이 90% 이하로 감소하기 때문에, 상이한 데이터 전송률을 가지는 노드로 구성된 네트워크에서는 130kbps 이상의 전송률의 성공확률을 증가시킬 수 있는 방안이 필요함을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 1~127kbps와 128~250kbps의 2개의 그룹으로 구분하여 망의 성능을 향상시키는 알고리즘을 적용하였다.

2.2 데이터 전송률을 고려한 CSMA/CA 알고리즘 성능평가

노드 간에 상이한 데이터 전송률을 가지는 노드로 구성된 네트워크에 제한한 데이터 전송률을 고려한 CSMA/CA 알고리즘과 IEEE 802.15.4 기반의 CSMA/CA 알고리즘을 적용한 결과를 비교하였다. 제한한 노드의 데이터 전송률에 따라 표 6의 파라미터를 적용받는다. IEEE 802.15.4 기반의 CSMA/CA 알고리즘은 같은 우선순위 클래스 안에 존재하는 모든 MAC 프레임은 동일한 파라미터를 적용받으며, 이때 적용되는 파라미터는 표준문서의 초기 값을 적용하였다.

시나리오 구성은 원 홈 내에서 노드의 개수를 6개에서 10개 까지 증가하면서 처리량, 패킷 손실량, 전송 성공 확률을 측정하였다. 노드의 개수에 따른 데이터 전송률의 설정은 표 5와 같다.

표 5. 노드 수에 따른 데이터 전송률
Table 5. The Data Rate due to Number of Nodes

노드 수	노드들의 데이터 전송률(kbps)
6	1, 50, 100, 150, 200, 250
7	1, 40, 80, 120, 160, 200, 250
8	1, 30, 70, 100, 130, 160, 200, 250
9	1, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 250
10	1, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250

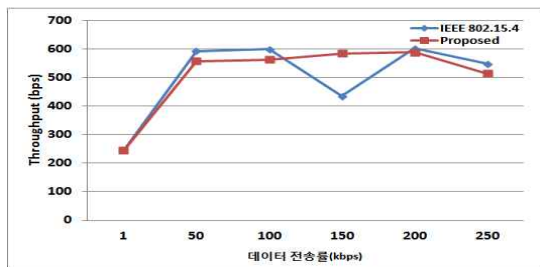


그림 9. 노드 수 6인 경우의 처리량
Fig. 9. The Throughput in case of 6 Nodes

그림 9는 노드 수가 6개로 구성된 경우에 각 노드의 처리량을 보여준다. 6개의 노드로 운용되는 경우 IEEE 802.15.4와 제안하는 알고리즘은 유사한 처리량을 보이나, IEEE 802.15.4를 적용한 경우 특정 구간에서 처리량이 떨어짐을 확인할 수 있다. 일부 노드에서 IEEE 802.15.4 알고리즘을 적용한 경우 처리량이 높게 나타나는 이유는 CW의 횟수가 2회로 동일시간 내에 전송을 시도하는 패킷이 더 많기 때문이다.

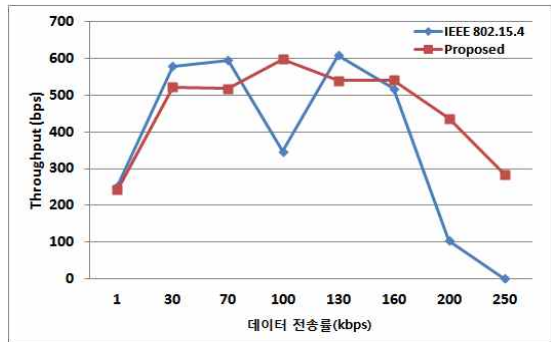


그림 10. 노드 수 8인 경우의 처리량
Fig. 10. The Throughput in case of 8 Nodes

그림 10은 노드 수가 8개로 구성된 경우에 각 노드의 처리량을 보여준다. 기존의 알고리즘은 노드 수가 증가하는 경우 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드들의 처리량이 급격히 감소한다. 제안하는 알고리즘은 200kbps와 250kbps의 데이터 전송률을 가지는 노드의 처리량이 개선됨을 확인할 수 있다.

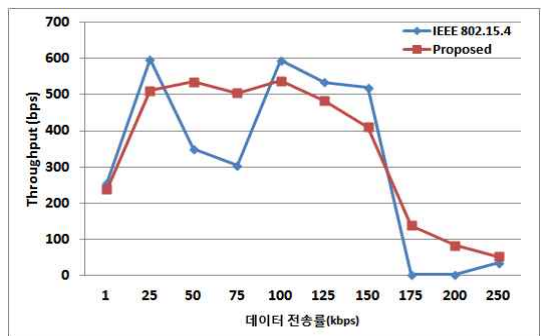


그림 11. 노드 수 10인 경우의 처리량
Fig. 11. The Throughput in case of 10 Nodes

그림 11은 노드 수가 10개로 구성된 경우에 각 노드의 처

리량을 보여준다. 그림 10과 마찬가지로 IEEE 802.15.4 알고리즘은 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드들의 전송확률이 낮음을 확인할 수 있다. 제안하는 알고리즘은 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드들의 처리량이 개선되며, 특정 구간에서 처리량이 감소하는 문제점 또한 개선됨을 확인할 수 있다.

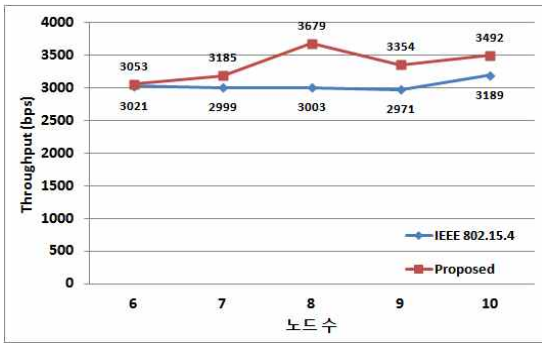


그림 12. 노드 수에 대한 처리량
Fig. 12. The Throughput due to Number of Nodes

그림 12, 13은 노드 수 변화에 대한 처리량 및 패킷 손실량을 보여준다. 그림 12의 결과를 보면 경쟁구간에서 노드 수 변화에 대한 데이터 처리량은 모든 구간에서 제안한 알고리즘이 높음을 확인할 수 있다. IEEE 802.15.4 알고리즘을 적용한 경우 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드의 처리량이 매우 적다. 제안하는 알고리즘은 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드의 처리량은 증가하고, 다른 구간에서는 기존의 알고리즘과 유사한 결과를 유지하여 네트워크 전체의 성능이 향상된다. 이와 반대로 패킷 손실은 IEEE 802.15.4의 알고리즘을 적용한 경우가 더 높음을 그림 13에서 확인할 수 있다.

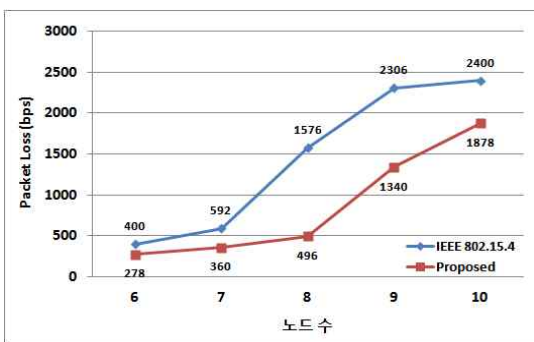


그림 13. 노드 수에 대한 패킷 손실량
Fig. 13. The Packet Loss due to Number of Nodes

그림 14는 전송 성공 확률을 보여준다. 전송을 시도한 횟수는 CCA 횟수의 차이로 인해 IEEE 802.15.4 알고리즘을 적용한 경우가 더 높다. 하지만 처리량은 제안한 알고리즘이 더 높으며, 이로 인해 제안한 알고리즘의 전송 성공 확률이 기존의 알고리즘에 비해 높게 나타남을 확인할 수 있다.

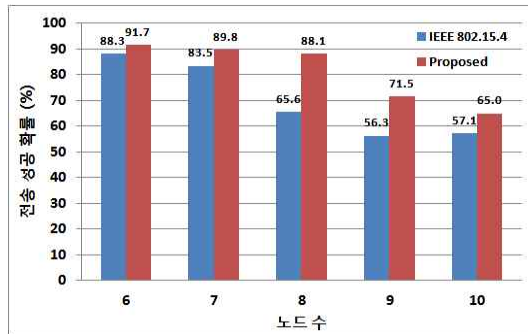


그림 14. 노드 수에 대한 전송 성공 확률
Fig. 14. The Success Probability due to Number of Nodes

V. 결론

본 논문에서는 미래병사체계의 통신 분야 중에서 무선 센서와 같은 저속 응용에 대한 시스템 모델을 제안하고, 음성과 같은 고속 응용에 대한 방향을 제시하였다. 미래병사체계의 통신 분야에서 저속 네트워크를 구축하는데 있어 기존의 기술의 활용 및 연동을 위하여 IEEE 802.15.4 기술을 참조하여 설계 및 성능평가를 하였으며, 미래병사체계의 응용서비스의 요구사항을 파악하여 기존의 기술을 적용하는데 있어 문제점을 파악하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 경쟁구간의 채널접근 방법인 CSMA/CA 알고리즘을 미래병사체계에 적합하게 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 네트워크 시뮬레이터를 사용하여, 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 상대적으로 높은 데이터 전송률을 가지는 노드의 처리량을 개선하여 패킷 손실을 감소시켜 전송 시도 횟수가 감소하게 되어 네트워크 내 채널 사용의 효율이 증가하는 성능의 개선을 확인할 수 있었다.

추후의 연구과제로는 본 논문에서 제안한 미래병사체계의 통신 분야에서 고속의 데이터전송을 요구하는 응용을 위한 방안이 구체적으로 제시되어야 하며, 더 나아가 모든 응용이 혼재한 상태에서 네트워크를 운용할 수 있는 시스템을 설계하여야 할 것이다.

참고문헌

[1] Cheol-Ho Kim, "Future Changes in the Battlefield Environment, IT Technology Trends Defense," IT SOC magazine, vol. 28, pp. 41-48, 2008.

[2] Seok Kim, "Development Trends of the Future Soldier System," KIDA on Defense and technology, Vol. 382, pp. 76-87, Dec. 2010.

[3] In-Ho Kim, "Future Soldier System," Republic of Korea Army, pp. 112-115, 2005.

[4] Won-Soo Jung, Young-Hwan Oh, "Improving Techniques of MAC Protocol for a Quality Guarantee of Service in WBAN Environment," Journal of KICS, Vol. 35, No. 2, pp. 50-58, 2010.

[5] IEEE, "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 (WPANs)," IEEE Computer Society, Sep. 2006.

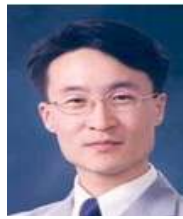
[6] A. C. Pang and H. W. Tseng, "Dynamic Backoff for Wireless Personal Networks," IEEE Global Telecommunications Conference on GLOBECOM, Vol. 3, pp. 1580-1584, Dec. 2004.

[7] I. Yeo, J. Kim, and S. An, "Performance Enhancement in a Low Rate Wireless PAN," International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 474-479, Aug. 2008.

[8] A. KOUBAA, M. ALVES, B. NEFZI and Y. Q. SONG, "Improving the IEEE 802.15.4 Slotted CSMA/CA MAC for Time-Critical Events in Wireless Sensor Networks," Real Time Networks RTN Workshop, Jul. 2006.

[9] Castalia : A simulator for Wireless Sensor Networks and Body Area Networks, <http://castalia.npc.nicta.com.au/>

저자소개



허준
 2000: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학사.
 2002: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2008: 서강대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료
 2012: 광운대학교 제어계측공학과 박사과정 수료
 현 재: (주)에드윈 통신연구소 M&S 팀장(책임연구원)
 관심분야: 민간 및 군 통신 네트워크
 Email : heojun9@chol.com



이상진
 2009: 대전대학교 통신공학과 공학사.
 2011: 광운대학교 전자통신공학과 공학석사.
 현 재: (주) 에드윈 통신연구소 연구원
 관심분야: 민간 및 군 통신 네트워크, 센서 네트워크
 Email : leesj@addwinit.com



최용훈
 1995: 연세대학교 전자공학과 공학사.
 1997: 연세대학교 전자공학과 공학석사.
 2001: 연세대학교 전기전자공학과 공학박사
 현 재: 광운대학교 로봇학부 교수
 관심분야: 차량 통신 시스템, 네트워크 관리, 그리이동통신
 Email : yhchoi@kw.ac.kr



최효현
 1994: 서강대학교 전자계산학과 공학사.
 1996: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학석사.
 2005: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 현 재: 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 조교수
 관심분야: 무선 네트워크 프로토콜, 유비쿼터스 컴퓨팅, 인간-컴퓨터 상호작용, 무인항공기
 Email : hchoi@inhac.ac.kr