

항공기내 무선 네트워크용 시뮬레이터 개발

신동성¹ · 정방철² · 반대원³ · 장우혁⁴ · 박관근^{1*}

Simulator Development of Wireless Avionics Intra-Communications

Dong-Seong Shin¹ · Bang Chul Jung² · Tae-Won Ban³ · Woohyuk Chang⁴ · Pangun Park^{1*}

^{1*}Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53063, Korea

⁴Agency for Defense Development, Daejeon 34188, Korea

요 약

최근 항공기내 전자장비 간의 유선 하네스를 무선 네트워크로 대체하고자 하는 많은 연구가 항공 산업체를 중심으로 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 항공기내 무선 네트워크의 핵심 기반 기술을 검증하고 각 계층 기술을 효율적으로 통합 할 수 있는 이벤트 기반 시뮬레이터(ES-WAIC; Event-Based Simulator for Wireless Avionics Intra-Communications)를 개발하였다. ES-WAIC은 상위의 실시간 제어 응용 개발자와 네트워크 계층 개발자의 코드 가독성을 증대시키기 위하여 개발되었다. 특히, 실질적인 저전력 무선 임베디드 네트워크의 이벤트 기반 언어 방식을 구현하여 임베디드 시스템에 적용 할 수 있는 이식성과 호환성을 증가시켰다. ES-WAIC은 4.4GHz대역에서의 항공기내 무선통신 채널 모델링, PHY, MAC, Network, Application을 포함한 전반적인 계층이 구현되었다.

ABSTRACT

Recently, many researches have been conducted on the aviation industry to replace the wire harness cable between the avionics of the aircraft with the wireless network. In this paper, we present an Event-Based Simulator for Wireless Avionics Intra-Communications (ES-WAIC) that can verify core technologies of wireless networks and efficiently integrate different layers of the network. ES-WAIC is developed to enhance the readability between the real time control application developers of the higher layer and the network layer developers. Specifically, the practical implement relies on an event-based programming concept to increase portability and compatibility that can be applied to the realistic low-power wireless embedded networks. ES-WAIC implements the overall system layers including the wireless channel modeling of the 4.4GHz band, the physical layer, the medium access control, the network, and the application layer of wireless avionics intra-communications.

키워드 : 항공기내 무선 네트워크, 무선 센서/액추에이터 네트워크, 무선 네트워크, 이벤트 기반 시뮬레이터

Key word : Wireless Avionics Intra-Communication, Wireless Sensor and Actuator Networks, Wireless Networks, Event-Based Simulator

Received 14 June 2017, Revised 19 June 2017, Accepted 23 June 2017

* Corresponding Author Pangun Park(E-mail:pgpark@cnu.ac.kr, Tel:+82-42-821-6862)

Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1873>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

현대의 항공 전자 시스템은 대부분 유선 통신망으로 연결되어 있으며, 수 천의 케이블 번들로 연결되어 있다. 이러한 많은 양의 케이블은 항공기의 무게를 증가시킬 뿐만 아니라 항공기의 설계 및 수리비용을 급격하게 증가시키고 있다[1,2]. 항공기내 유선 통신 네트워크를 무선 통신 네트워크로 대체할 경우, 항공기의 무게를 감소시켜 유지관리 비용을 획기적으로 절감할 수 있다. 따라서, 최근 항공 관련 산업계 및 연구소들은 무선 네트워크를 차세대 항공기에 적용하고자 하는 다양한 연구를 진행하고 있다[3-5]. 특히, 미국과 유럽의 항공기 제조/설계 회사들은 WAIC (Wireless Avionics Intra Communication) 이라는 표준화 단체를 구성하여 이를 주도하고 있으며, 2015년에 국제적으로 4.2-4.4 GHz를 WAIC의 사용 주파수로 할당 받았다[6,7].

항공기내 무선 네트워크의 경우 상위의 응용 개발자부터 각 통신 계층의 개발자까지 다양한 인력이 한정된 자원의 임베디드 보드에서 개발에 참여한다. 따라서 이러한 시스템을 통합하고 검증하는 것은 결코 간단하지 않다. 지속적인 모듈이 추가될 시 유지보수 비용이 증가하고, 네트워크의 확장성 및 호환성에 치명적인 문제를 야기 할 수 있다. 특히, 복잡한 이벤트들을 함수형 프로그램으로 구현 시 자원 경쟁 및 교착 상태를 유발 할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 저전력 임베디드 네트워크에 적용되는 이벤트 기반 방식의 ES-WAIC (Event-Based Simulator for Wireless Avionics Intra-Communications)을 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 이산 이벤트 시뮬레이션으로 구동되며, 이러한 이벤트는 네트워크 시뮬레이션의 시간 및 상태 변화에 의하여 발생한다. 기존의 이원화된 프로그램 구조를 단일화하여 유지보수 및 호환성 문제를 최소화하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 전체적인 시뮬레이터의 구조 및 각 계층의 특징적인 기술에 대해 살펴보고, 제 3장에서는 구현한 시뮬레이터의 GUI 및 실행 성능에 대하여 살펴본다. 마지막으로, 제 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시뮬레이터

본 논문에서 소개하는 이벤트 기반 무선 센서 및 액추에이터 네트워크 시뮬레이터 ES-WAIC은 그림1과 같이 크게 3개의 핵심 요소(이벤트 관리기, 상위계층, 하위계층)로 구성된다. 이벤트 관리기는 각 모듈과 큐 사이의 이벤트 실행을 관리하고, 상위계층의 모듈은 이벤트 관리기에 이벤트를 생성하여 전달하거나, 동작 명령을 생성한다. 하위계층은 상위계층으로부터 받은 동작 명령을 수행하며, 이때 생성된 이벤트는 큐에 저장된다. 상위계층은 응용/네트워크/스케줄러로 구성되며, 하위계층은 MAC/물리/무선 채널로 구성된다. 상위계층과 하위계층 모듈은 모두 플러그 형태를 지원한다.

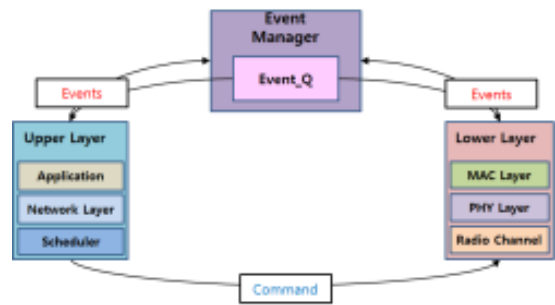


Fig. 1 Overall Structure of ES-WAIC

2.1. 상위계층 모듈

본 장은 상위계층의 응용과 네트워크 자원 스케줄러에 대하여 설명한다.

2.1.1. 실시간 응용

항공기 내 무선 네트워크의 무선 센서는 측정된 항공기내 물리적 정보를 백본망에 전달하고 계산된 제어 신호를 관련 된 액추에이터에 전달한다. 이러한 무선 네트워크는 항공기내 물리적 구조를 고려하여 단순한 스타 형태의 1홉 구조부터 멀티홉 형태를 포함하는 다양한 토폴로지를 포함할 수 있다[6]. 예를 들어, 항공기내 센서가 실시간성의 정보를 주기적으로 생성하는 이벤트를 발생 시키면 관리자가 생성된 패킷을 전송하기 위하여 상/하위계층 모듈을 순차적으로 활성화 한다.

2.1.2. 스케줄러

항공기내 무선 링크는 각 노드가 하나 이상의 링크를 형성할 수 있으며, 이때 네트워크의 슬롯 자원은 네트워크 매니저의 자원 스케줄링에 기반하여 구동된다. 이는 시간 동기화에 기반하며 각 슬롯의 자원은 특정 링크에 전용할당 되는 전용 슬롯과 다수의 링크/노드가 슬롯을 공유하는 공유 슬롯으로 나뉜다. 항공기내 다양한 제어 및 모니터링 응용과 같이 주기적인 트래픽의 실시간 요구 조건을 만족시키기 위하여 전용 슬롯이 사용될 수 있다. 이에 비하여, 공유 슬롯은 주로 이벤트 기반의 트래픽이나, 패킷 손실로 인한 재발송 등에 사용될 수 있다.

이러한 요구 조건을 고려하여 전용 슬롯의 MAC 방식은 TDMA(Time Division Multiple Access)를 사용하고, 공유 슬롯의 경우 경쟁기반의 랜덤접근 방식으로 구동된다. unicast 링크의 경우는 상위 슈퍼프레임에서 각 TDMA 시간 슬롯의 슬롯 인덱스와 채널 인덱스로 자원이 할당 된다. 그러나, 네트워크의 노드 수가 많고, 각 노드의 트래픽이 비정기적으로 높지 않은 생성률을 보일 때 CSMA(Carrier Sense Multiple Access)와 같은 경쟁 기반 MAC 방식이 적용된다.

각 노드는 시간 슬롯마다 할당된 스케줄링 자원 {슬롯 인덱스, 채널 인덱스}에 맞게 채널을 업데이트 한다. 상위계층에서 update_channel이라는 동작명령이 생성되고 이는 Lower Layer에 전달되어 관련 된 이벤트를 연속적으로 생성시켜 채널을 업데이트한다.

2.2. 하위계층 모듈

본 장은 하위계층의 MAC과 무선 채널 모델링에 대하여 설명한다.

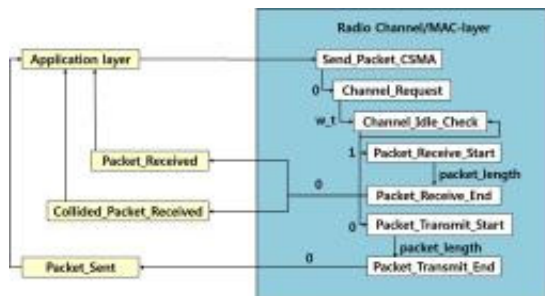


Fig. 2 CSMA Communication Flow

MAC 계층은 상위의 네트워크 자원 스케줄러의 요구사항을 고려하여 CSMA와 TDMA 모드를 구현되었다. 다중접속 방식의 CSMA는 각 노드들이 프레임 전송하기 위하여 공유 매체에 접근하기 전에 먼저 채널이 사용 중인지 확인하는 단계를 포함하며 그림 2와 같이 설계되었다.

상위의 응용에서 Send_Packet_CSMA 동작명령이 실행되면 관련 이벤트가 하위계층에서 발생되고 무작위 대기 시간 Waiting_Time 간격 후에 채널이 유향 (Idle)상태인지 확인한다. 채널이 유향상태가 아닌 경우, Backoff_Time인 임의의 간격을 기다리기 전에 채널이 유향상태가 될 때까지 채널을 스캔한다. 채널이 유향상태 일 시 패킷의 전송이 시작되고 완료된 후 Packet_Sent 이벤트가 상위의 응용에 전달된다. 수신 측에서 패킷을 수신 한 후, Packet_Received 이벤트를 생성하고 이를 응용에 전달한다.

TDMA는 상위의 스케줄러에서 할당된 시간 슬롯에 주어진 채널을 통하여 패킷을 전송하며 비교적 단순한 구조로 동작한다. 그림 2와 비교하여 TDMA 방식은 대기 시간 및 채널 센싱 관련 이벤트가 없어 비교적 단순한 구조를 보인다. 응용에서 Send_Packet_TDMA 동작명령이 생성된 후 관련 이벤트가 하위계층에서 발생된다. 송신 노드는 해당 시간 슬롯에서 패킷을 전송하고 이후 Packet_Sent 이벤트를 상위계층의 응용에 전달한다.

항공기내의 무선 채널 모델링은 일반적인 송수신기간의 채널 모델을 통해 표현될 수 있다[7,8]. 항공기내 송수신기간 채널 손실은 경로 및 주파수로 인한 손실과 장애물로 인한 음영 효과로 구성된다. 항공기내의 무선 채널은 변형된 log-distance 손실 모델에 기반하여 수신 전력을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{rec} = P_{tx} + C - 10n \log_{10}(d) - 10K \log_{10}(f) + N(0, S) \quad (1)$$

여기에서 P_{rec} 는 수신 전력, P_{tx} 는 송신 전력, d 는 송수신 노드간 거리, C 는 상수 오프셋, n 은 경로 손실 지수, K 는 주파수 손실 지수, f 는 반송 주파수이다. 장애물로 인한 음영 효과를 나타내는 N 은 평균이 0dB이고 표준 편차는 S 인 로그 정규 분포를 따른다. 이러한 수신 신호의 전력이 수신 노드의 수신 임계치보다 큰

경우만 수신한다.

III. GUI 및 성능 분석

그림 3와 그림 4은 본 논문에서 소개하는 시뮬레이터의 GUI를 표현한다.

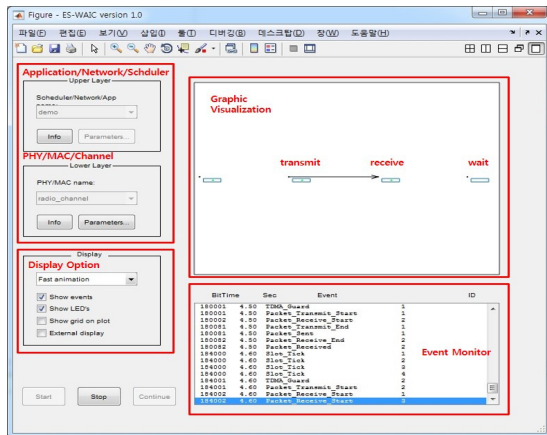


Fig. 3 Main GUI of ES-WAIC

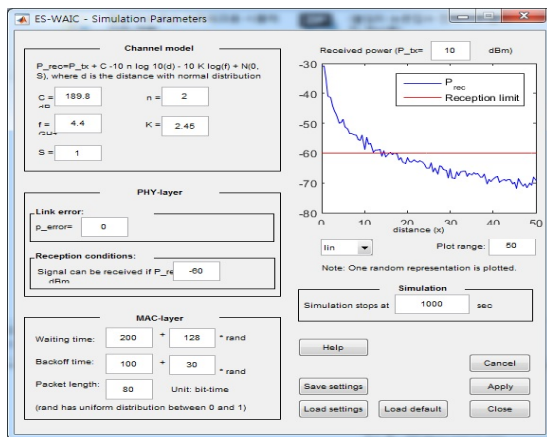


Fig. 4 Parameter GUI of ES-WAIC

실험은 4개의 임의의 노드 생성하여 TDMA 방식을 통하여 패킷을 전송 하였을 때, 그림 3의 메인 GUI에서 노드의 상태와 이벤트를 확인하였다. 그림 3에서 사용자의 인터페이스를 통하여 사용 가능한 상/하위계층의

기술 및 모델을 선택한다. 시뮬레이터 메인 GUI에서는 토폴로지의 화면에 최대 100개의 노드를 구성할 수 있으며, 이벤트 모니터를 통하여 비트 시간 및 이벤트 발생 정보를 확인 할 수 있다.

그림 4의 시뮬레이터 매개 변수 GUI에서는 무선 채널의 링크 손실률 변수와 수신 임계치를 설정 할 수 있다. 또한, 우측 상단의 화면에서는 설정된 무선 채널 변수를 기준으로 수신 전력과 수신 임계치를 확인할 수 있다. 그림4의 예제는 시뮬레이터 매개 변수 GUI에서 무선 채널의 매개변수를 설정하여 거리에 따라 수신 전력이 -30dBm에서 -70dBm으로 하강하였으며, 이때 수신 임계치 -60dBm으로 설정 되었다.

일반적으로 시뮬레이션의 실제 실행 시간은 시뮬레이션 설정 시간 뿐 만 아니라 응용 시나리오 및 토폴로지에 크게 영향을 받는다. 실제 실행 시간 분석을 위하여 25개의 노드를 무작위로 전개 한 후 두 개의 응용 시나리오 (플러딩과 멀티홉 unicast)를 고려하여 실행 시간을 측정 하였다. 애니메이션 기능이 활성화 되었을 때, 플러딩의 경우 패킷이 무작위로 주위 노드에 전달 되고 broadcast 되어 상대적으로 많은 이벤트를 발생 시켜, 실제 실행 시간이 시뮬레이션 시간에 비하여 약 5.2 배 높게 측정되었으며, 멀티홉 unicast의 경우 약 2.15배 정도의 실행 시간이 측정 되었다. 애니메이션 기능이 비활성화 되었을 시 실행 시간의 약 89.4% 가 개선되는 것이 확인 되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 항공기내 전자 장비간의 무선 네트워크의 계층 기술을 검증하고, 원활한 통합이 가능하도록 이벤트 기반 시뮬레이터인 ES-WAIC을 개발하였다. 개발 된 시뮬레이터는 Matlab기반의 단일화된 구조를 유지하여 코드의 가독성을 증대시키고 유지보수 및 호환성 문제를 최소화하였다.

또한 저전력 무선 임베디드 네트워크에 적용되는 이벤트 기반 언어 방식을 따라 구현되어 코드의 이식성과 호환성을 증가 시켰다. 이를 통하여 향후 항공기내 무선 네트워크의 성능을 검증하거나 상위의 제어 응용 개발자가 빠르게 프로토타이핑 할 수 있는 기반 시뮬레이터 역할을 제공한다. 향후 연구에서는, 본 논문에서

제안한 시뮬레이터를 활용하여 각 계층 기술의 적용 가능성을 빠르게 검증하고, 타 시뮬레이터와 성능을 비교할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been supported by Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development under Implementation Technology on High Reliability Wireless Networks for an Aircraft (UD150027JD).

REFERENCES

- [1] R. Samano-Robles, E. Tovar, J. Cintra and A. Rocha, "Wireless avionics intra-communications: Current trends and design issues," in *Proceedings of the 11th International Conference on Digital Information Management*, Porto, pp. 266-273, 2016.
- [2] ITU-R M.2283, Technical characteristics and spectrum requirements of Wireless Avionics Intra-Communications systems to support their safe operation, ITU, Geneva, Switzerland, 2013.
- [3] ITU-R M.2067, Technical characteristics and protection criteria for Wireless Avionics Intra-Communication systems, ITU, Geneva, Switzerland, 2014.
- [4] ITU-R M.2318, Consideration of the aeronautical mobile (route), aeronautical mobile, and aeronautical radio navigation services allocations to accommodate wireless avionics intra-communication, ITU, Geneva, Switzerland, 2014.
- [5] P. Park and W. Chang, "Performance Comparison of Industrial Wireless Networks for Wireless Avionics Intra-Communications," in *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 1, pp. 116-119, Jan. 2017.
- [6] D. Lee and K. Jang, "A Tree-based Greedy Algorithm for Minimum Power Broadcast in Wireless Networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 5, pp. 921-928, May 2017.
- [7] N. Raharya and M. Suryanegara, "Compatibility analysis of Wireless Avionics Intra Communications (WAIC) to radio altimeter at 4200 - 4400 MHz," in *Proceedings of IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile*, Bali, pp. 17-22, 2014.
- [8] ITU-R M.2319, Compatibility analysis between wireless avionics intra-communication systems and systems in the existing services in the frequency band 4200-4400 MHz, ITU, Geneva, Switzerland, 2014.



신동성(Dong-Seong Shin)

2016년 2월 한밭대학교 정보통신공학과 학사
 2017년 3월 ~ 현재 충남대학교 정보통신공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 무선 센서 네트워크, 무선통신시스템, 임베디드 시스템, 계측제어 시스템



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사
 2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사
 2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사
 2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT융합연구소 팀장
 2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT융합연구소 연구교수
 2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수
 2014년 3월~2015년 8월 경상대학교 정보통신공학과 부교수
 2015년 9월~현재 충남대학교 전자공학과 부교수
 2010년 4월~현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수
 ※ 관심분야 : 무선통신시스템, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱



반태원(Tae-Won Ban)

1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
2000년 2월~2012년 8월 KT 네트워크부문
2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수
※관심분야 : 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유



장우혁(Woohyuk Chang)

2001년 2월 아주대학교 전자공학부 학사
2003년 2월 KAIST 전자전산학과 석사
2010년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2009년 12월 ~ 2010년 11월 KAIST IT 융합연구소 선임연구원
2010년 12월 ~ 2012년 1월 Massachusetts Institute of Technology 박사후 연구원
2012년 ~ 현재 국방과학연구소 선임연구원
※관심분야 : 신호처리, 정보이론, 부호이론, 무선통신시스템, 항공전자시스템



박판근(Pangun Park)

2005년 8월 아주대학교 전자공학부 학사
2007년 11월 Royal Institute of Technology 무선시스템공학과 석사
2011년 3월 Royal Institute of Technology 정보통신공학과 박사
2011년 3월~2011년 9월 Royal Institute of Technology 박사후 연구원
2011년 9월~2013년 8월 University of California, Berkeley 박사후 연구원
2013년 9월~2015년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
2015년 3월~2016년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수
2016년 3월~현재 충남대학교 전파정보통신공학과 조교수
※관심분야 : 무선 센서 네트워크, 사이버물리시스템, 네트워크 제어시스템