

Koinonia 시스템을 적용한 무선 전투기 네트워크의 구현

Implementation of Wireless Fighter Area Network by Koinonia Systems

김 용 성* · 조 진 웅** · 홍 대 기†
(Yong-Sung Kim · Jin-Woong Cho · Dae-Ki Hong)

Abstract - In this paper, we propose a WFAN (Wireless Fighter Area Network) system based on Koinonia modems is proposed. Also, we suggest that the proposed Koinonia WFAN system is a suitable solution for indoor and outdoor wireless network of fighters. Additionally we compare the Koinonia WFAN system with the overseas ASMT (Advanced SubMiniature Telemetry). Finally we show the communication experiment results, the system requirements, and the implementation methodology of the Koinonia MFAN.

Key Words : WFAN, Koinonia, fighter, ASMT

1. 서 론

최근 무선을 이용하여 전투기 내외에 네트워크(WFAN: Wireless Fighter Area Network)를 구성하며 전투기에 부착된 각종 무기를 원격으로 조정하고 전투기 내외부에 부착된 각종 센서들로부터 기체 및 기체 주변에 대한 여러 가지 정보를 지상의 기지국으로 전송함으로써 전투력을 향상시키기 위한 노력이 진행되고 있다[1].

WFAN을 위한 기반기술로는 다양한 방식의 표준들이 후보들로 고려되고 있다. 이에 Zigbee[2], Bluetooth[3], WiFi[4], UWB (Ultra-WideBand) [5]등이 있다. 이중 특히 Bluetooth는 현재 미국에서 진행되고 있는 WFAN 프로젝트인 ASMT (Advanced SubMiniature Telemetry)에 실장되기도 했다[1]. 그러나 WFAN에서 요구하는 서비스 반경 (통신거리), 망 접속 시간, 그리고 암호화 능력 등에서 Bluetooth는 만족할 만한 성능을 유지하지 못하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 무선 기술을 이용한 WFAN을 구성하고 그 성능을 평가해 본다. WFAN을 위한 모델은 최근 WPAN 분야에서 연구개발이 진행 중인 바이너리 CDMA (Code Division Multiple Access)[6-8] 기반 Koinonia 무선 네트워크를 사용한다[9]. Koinonia 시스템을 각종 무선 네트워크의 상용 규격들과 비교 분석한 결과에 의하면 WFAN에 적합함을 예측할 수 있으며 Koinonia 시스템을 이용하여 실제 전투기 환경에서 운용 시험을 수행함으로써 전투기 실내의 무선망 구축에 대한 적용 가능성을 확인한다.

또한 최근 해외 적용사례인 ASMT와 비교 분석하여

Koinonia 시스템을 WFAN에 적용하였을 때의 우수성을 살펴본다. 또한 Koinonia 시스템이 WFAN에 적용되었을 때, Koinonia 시스템의 요구 사양, 전투기 무선망의 구현개념 및 구현 방법론을 제시하며, 전투기 무선망 통신 시험결과를 제시한다. 결과를 통해 Koinonia 시스템은 WFAN 구축과 같은 국방 무선망 구축에 적합한 솔루션이라 결론을 내도록 한다.

2. Koinonia 시스템의 구현

CAMB (Constant Amplitude Multicode Biorthogonal) 부호화 기술을 기반으로 하는 Koinonia 시스템은 크게 MAC (Media Access Control layer) 블록과 PHY (PHYSical layer) 블록으로 구성된다[9]. 본 논문에서는 이를 SoC (System on Chip)로 구현한다. 또한 구현된 Koinonia 시스템을 전투기 무선응용에 적용이 가능한 다른 무선 시스템과 비교한다.

2.1 MAC 블록

MAC 블록은 데이터 흐름에서 가능한 한 프로세서의 부담을 덜어주기 위해서 DMA (Direct Memory Access)를 사용하며 MAC의 일부 기능을 하드웨어로 설계한다. 특히 MAC의 상태 천이 관리, 정확한 타이밍을 요구하는 슈퍼프레임 동기화, 데이터 송/수신 그리고 경쟁구간에서 사용하는 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜 처리 등이 이에 포함된다. 전력 소모를 최소화하기 위하여 IDLE 모드를 사용하며 암호화를 지원한다.

2.2 PHY 블록

PHY 블록은 송신부와 수신부로 구분되는데, 송신부는 프리앰블과 헤더, 페이로드 생성하는 프레임 생성 블록과 헤더 체크섬, 페이로드 체크섬, 데이터 랜덤화를 위한 스크램블러, 그리고 CAMB 부호화기 및 QPSK (Quadrature Phase

* 정 회 원 : 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터 선임연구원

** 정 회 원 : 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터 수석연구원

† 교신저자, 종신회원 : 상명대학교 정보통신공학과 부교수

E-mail : hongdk@smu.ac.kr

접수일자 : 2012년 9월 20일

최종완료 : 2012년 10월 29일

Shift Keying) 변조기 등으로 구성된다. CMB 부호화 및 변조방식에 따라서 데이터율은 아래 표 1과 같다.

표 1 Koinonia 시스템의 전송 RATE

Table 1 Transmission rate for Koinonia system

RATE	CAMB 확산이득	데이터율 계산식	변조방식	데이터율 (Mbps)
RATE 1	16	(11M/16)×1	QPSK	0.6875
RATE 2	3/16	(11M/16)×3	QPSK	2.0625
RATE 3	9/16	(11M/16)×9	QPSK	6.1875
RATE 4	9/16	(11M/16)×18	QPSK	12.375
RATE 5	X	11M×2	DQPSK	22
RATE 6	X	11M×3	16QAM	33
RATE 7	X	11M×4	32QAM	44
RATE 8	x	11M×5	64QAM	55

2.3 Koinonia 주파수 대역

Koinonia 시스템의 사용 주파수대역을 살펴보면 2.4-2.4835 GHz의 산업, 과학, 및 의료 (ISM: Industrial, Scientific, and Medical) 대역을 사용하는데, 응용서비스에 따라 전체 10개의 대역과 5개 대역으로 구분되어 사용되며, 각각의 주파수 대역폭은 8MHz 또는 16MHz이다.

2.4 Koinonia SoC

그림 1은 Koinonia SoC 시스템 블록도를 나타내며, 보는 바와 같이 ARM/AMBA(Advanced RISC Machine/Advanced Microcontroller Bus Architecture) 기반으로 구성되었다.

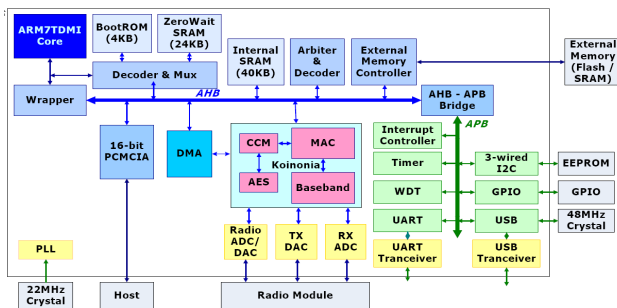


그림 1 Koinonia SoC 블록도
Fig. 1 Block diagram of Koinonia SoC

ARM/AMBA 플랫폼의 프로세서로는 저전력 내장형 ARM7TDMI (ARM7 Thumb, Debug support, Multiplier, Incircuit emulator interface) 코어를 사용하였으며, AHB (Advanced High performance Bus) 시스템 버스와 APB (Advanced Peripheral Bus) 주변 장치 버스를 적용하였다. ARM7TDMI는 AHB Wrapper를 통해서 AHB 버스에 연결된다. 그림 1에서 보는 바와 같이 ARM7TDMI는 내부 메모리와 로컬 버스를 통해서도 연결이 된다. AHB 버스는 AHB 버스의 마스터를 결정하는 Arbiter, 메모리영역을 디코딩하기 위한 어드레스 디코더, 프로그램 코드와 데이터를 저장하기 위한 내부 메모리, 외부 메모리의 내용을 내부 메모리에 매핑하기 위한 외부 메모리 인터페이스 등으로 구성된다.

Koinonia MAC/PHY는 AHB 슬레이브로 연결하였다. 그리고 Koinonia MAC과 메모리 사이에 빈번한 데이터 전송을 효과적으로 제어하기 위하여 버스 마스터로 DMA가 있다. 또한 Koinonia SoC 시스템이 Host의 서브시스템으로 사용될 수 있도록 16-bit PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) 슬레이브와 로컬 버스 인터페이스를 지원한다.

APB 버스에는 비교적 저속의 블록들이 연결된다. Timer와 WDT (Watch-Dog Timer)의 인터럽트 신호 발생 간격은 ARM 프로세서가 설정할 수 있게 하여 활용성을 높였다. 외부 호스트와의 통신을 위하여 USB 1.1 및 16C550 Compatible UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)를 APB 슬레이브로 구성하였다. 그 외에도 ARM 프로세서에 하드웨어 인터럽트를 발생시키는 인터럽트 컨트롤러, 외부 EEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory)과의 통신을 위한 3-wire Serial Interface, 그리고 사용자 인터페이스를 위한 8-bit GPIO (General Purpose Input Output)가 있다.

시스템 클럭은 칩 내부 PLL (Phase Locked Loop)이 22MHz 신호를 입력으로 받아서 시스템 클럭모드에 따라 44MHz 또는 88MHz로 증배한 후 2분주(22MHz, 44MHz)하여 사용한다. 시스템 동작 중에도 필요에 따라 PLL의 클럭 증배율을 재설정 할 수 있다. 소비전력을 최소화하기 위해 3가지 동작 모드 (RUN, HALT, SLEEP)를 제공한다.

Koinonia SoC 칩은 RATE1부터 RATE4까지 지원하는 KWPN (Koinonia Wireless Personal Area Network)1100과 RATE1부터 RATE8까지 지원하는 KWPN1200으로 나뉜다. KWPN1100 칩셋의 특징은 중저속의 데이터율로 원거리 전송을 가능하게 하지만, RF (Radio Frequency) 솔루션이 하나라는 단점이 있다. 칩 사이즈는 14mm×14mm 256BGA (Ball-Grid Array)로써 1.8V/3.3V 구동전압을 사용한다. 암호화 방법은 AES (Advanced Encryption Standard)-128을 사용하며 내부 메모리가 24KB/40KB로 약간 작은 편이다.

KWPN1200 칩셋은 Backward Compatibility 특성에 만족하며 RATE8까지 고속의 데이터 전송률을 가진다는 장점이 있다. 또한 내부 메모리 64KB/64KB로써 KWPN1100에 비해 큰 편이므로 MAC 소프트웨어 구현시 더욱더 많은 기능을 탑재할 수 있게 된다. 암호화는 AES-128 그대로 사용하며 12mm×12mm 288 FBGA(Fine Ball-Grid Array)로 제작되었다.

현재까지 제작된 Koinonia SoC 칩은 ARM7 TDMI기반 마이크로컨트롤러를 사용하므로 처리속도가 비교적 느린 편이기 때문에 Koinonia 구동작업을 제외한 다른 프로세싱이 곤란한 실정이다. 따라서 추후로는 ARM9계열의 마이크로 컨트롤러를 적용한 Koinonia 칩셋을 제작할 예정이며, 멀티미디어 코덱과 RF 칩셋 SiP (Single-in-line Package)나 SoC 등의 칩 제작이 이뤄질 것으로 예상된다. 또한 무선 통신 분야에서 보안 문제가 대두 되고 있기 때문에 암호화도 AES-128보다 보안성이 철저한 알고리즘을 사용할 예정이며 다양한 Koinonia 버전의 간단한 스펙이 표 2에 나타나 있다.

표 2 Koinonia 버전

Table 2 Koinonia versions

	KWPAN1100	KWPAN1200	KWPAN1300(예정)
MCU	ARM7TDMI	ARM7TDMI	ARM9 계열
System CLK	44MHz	44MHz	88MHz
Memory	24KB/40KB	64KB/64KB	256KB
암호화	AES-128	AES-128	AES-128, 국가보안
PKG size	14mm×14mm	12mm×12mm	10mm×10mm
RF 통합 SIP	X	X	O

2.5 WFAN에 적용 가능한 무선 기술 비교

현재 WFAN에 적용 가능한 무선 통신 기술은 표 3에 나타난 바와 같이 ZigBee, Bluetooth, WiFi, UWB 등과 같은 다양한 기술이 존재한다. 먼저 Bluetooth는 2.4GHz 대역을 사용하면서 1Mbps 급의 저속 데이터를 10m반경 내에서 사용하는 무선규격이다. 주파수 호핑방식을 사용하므로 재밍과 같은 간섭환경에서는 강인한 특성을 가지며, 저속 데이터를 처리하기 때문에 소비전력이 낮은 편이나, MAC 처리기술이 어려워 망구성이 복잡하고, 망 접속시간이 3초 이상 소요되기 때문에 신속한 망 접속이 어렵다. 그리고 이동성 보장이 힘들며, 보안성이 매우 취약하다는 단점이 있다.

ZigBee는 서비스 지역에 따라 2.4GHz대역 뿐 아니라 900MHz 대역을 사용하면서 250Kbps의 저속데이터를 100m 반경 내에서 서비스를 제공하며, 무선망 구성이 용이하고 소비전력이 매우 낮다는 장점이 있으나 데이터 전송량이 매우 작다.

상용 무선망에서 가장 보편화 되어 있는 WiFi는 2.4/5GHz 대역을 사용하며, 54Mbps급의 고속 데이터 전송이 가능하다. 그러나 CSMA/CA 기반의 다중접속기술을 사용하기 때문에 여러 노드를 이용한 망구성에서는 QoS (Quality of Service)가 보장되지 않는다는 단점이 있으며, 또한 보안에 취약한 문제점이 있다.

UWB는 최대 480Mbps급의 전송속도로 반경 10m내에서 사용가능한 시스템이며, 초고속 데이터를 전송하기 때문에 소비전력이 매우 높다는 단점이 있으며 응용분야로는 Wireless USB가 있다.

ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, 및 UWB 기술은 서로 응용서비스에 따라 장단점을 가지고 있으나, 기술 모두가 외국기술로써 국내에서 제품개발 및 사용 시 특정 로열티가 별도로 부가된다.

표 3 근거리 무선통신 규격 비교

Table 3 Comparisons of wireless communications specifications

항목	Koinonia V2.0	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	UWB
사용주파수	2.4GHz ISM	868M, 900-928M, 2.4GHz	2.4GHz ISM	2.4GHz ISM	3-5GHz/ 6-10GHz
전송속도	6/12/55 Mbps	20, 40, and 250Kbit/s	1 Mbps	11-54 Mbps	53.5-480Mbps
서비스반경	10-500m	10-100 m	10 m	50-100 m	<10 m
변복조/다중접속	BinaryCDMA /TDMA	BPSK, QPSK/	FFSS/TDMA	DSSS/CSMA	CDMA/OFDM
연결형태	N:N, Ad hoc	Ad-hoc, mesh	1:N, Ad hoc	1:N PC기반	1:1
동시채널 수	10	16+1+1	32	3	4-16
보안성	AES-128	AES-128	64/128SAFER+	WEP	AES-128
이동성	고속이동	어려움	보행이동	보행이동	어려움
QoS	△			X	△
망 접속시간	1sec이하	30ms	3sec이상		
소비전력	중	소	소	대	대

전자부품연구원에서 개발된 Koinonia 시스템은 Binary 전송 기술과 TDMA (Time Division Multiple Access) 기술을 접목시키고 0.667Mbps에서 55Mbps까지 다양한 속도로 데이터 전송이 가능하며 간섭에 강하고 저전력, 고품질의 QoS를 보장할 수 있도록 하였으며, 또한 서비스 반경이 500m 이상으로 매우 넓은 편이다. 그리고 보안성이 떨어지는 WEP 암호화 방식 대신에 AES-128암호화를 사용함으로써 WiFi에 비해 보안성이 매우 우수하며, 국가 원천기술이기 때문에 국가보안과의 접목이 가능하다는 장점이 있다.

3. WFAN 구현 사례

미국 펜실베이니아주에 위치한 Teletronics Technology 사에서는 ASMT System[1]을 개발중이다. ASMT는 지상의 기지국과 공중의 전투기 사이에 Telemetry를 이용한 통신 링크를 형성하고 전투기 외부에 각종 센서 (진동, 압력, 음향, 온도, 틀변형)를 부착해서 전투기 외부 상태를 기지에서 모니터링 할 수 있으며, 기지에서 전투기에 부착되어 있는 센서를 제어할 수 있는 WFAN 시스템이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 전투기에는 네트워크 컨트롤러가 있어서 원격센서로부터 정보를 수집한 후 Telemetry 장비를 통해 기지국으로 데이터를 무선으로 전송하며, 기지국에서는 유선으로 PC (Personal Computer)나 인터넷을 통해 모니터링 할 수 있다.

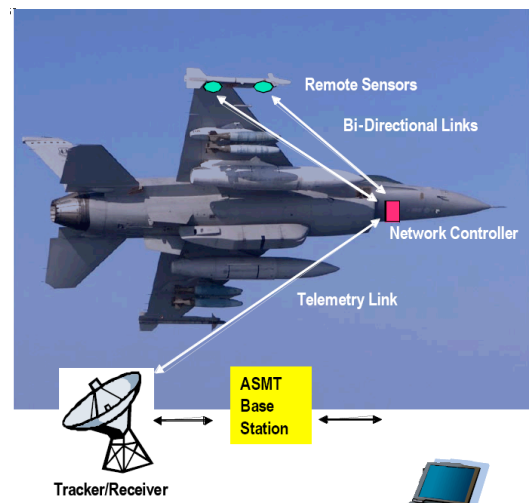


그림 2 ASMT 시스템 개념도

Fig. 2 Conceptual diagram of ASMT system

원격센서는 전투기 기체 변형 없이 탈부착이 가능하도록 제작된 SWSC-103 (그림 3)과 미사일 발사기 내부에 장착 가능한 SWSC-103E가 있다. 두 종류의 차이점은 전원부에 있으며, 접착제를 이용하여 기체에 부착 할 수 있는 SWSC-103은 내장 배터리를 이용하고 발사기 내부에 직접 조립이 가능한 SWSC-103E는 외부로부터 28V의 DC전원을 공급받아야 한다. 전원부를 제외한 다른 블록을 살펴보면 축 센서, 온도센서 두 종류의 센서와 아날로그 센서 데이터를 디지털화 하는 ADC, 그리고 디지털 데이터를 원격으로 전송할 수 있는 Radio Transceiver (XCVR)로 구성된다.

XCRV는 상용규격인 Bluetooth나 Zigbee를 이용하여 데이터를 전송한다.

원격센서로부터 데이터를 수집하는 네트워크 컨트롤러(그림 4)는 Bluetooth 송수신기를 이용하여 원격센서 데이터를 무선으로 수집하고 각 센서의 네트워킹을 관리하는 프로세서와 정보데이터를 Telemetry로 전송하는 인터페이스로 구성된다.

Telemetry 시스템은 원거리 저속 데이터 전송에 널리 이용되고 있는 시스템이며, 보통 2.2GHz부터 2.4GHz 까지의 대역을 사용하고 8W정도 높은 출력으로 전송하기 때문에 원거리 전송이 가능하다. Telemetry를 이용한 기지국과 전투기간의 통신 링크 품질은 양호할 것으로 예상되나, 문제는 네트워크 컨트롤러와 원격센서간의 통신 품질에 있다.

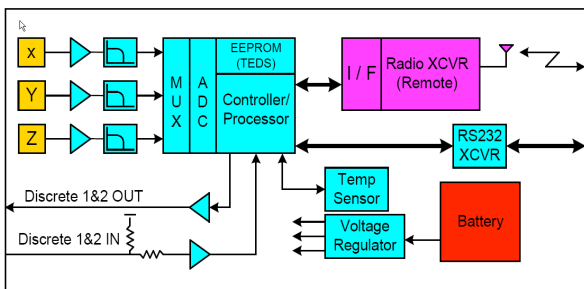


그림 3 원격센서 (SWSC-103)의 내부 블록도
Fig. 3 Block diagram of remote sensor (SWSC-103)

로젝트에서 밝혔다. 이는 Bluetooth의 중대한 단점이다. 그리고 Zigbee는 128AES의 암호화를 사용하지만 Bluetooth는 64/128 암호화 알고리즘을 사용하므로 Zigbee에 비해 보안 문제가 심각하다. 따라서 보안기능 및 통신품질, 서비스 반영 측면에서 상용 규격인 Bluetooth 시스템은 WFAN 구축을 위해서는 적합하지 않다.

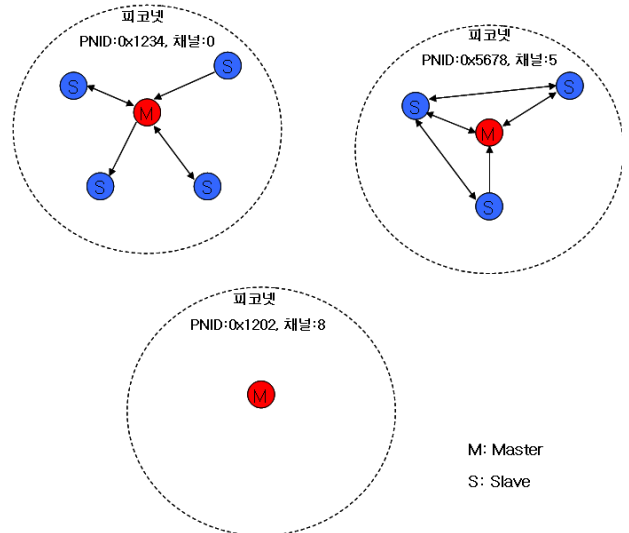


그림 5 일반적인 Koinonia 무선네트워크 구성
Fig. 5 Configuration of Koinonia wireless networks

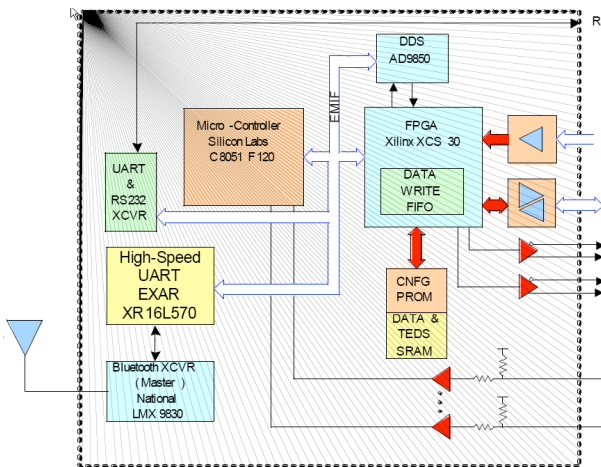


그림 4 네트워크 컨트롤러 (MWTR-103)의 내부 블록도
Fig. 4 Block diagram of network controller (MWTR-103)

개발지 실험 결과에서 ASMT 시스템은 이격거리 90피트(27.432m)내에서 원활한 통신품질을 나타냈으며, 추후 급속에물들 사이에 놓은 상태에서 30피트의 이격거리를 두고 실험할 예정이라 밝혔다. 일반적으로 Bluetooth는 서비스 반경이 수m에서 수십m 까지로 매우 짧은 편이다. 게다가 직접과가 보장되지 않고 전투기의 기체가 장애물로 존재할 때 서비스 반경은 수m로 제한 될 수밖에 없다.

또한 Zigbee의 망접속 시간은 30ms로 대체로 빠른 편이나 Bluetooth는 거의 3초내지 5초가 필요하다고 테스트 프

4. Koinonia WFAN 구성

Koinonia는 무선망 구성시 Ad-hoc 네트워크를 형성할 수 있다. 그래서 무선랜과 다르게 중계기 역할을 하는 Access Point를 필요로 하지 않는다. 그림 5는 주파수 대역폭을 8MHz 가정 했을때 채널(0부터 9까지)에 따라 형성될 수 있는 일반적인 Koinonia 무선네트워크 구성의 예를 보여주고 있다. 먼저 하나의 주파수 채널에는 하나의 Koinonia 무선네트워크를 형성할 수 있으며 이러한 무선 네트워크 피코넷이라고 하며 여러개의 피코넷을 구별하기 위하여 PNID (PicoNet IDentification)를 부여하며 이 값은 유일한 상수값을 갖는다. 피코넷 내부에는 마스터(Master)와 슬레이브(Slave)가 존재하며 마스터는 슬레이브와 동기를 맞추기 위해서 비콘(Beacon) 신호를 주기적으로 송신하며 피코넷 당 하나만 존재할 수 있다. 슬레이브는 마스터에서 보내는 비콘 신호에 따라 마스터와 유기적으로 동작하면서 데이터를 서로 송수신할 수 있고 피코넷내에서 복수개로 존재할 수 있다. 이때 마스터와 슬레이브는 스케줄링 방법에 따라 양방향 송수신 및 단방향 송수신이 가능하며 슬레이브간의 통신도 가능하다.

Koinonia의 일반적인 망 운영 방법은 먼저 하나의 특정 채널에 피코넷의 존재여부를 검사한다. 만약 피코넷이 특정 채널에 이미 존재하면 해당 피코넷에 합류하여 슬레이브로 동작하게 된다. 그렇지 않고 특정 채널에 피코넷이 존재하지 않으면 자기 자신이 마스터가 되어 다른 슬레이브들이 합류할 수 있도록 피코넷을 형성하게 된다.

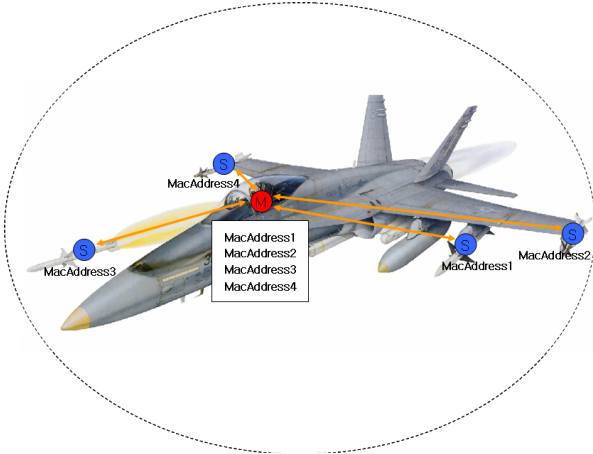


그림 6 전투기를 위한 Koinonia WIFAN 구성
Fig. 6 Koinonia WIFAN configuration for fighter

그러나 기존의 Koinonia의 Ad-hoc망 구축방법을 그대로 WIFAN 운영시스템에 적용하기엔 관리 및 운영적 차원에서 효율적이지 못한 부분들이 있다. 그래서 이러한 비효율적인 부분을 개선하고 WIFAN 운영시스템에 최적화하기 위한 Koinonia의 무선네트워크 구축 및 망 운영방법을 설명한다. 그림 6은 전투기 내부의 조종사 휴대기기와 전투기외부의 폭탄간의 데이터 통신을 위한 Koinonia WIFAN의 구성 예를 보여주고 있다. 이때 조종사의 휴대기기는 마스터가 되고 외부폭탄들은 슬레이브가 되며 Transmission Control Protocol/Internet Protocol의 통신 프로토콜을 지원하기 위해 마스터와 슬레이브간에 양방향 통신이 가능한 하나의 피코넷이 구성된다. 원래 마스터와 슬레이브의 역할은 조종사 휴대기기와 외부폭탄에 관계없이 어떤 것이든 마스터나 슬레이브 역할이 가능하지만 외부 폭탄은 작전 수행시 소멸될 수 있기 때문에 피코넷내에서 항상 존재해야 하는 마스터의 특성상 조종사 휴대기기는 항상 마스터가 되고 외부 폭탄은 항상 슬레이브가 되어야 한다. 그리고 이렇게 전투기에 형성된 피코넷은 전투기당 하나만 존재할 수 있고 하나의 주파수 채널을 점유할 수 있다. 따라서 주파수 채널 대역폭이 8MHz일 경우 동시에 최대 10개의 피코넷을 운영할 수 있는 것이다.

전투기를 위한 Koinonia WIFAN의 망 운영방법은 먼저 무선네트워크를 구성하기 전에 모든 외부폭탄에 저장된 MAC 주소 목록을 조종사 휴대기기에 먼저 입력해 둔다. 그리고 조종사 휴대기기는 주파수의 모든 채널(0부터 9까지)에서 피코넷의 존재여부와 에너지 검출 값을 이용하여 채널의 전파간섭 상태를 파악한다. 이 결과를 토대로 피코넷이 존재하지 않고 전파간섭 상태가 가장 양호한 주파수 채널을 찾아 마스터가 되어 피코넷을 형성하고 슬레이브의 합류를 기다린다. 외부폭탄도 주파수 채널을 검사하여 피코넷이 존재하는 채널을 파악하고 파악된 피코넷을 대상으로 피코넷내의 마스터에게 순차적으로 합류를 요청한다. 합류요청을 받은 피코넷 내의 마스터는 네트워크를 구성하기 전 입력받은 외부폭탄들의 MAC 주소 목록과 합류를 요청한 외부폭탄의 MAC 주소가 일치하는지를 파악한다. 만약 결과가 일치하면 합류를 승인하게 되고 합류를 요청한 외부폭탄은 피코넷에 합류하여 슬레이브로 동작하게 된다. 반대로 만약

결과가 일치하지 않을 경우 합류가 거부되며 특정 피코넷의 합류요청을 거부 받은 외부폭탄은 다른 피코넷을 찾아다니면서 피코넷 합류가 성공 할때까지 피코넷 내의 마스터에게 계속 합류 요청을 시도하게 된다.

이렇게 MAC 주소를 비교해 합류를 승인함으로써 여러 개의 피코넷이 동시에 존재할 때 자신이 속해 있는 피코넷에 해당하는 슬레이브들만 선택하여 네트워크를 형성할 수 있게 되는 것이다.

5. Koinonia WIFAN의 무선 운용 시험

본 절에서는 실제 전투기 실내외의 무선 채널 환경에서 Koinonia 시스템을 적용한 WIFAN의 무선 데이터 통신실험을 진행하여 성능을 분석함으로써 Koinonia 시스템을 적용한 WIFAN의 구축이 가능한지를 보이도록 한다. 다양한 전투기 기종 중에서 KT-1, F-16K, 그리고 F-15K 의 실내외 환경에서 실험이 이뤄졌으며, Koinonia 시스템은 KWPA1100 칩셋과 MAX2822 RF 칩셋을 이용하였고, 채널대역폭 8MHz, 데이터 율 RATE4, 그리고 1024 바이트의 페이로드 길이를 이용하였다.

5.1 KT-1 전투기 무선운용

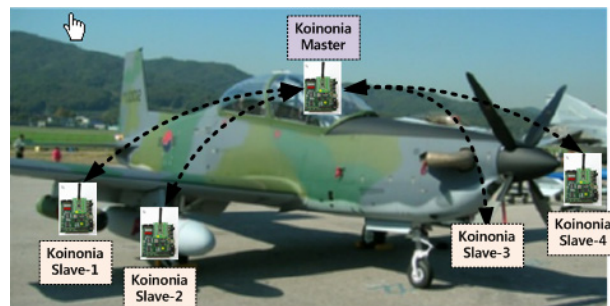


그림 7 KT-1 전투기의 WIFAN 구성도
Fig. 7 WIFAN configuration for KT-1 fighter

먼저 KT-1 전투기의 채널환경에서 Koinonia WIFAN을 실험한 결과를 보도록 한다. 그림 7은 KT-1 전투기의 WIFAN 구축환경을 보여주고 있다. Koinonia 마스터는 조종사들이 지니고 있는 휴대기이며, Koinonia 슬레이브-1, 2, 3, 4는 외부포탄에 장착되는 Koinonia 시스템이다. KT-1 전투기의 조정석에 Koinonia 마스터를 배치하고 마스터의 상태를 점검하는 Host를 장착시킨다. 전원을 인가하면 주위에 Koinonia 마스터가 있는지 확인한 후 없다면 마스터가 되며, 주기적으로 비콘 데이터를 브로드캐스트하게 된다.

Koinonia 마스터가 켜진 상태에서 전투기 날개 밑 부분(즉 외부포탄이 실장 될 부분)에 그림 7과 같이 Koinonia 슬레이브를 배치하고 슬레이브의 상태를 점검할 수 있는 Host를 배치한다. 슬레이브의 전원이 인가되고, 마스터로부터 망 접속이 허용되면 마스터와 슬레이브간의 무선 데이터 링크가 형성된다. 망의 통신 상태를 점검하기 위해서 마스터와 슬레이브간 50:50의 비율로 송수신하게 한 후 수신신호 세기 (RSSI: Received Signal Strength Indication) 및 신호대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio), 패킷 에러율

(PER: Packet Error Rate)등을 체크한다. 마스터와 슬레이브의 송신출력은 최대 15dBm으로 조정된 후 슬레이브의 위치를 변경하면서 수신상태를 모니터링한다.

표 4에 나타난 시험결과에 의하면 수신신호 세기는 -56dBm 이상 이었으며, SNR은 17dB 이상, PER은 2%이하로 측정되었다. 따라서 조정석내부와 날개밑 포탄과의 통신링크는 방해물(날개 및 전투기 기체외부)이 있더라도 RSSI가 Koinonia 수신 가능한 최소 수신전력 레벨인 -82dBm 보다 높게 측정되었기 때문에 통신 품질은 충분히 양호한 결과로 판명 되었다.

KT-1의 통신링크 중에서 가장 전파 감쇄가 취약할 것으로 예상되는 지점인 전투기 후면의 내부전기 공급장치 부분에 슬레이브를 배치하고 통신실험을 한 결과 수신신호 세기는 -75dBm 이상 이었으며, SNR 또한 13dB 이상이었고, PER 5%이하였다.

또한 슬레이브를 전투기 조정석에서 20m 이격시킨후 실험한 결과 RSSI는 -65dBm 부터 -70dBm, SNR 17dB 이상 이었고 PER 2%이하였다. 결국 KT-1 전투기에서 Koinonia 시스템을 활용한 전투기 무선 운영시험에서는 RSSI가 최소 -75dBm이었으며 Koinonia 수신 가능한 최소 수신전력 레벨인 -82dBm을 넘는 수준이었다. 따라서 KT-1의 내부 및 외부 무선망 구축은 충분히 가능할 것으로 예상된다.

표 4 KT-1 전투기 무선 운영 시험 결과표
Table 4 Management experiments of F-16K fighter

No.	마스터	슬레이브	RSSI	SNR	PER
1	조정석	날개밑	≥ -56dBm	≥ 17dB	2%이하
2	조정석	후면전원 공급장치	≥ -75dBm	≥ 13dB	5%이하
3	조정석	20m이격	≥ -70dBm	≥ 17dB	2% 이하

5.2 F-16K 전투기 무선운용

두 번째 실험은 F-16K에서 이뤄졌으며, WFAN의 망 구성은 그림 8과 같다. 이는 KT-1의 망 구성도와 유사하다. KT-1에 비해 기체의 길이가 매우 크기 때문에 슬레이브 위치가 후면부로 가면 RSSI가 매우 작을 것으로 예상된다.

표 5에 F-16K 전투기에 대한 무선 운영 시험 결과를 나타내었다. 결과에 의하면 슬레이브 위치를 날개 밑과 포탄



그림 8 F-16K 전투기의 WFAN 구성도
Fig. 8 WFAN configuration for F-16K fighter

밑 부분으로 배치한 후 RSSI를 측정한 결과 -65dBm 이상 이었으며 SNR은 15dB 이상이였다. F-16K의 케노피 재질이 특수하기 때문에 케노피 개폐에 대한 영향도 측정하였으나, 2.4GHz 전파의 특성상 직진성이 강한 이유로 전파가 케노피를 통과하지 않고 기체를 바로 통과하기 때문에 케노피에 따른 신호 감쇄는 나타나지 않았다. 또한 외부포탄 밑부분에 슬레이브를 설치했을 때는 외부포탄이 장애물이 되기 때문에 약 10dB 정도의 손실이 발생하여 RSSI 가 -75dBm 이상으로 측정되었다.

최악의 데이터 링크로 판단되는 조정석과 전투기 후면부와의 통신링크 실험은 RSSI 가 -80dBm 주변에서 측정되었으며, SNR도 10dB 근방이였다. 즉, 후면부와의 통신상태를 양호하게 하기 위해서는 송신전력을 최소한 15dBm 이상으로 해야 할 것으로 예상된다. 표 5와 함께 정리하면 Koinonia를 RATE4로 구동할 때 SNR은 실험결과 모두 10dB 이상이였고 이러한 SNR 환경에서 PER은 최대 9%이하였다. 통신링크의 품질은 보통 PER이 10%이하 일 때 양호하다고 판단하며 에러가 발생한 패킷은 MAC에서 재전송을 요구하게 되므로 데이터가 손실될 우려는 없다.

표 5 F-16K 전투기 무선 운영 시험 결과표
Table 5 Management experiments of F-16K fighter

No.	마스터	슬레이브	RSSI	SNR	PER
1	조정석	날개밑 포탄위	≥ -65dBm	≥ 15dB	2%이하
2	조정석	날개밑 포탄밑	≥ -75dBm	≥ 13dB	5%이하
3	조정석	후면꼬리	≥ -80dBm	≥ 10dB	9% 이하

5.3 F-15K 전투기 무선운용

F-15K와 F-16K는 기체의 형태차이가 미미하여 별도로 WFAN 구성에 대해서는 설명하지 않는다. F-15K에서는 F-16K와 비슷한 실험결과가 도출되었으며 후면부와의 통신은 F-16K처럼 RSSI 가 -80dBm 근방이였다. KWPN1200 (Koinonia V2.0) 칩셋은 KWPN1100 (Koinonia V1.1)에 비하여 3dB정도 성능이 우수하기 때문에 추후로 KWPN1200과 고성능 RF 칩셋 (MAX2830, MAX2829, AL2230 등)을 이용하여 F-15K의 조정석과 후면부와의 통신실험을 추가로 진행할 예정이며, 이 실험결과가 양호하다면 전투기 실내외 무선망 구축은 충분히 가능할 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 Koinonia 시스템을 적용한 WFAN에 대해 소개하고 다양한 무선통신규격들과 비교하여 Koinonia WFAN의 우수성을 도출하였다. 비교를 위해 Bluetooth 시스템을 이용한 ASMT에 대한 소개와 ASMT의 기능적 한계를 제시하였다. 또한 Koinonia WFAN을 이용한 전투기 무선 운영 시험을 통해 전투기 무선망 구축 가능성을 타진해 보고 망 구축 시 필요한 운영방법을 제시하였다.

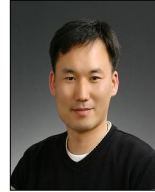
감사의 글

이 연구는 지식경제 기술혁신사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 R&BD(사업화연계기술개발) 사업의 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

- [1] Steven A. Musteric and Albert Berdugo, "The Advanced subminiature Telemetry System (ASMT) : A Wireless, Network Based, Miniaturized Instrumentation System," U.S. Air Force T&E Days, 2008
- [2] IEEE Std 802.15.4TM-2003 Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- [3] Bluetooth Special Interest Group, Specification of the Bluetooth system Version 1.1B, Specification Vol. 1&2, Core, February 2001.
- [4] IEEE Draft supplement to IEEE Std 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, High Speed Physical Layer in the 5GHz Band", 1999.
- [5] Federal Communications Commission (FCC), "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra Wideband Transmission Systems," First Report and Order, ET Docket 98-153, FCC 02-48, Adopted: February, 2002, Released: April, 2002.
- [6] T. H. Wu and E. Geraniotis, "CDMA with multiple chip rates for multi-media communications," Information Science and Systems Conf., pp.992-997, 1994.
- [7] I. Chih-lin and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," ICC'95, pp.1060-1064, 1995.
- [8] T. Wada, T. Yamazato, M. Katayama and A. Ogawa, "A constant amplitude coding for orthogonal multi-code CDMA systems," IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E80-A, no. 12, pp.2477-2484, Dec. 1997.
- [9] ISO/IEC JTC 1, "Information technology- Telecommunications and information exchange between systems-MAC/PHY standard for ad hoc wireless network to support QoS in an industrial work environment," FDIS 24771, 2008.

저 자 소 개



김 용 성 (金 容 誠)

1973년 12월 3일생(양). 2001년 전남대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2000년 세트리마크로시스템 주임연구원. 2003년~현재 전자부품연구원 선임연구원. 통신모뎀 SoC 설계 분야 연구

Tel : 02-6388-6665

E-mail : yskim@keti.re.kr



조 진 응 (趙 鎭 雄)

1964년 9월 20일생(양). 2001년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(박사). 1993년~현재 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터 수석연구원, 무선통신 이동통신 WPAN WLAN 분야 연구

Tel : 02-6388-6660

E-mail : chojw@keti.re.kr



홍 대 기 (洪 大 基)

1972년 9월 15일생(음). 2003년 연세대학교 전기전자공학과 졸업(박사). 2002~2006년 전자부품연구원 근무. 2006~현재 상명대학교 정보통신공학과 부교수. 무선통신 분야 연구.

Tel : 041-550-5350

E-mail : hongdk@smu.ac.kr