

공항내 지상이동감시를 위한 DGPS 및 STDMA 연구***

유창선*, 남기욱*, 김종철**

A Study on DGPS and STDMA for SMGCS***

C. S. Yoo*, G. W. Nam*, J. C. Kim**

목 차

- I. 서 론
- II. STDMA 개념 및 응용 예
 - 2.1 개념
 - 2.2 시스템 구성 및 기능
 - 2.3 SMGCS 응용
- III. DGPS 및 Software기반의 TDMA통신 실험
 - 3.1 하드웨어 구성
 - 3.2 소프트웨어 구성 및 기능
 - 3.3 차량이동 실험결과
- IV. 결 론

Abstract

오늘날 위성항법, 위성통신을 이용한 항공항법감시의 새로운 변화 가운데 국제민간항공기구(ICAO)에서 VDL(VHF Digital Link) Mode 4로 채택된 STDMA (Self-organized Time Division Multiple Access)에 관심이 증대되고 있다. 해양분야에서는 선박위치 자동인식시스템(AIS) 및 선박운행관리시스템(VTS)에서 2002년부터 적용될 예정이고, 항공분야에서는 향후 몇년후에는 ADS-B, SMGCS에서 응용될 가능성이 높다. 본 연구에서는 STDMA를 이용한 SMGCS구현을 위한 기술개발로서 사전에 측지된 기준국으로부터 실시간으로 GPS 보정값을 생성, 전송하도록 하는 실시간 DGPS기술과 동기신호에 따라 시분할 다중접속을 구현한 소프트웨어 기반의 TDMA기술을 구현하였으며 이를 연구원내에서 차량이동 실험을 수행하여 다수의 이동국간에 측위값을 상호전송함으로써 각각의 위치를 실시간으로 파악할 수 있음을 보였다.

* 한국항공우주연구원 선임연구원

** 한국항공우주연구원 책임연구원

*** 본 논문은 2001년도 공공기술이사회에서 지원된 한국항공우주연구원 기본연구사업의 연구결과임.

I. 서 론

현재 가장 활발히 GPS를 응용하고 있는 항공 및 해상항법 분야는 항공기와 선박 운항의 안전을 위해 DGPS 기법과 효율적인 디지털 데이터 링크를 이용하여 항공기와 선박의 운항 상태를 감시(surveillance)할 수 있는 방법을 모색하고 있는데, 이러한 효율적인 데이터 링크로 떠오르고 있는 것이 STDMA (Self-organized Time Division Multi Access) 방식을 이용한 VHF 데이터 링크이다. STDMA는 GPS가 전 세계 어디서나 나노-초 단위의 시각오차(SPS : $340 \times 10^{-9} \text{sec}$)로 사용자의 시간을 결정할 수 있다는 점을 이용한 것으로 TDMA 방식과 시각동기가 결합한 기술이다. 현재 STDMA방식은 해상항법에서 표준으로 채택된 Universal Shipborne AIS(선박 자동 인식 시스템) 기술에 사용하고 있다. AIS는 선박이 DGPS와 STDMA 방식을 이용한 정밀측위와 데이터 링크로 주위 선박의 정확한 위치와 움직임을 파악하여 항로 상에서 충돌을 피할 수 있는 선박안전항해를 위해 개발된 시스템이다.

항공항법에서는 STDMA방식을 VDL Mode-4로서 채택하여 항공기와 항공기간, 항공기와 지상관제소간 항공기 위치를 실시간으로 감시할 수 있는 차세대 위성항행의 감시수단으로서 ADS-B(Automatic Dependant Surveillance - Broadcasting), SMGCS(Surface Movement Guidance and Control System)를 구현하기 위한 국제기술표준에 대한 협의가 진행되고 있다. SMGCS는 항공기 운항과 공항내 이동체(항공기, 유조차량, 화물 운반차, 정비지원차 등)의 위치와 궤적을 파악하고자 각국에서 이에 대한 연구와 실험이 활발하게 진행되고 있으며, 우리나라에서도 이에 대한 기술을 확보하여 해상항법 및 항공항법 분야의 (D)GPS 이용 표준화(항공 : 2010년 이후)와 그에 따른 파급효과가 기대되고 있다.

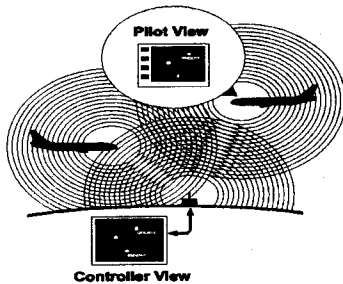
본 논문에서는 이러한 앞으로 수요가 예상되고 있는 STDMA기술을 이용한 SMGCS구현을 위한 접근방법으로 DGPS에 의한 이동측위와 STDMA에 의한 실시간 감시기능을 소프트웨어 적으로 구현하였다.

II. STDMA 개념 및 응용 예

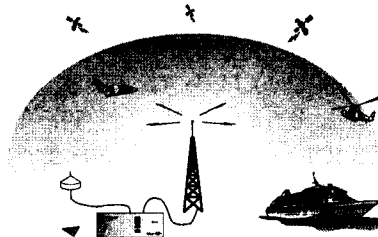
1. 개념

STDMA Transponder는 기준국과 이동체의 1:N 통신(controlled mode) 또는 이동체와 이동체의 N:N 통신방식(autonomous mode)을 구현하고 있다.

그림 1에서 기준국 트랜스폰더는 이동체가 정확한 위치를 계산하는데 필요한 오차보정정보를 생성하여 데이터 링크를 이용하여 이동체(항공기, 선박)로 방송하며, 이동체는 이를 수신하여 자기의 위치를 계산한 다음 자신에 대한 정보(이름, 위치, 속도, 경로)를 기준국이 정해진 시간대 안에서 방송하거나(controlled mode) 또는 그림 2와 같이 자신이 통신의 주체가 되어 “말하기 전에 듣는(listen before talk)” 방식을 이용하여 먼저 통신하고자 하는 시간 대에 상대가 같은 주파수로 데이터가 방송되고 있는지를 살핀 다음 자신의 정보를 방송한다.(autonomous mode)



<그림 2> Autonomous Mode 통신개념



<그림 1> Controlled mode 통신개념

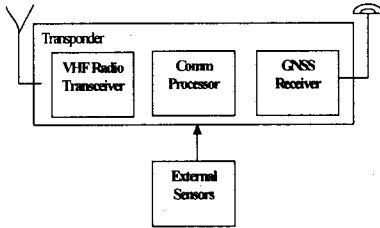
2. 시스템 구성 및 기능

2.1 트랜스폰더

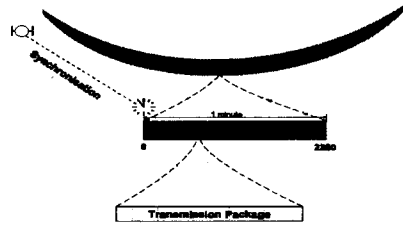
트랜스폰더는 그림 3과 같이 GPS 수신기, 프로세서, 데이터 모뎀으로 구성하는데, GPS 수신기는 위치계산

에 필요한 GPS원시데이터와 시각동기에 필요한 1pps 신호를 출력한다. 그림 2에서 보듯이 GPS는 전 세계적 인 운용범위를 가지므로 모든 이동체는 중간에 인터페이스 없이 나노-초 단위의 오차범위를 가지고 시각동기를 이루게 된다.

프로세서는 1pps 신호에서 자신의 시계를 맞추고 자신의 정보를 계산하여 이를 데이터 모뎀을 통하여 방송한다. 또, 다른 이동체의 정보를 수신하여 이를 자신의 정보와 함께 화면에 나타내어 사용자가 일정 반경 안에 있는 자신을 포함한 기준국과 모든 이동체의 위치와 운동을 파악할 수 있다.



<그림 3> STDMA 트랜스폰더 구성



<그림 4> STDMA 트랜스폰더 데이터링크

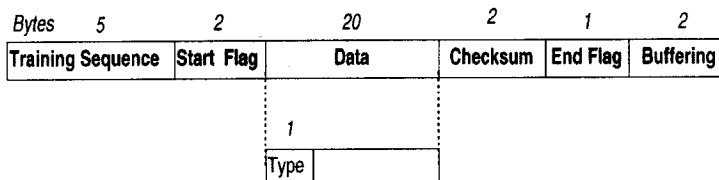
2.2 데이터 링크

트랜스폰더는 그림 4와 같이 GPS 신호에서 자신의 시간을 맞추고, 이를 영점으로 한 주파수 채널마다 1분 동안 2,250개 1분을 2,250개 time slot으로 쪼개어 통신에 필요한 단위 시간대로 삼는다. time slot 한 개의 시간 길이는 약 27ms로 1분 동안에 2,250×2=4,500회의 전송이 가능하다. 주파수 대역폭은 25kHz이고 전송률은 9,600bps로 time slot 하나에 전송할 수 있는 데이터의 크기는 256비트(32바이트)이다.

2.3 통신프로토콜

STDMA 통신에 필요한 프로토콜로 가장 중요한 부분이다. 모든 데이터 패킷 형태는 그림 5와 같이 Training Sequence(5바이트), Start Flag (2바이트), Data(20바이트), Checksum(2바이트), End Flag(1바이트), Buffering(2바이트)로 이루어지며, 최대 32바이트의 크기를 갖는다.

Training Sequence는 데이터 모뎀 송신기가 전송에 필요한 출력전력을 발생시킬 때까지 그리고 수신기가 중심 주파수와 동조될 때까지 시간적인 여유를 주기 위해 마련한 데이터 비트들로 0과 1이 번갈아 가는 형태로 (01010101...) 모두 40비트의 크기를 갖는다. Start Flag는 8비트 HDLC flag (01111110)과 표준 8비트 HDLC address (1110010)으로 구성한다. Data는 첫 번째 1바이트는 메시지의 종류(type)를 나타내며, 보통 160비트의 크기를 가진다. 만일 데이터의 길이가 길어질 경우는 그 다음 time slot을 이용하여 데이터를 방송하는데, 이때 다음 time slot의 데이터 패킷은 32바이트는 데이터만을 포함하게 된다. Checksum은 ISO/IEC 3309에 정의된 CRC를 이용하며, 메시지의 오류를 검출하지 못할 확률은 9×10^{-13} 이다. Buffering은 다음 메시지 송수신에 필요한 guard time으로 2바이트의 시간 길이를 갖는다. 이동체 및 기준국에서 사용하는 메시지의 종류와 형태는 따로 지정되어 있다.



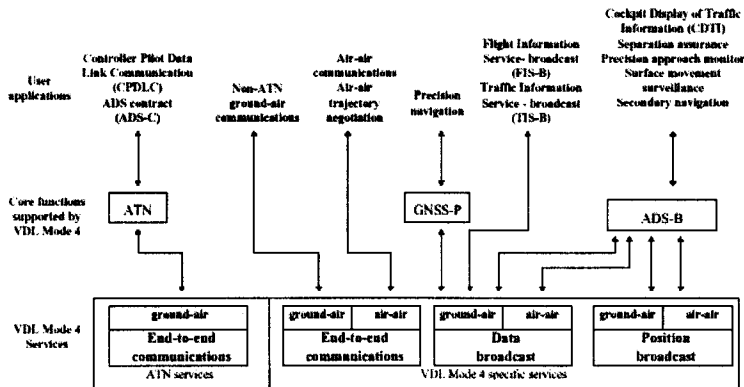
<그림 5> 통신프로토콜

3. 항공에서 응용분야

항공분야에서는 STDMA는 VDL Mode 4로서 분류되어 항공항법, 감시, 통신분야에서 활용이 예상되고 있으며 분야로는 다음의 것들이 있다. (그림 6)

- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance)
- TIS-B (Traffic Information Service - Broadcast)

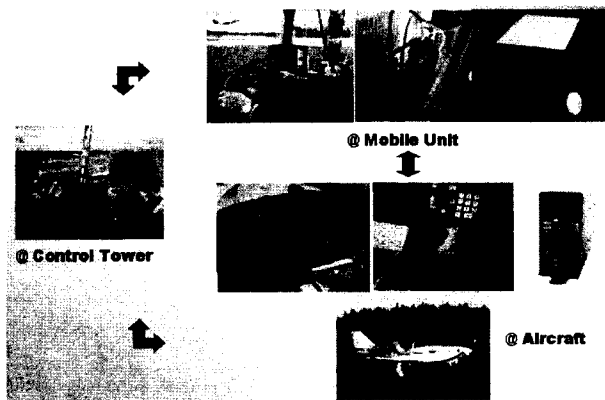
- FIS-B (Flight Information Service - Broadcast)
- Enhanced ATC Surveillance
- CPDLC (Controlled-Pilot Data Link Communication)
- GRAS (GNSS Regional Augmentation System)



<그림 27> 항공분야에서 STDMA 적용 분류

국제공항은 이·착륙을 기다리는 항공기 이외에도 여객 운반차량, 화물 운반 차량, 유조차량, 정비지원 차량 등 수 천대의 차량이 활주로 주변을 운행하거나 대기 중에 있다. 향후 항공교통량의 증가를 고려할 때 공항 내에 이동체의 관제가 지금보다 더 빠르고 안전하게 이루어져야 한다.

SMGCS는 바로 이러한 목적에 사용되는 것으로써, ADS-B의 공항 내 연장이라고 볼 수 있다. 공항 관제소는 항공기와 차량의 위치를 파악하여, 이들의 공항 내 운항을 관제하게 된다. 관제소에서는 디스플레이를 통해 항공기와 차량의 위치, 식별번호, 속도, 방향, 공항 전체를 볼 수 있으며, DGPS 기법을 이용하기 때문에 1미터 정도의 위치 정확도를 갖는다. 이 정보를 관제소는 공항 내에 항공기와 차량과 공유할 수 있다.



<그림 28> 항공분야의 STDMA 응용 예

III. DGPS 및 Software기반의 TDMA통신 실험

STDMA를 구현하기 위하여 요구되는 기술적으로 해결해야 하는 문제는 크게 3가지로 나눌 수 있다.

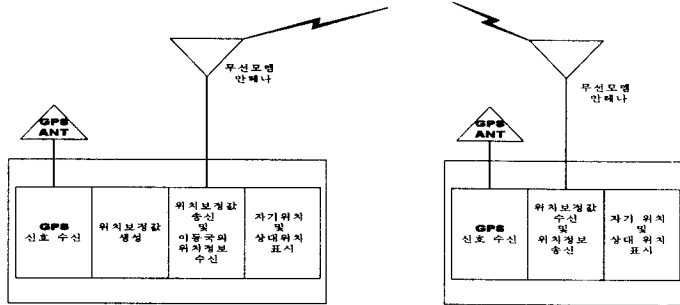
- GPS수신기의 1pps를 이용한 시스템간 시각동기
- Full Duplex 방식의 무선모뎀을 이용한 무선데이터 송신 및 수신
- STDMA 통신 프로토콜

이러한 기술적인 문제는 PC기반의 통신모의실험을 통하여 확인이 되어 Software 기반의 STDMA 통신을

공항내 지상이동감시를 위한 DGPS 및 STDMA 연구 95
 구현하는 방법으로 DGPS 기준국 기능과 동적 측위/위치 보고 기능을 구현하는데 필요한 하드웨어를 구성한
 후, 소프트웨어 코딩을 통한 알고리즘과 인터페이스 구성을 수행하였다.

1. 하드웨어 구성

SMGCS시험시스템은 그림8과 같이 기준국(A)과 이동국(B,C)으로 구성하고, DGPS 기준국 기능, 시각동기
 기능, 동적 측위 기능 그리고 위치보고 기능을 구현하도록 하였다.



<그림 8> DGPS 시스템 구성(이동국 C의 구성은 B와 동일)

1.1 DGPS 기준국

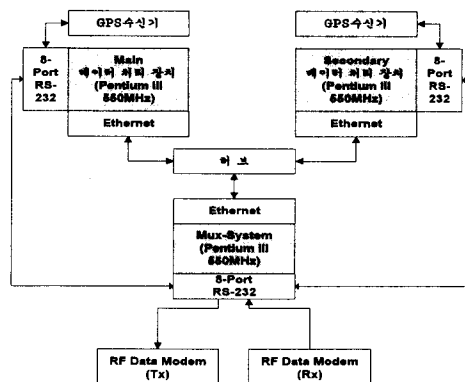
기준국은 연구소내 기지의 측위점을 이용하였으며 기준국의 시스템으로는 표 1과 같이 GPS 수신기, 컴퓨터, 무선모뎀으로서 구성되었으며 GPS 수신기로는 Novatel사의 Pwrpak4를 사용하였고, 무선모뎀은 DGPS정보송신용으로 Esteem 192C, 측위정보 전송 및 시각동기용으로 Pacific Crest사의 RFM96W를 각각 사용하였다.(그림 9,11,12)

<표 1> 기준국 시스템 사양

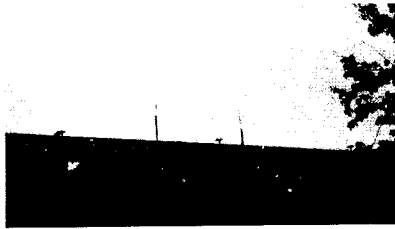
항 목	시스템 구성	내 용
DGPS기준국 시스템	GPS수신기	Novatel Pwrpack4 : 20Hz, 12채널 L1/L2파 수신
	데이터 처리부	산업용 PC : 800 Mhz CPU
	Multiplexer 및 Multi I/O	이중시스템 데이터 처리, 2대 이상의 RS232통신 구현
무선모뎀	보정데이터 전송모뎀	ESTeem Model 192C :19,200 bps
	측위결과 전송모뎀	Pacific Crest사 RFM96W : 9600 bps



<그림 9> 기준국시스템



<그림 10> DGPS 기준국 시스템 구성도



<그림 11> 기준국 안테나



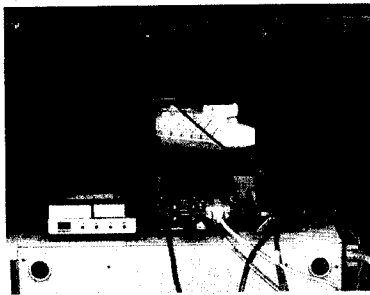
<그림 12> 기준국 통신시스템

1.2 이동국

이동국에서는 기준국에서 송신된 DGPS 보정정보를 이용하여 정밀측위를 수행함과 동시에 기준국으로부터 동기패킷을 받아 1초에 한번씩 위치정보를 전송한다. 표 2와 같이 기준국과 동일한 하드웨어 사양으로 2대의 이동국으로서 구성되었다.(그림 13,14,15,16)

<표 2> 이동국 시스템 사양

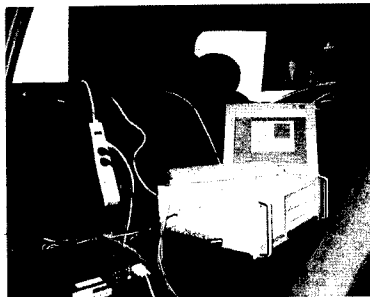
항 목	내 용
GPS수신기	Novatel Pwrpack4 : 20Hz, 12채널 L1/L2파 수신
무선모뎀	ESTeem Model 192C :19,200 bps
	Pacific Crest사 RFM96W : 9600 bps
컴 퓨 터	일반 PC : 1 Ghz CPU



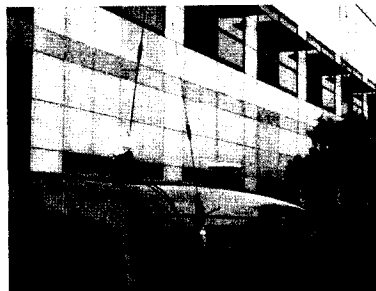
<그림 13> 이동국시스템(1)



<그림 14> 이동국 안테나(1)



<그림 15> 이동국 시스템(2)



<그림 37> 이동국 안테나(2)

2. 소프트웨어 구성 및 기능

SMGCS통신 패킷구현은 GPS수신과 무선통신을 이용한 위치좌표 데이터 획득을 위하여 기준국과 이동체간의 통신을 위하여 기준국에서 동기 신호를 송신함으로써 안정적인 양방향 통신이 가능함과 동시에 기준국과 각각의 이동국이 동시에 모든 상황을 인지할 수 있도록 하였다.

구현된 주요기능은 다음과 같다.

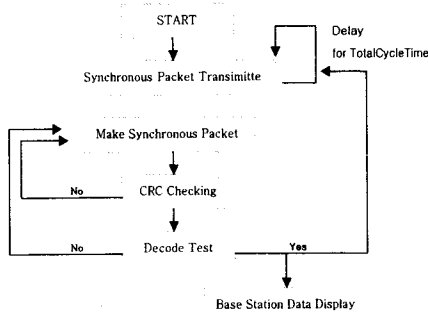
- DGPS기준국 기능
- 동적 측위 및 위치보고 기능

- 무선 데이터 링크 기능
- 시각동기 기능

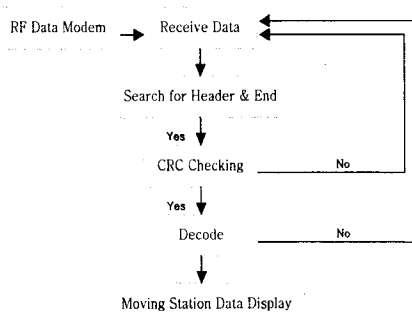
2.1 DGPS 기준국

DGPS 기준국은 GPS 수신데이터로부터 이동국으로 송신할 오차보정값을 계산하고 이동체가 자신의 동기를 맞출 수 있도록 동기 패킷을 만들어 주기적으로 송신하며 32개의 사용자 설정으로 구성되어 있고 동기 신호 주기는 32로 설정되어 있다. 수신은 각 이동체로부터 정해진 시간에 데이터를 수신 받아 데이터 패킷을 분석하여 디스플레이 한다.

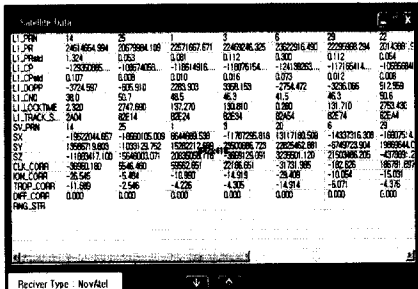
이동체로부터 최초 신호는 등록 요청 신호이므로 각각의 이동체에 대하여 등록을 시키고 다음 동기 신호에 등록됨을 알리고한 주기가 끝나면 이제까지 받은 이동체 Data를 분석하여 현재 사용중인 Address User 수, 등록된 사용자 번호, 시간지연 등을 계산하여 표시 및 저장하고 다음 동기 신호 패킷을 송신한다.(그림 17,18,19,20) 기준국의 동기데이터 패킷은 표 3과 같다.



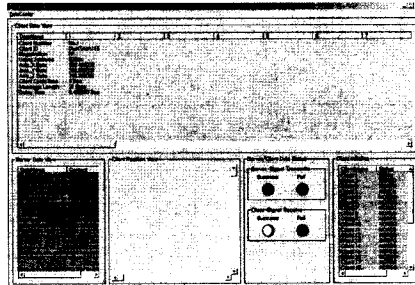
<그림 17> 기준국의 데이터 송신 흐름도



<그림 18> 기준국의 데이터 수신 흐름도



<그림 19> 수신된 GPS데이터



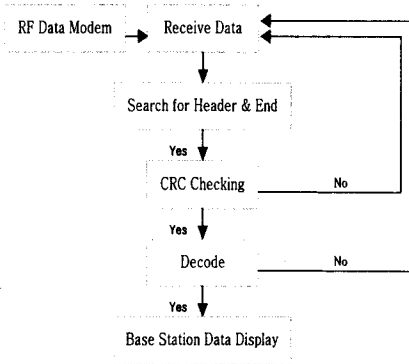
<그림 41> Main 화면구성

<표 3> 기준국의 동기데이터 패킷

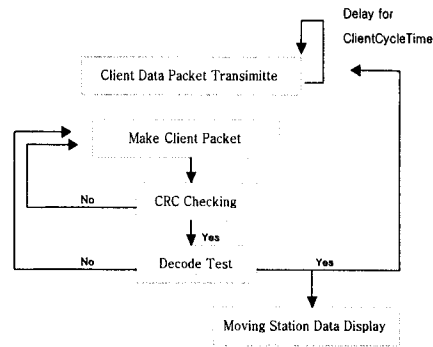
Packet Field Name	설명	Value	Bits
DCID(Data Center ID)	기준국 ID	(현재 임의의 설정) 0x43	8
User	User 수	(현재 임의의 설정)32	8
Address	사용 Address	가변	8
CLN(Client Number)	User별 부여 Number	가변	8
ClientAddress	User별 부여 Address	가변	8
CLN(Client Number)과client Address는 각각 32개씩 존재한다. 현재 설정이 32User로 되어 있기 때문이다. User의 수를 얼마로 하느냐에 따라 데이터 Packet의 길이가 결정된다.			
TotalCycleTime	동기 신호의 한 주기	(User수에 따라) 99 sec	8
MsgLn	메시지 길이	(User수에 따라) 72 Byte	8
CRC	CRC 체크를 위한 Bit	가변	24

2.2 이동국

이동국은 기지국의 동기 신호를 기다리며 기지국으로부터 동기 신호 패킷을 받으면 동기 신호의 데이터 패킷을 분석한 후 부여된 타이밍에 주소의 등록을 요청한다. 송신은 자신이 수집한 데이터 패킷에 실어 기지국과 동기를 맞춘 다음 자신의 타임 슬롯에 정보를 송신한다. (그림 22)



<그림 21>이동국의 데이터 수신 흐름도



<그림 22> 이동국의 데이터 송신 흐름도

수신은 기지국으로부터 동기 패킷을 수신 받아 기지국과 동기를 맞춘다. 각각의 이동체는 자신의 고유한 사용자 번호와 주소가 주어지고 처음 동기 신호를 받은 다음 기지국에게 등록을 요청하고 주소를 할당 받은 다음부터 데이터를 전송하며 등록이 되지 않았을 경우에 다시 등록을 요청한다. 모든 초기화가 끝나면 기지국 동기 신호에 맞추어 각각의 이동체는 데이터 통신을 한다.(그림21) 이동국의 동기데이터 패킷은 표 4와 같다.

<표 4> 이동국의 동기데이터 패킷

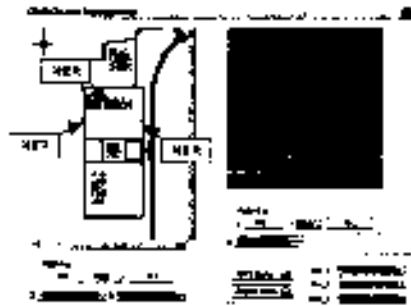
Packet Field Name	설명	Value	Bits
CCID(Client Center ID)	이동국 ID	0x74	8
Registration	등록 여부를 판단	등록(0xFF), 미등록(0x0)	8
Address	User 사용 Address	가변	8
CLN(Client Number)	User 사용 Numbeerr	가변	8
ClientAddress	할당된 Time Slot	가변	8
Axis_X	GPS로 부터의 위치좌표 X	가변	32
Axis_Y	GPS로 부터의 위치좌표 Y	가변	32
Axis_Z	GPS로 부터의 위치좌표 Z	가변	32
MsgLn	메시지 길이	21 Byte	8
CRC	CRC 체크를 위한 Bit	가변	24

2.3 시각동기 기능 구현 알고리즘

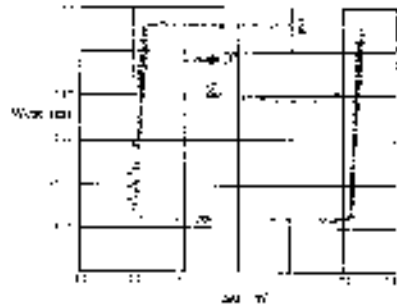
시각동기는 기준국을 중심으로 시각 스케줄링 알고리즘에 의해 동기 신호를 방송한다. 이동국은 기준국에서 방송되는 신호에 동기를 맞추는 초기화 작업을 수행하며 이동국과 기준국의 동기가 맞추어 지면 이동국은 허용된 time-slot에 이동국의 데이터 통신 허가를 요청한다. 기준국에서 통신 허가와 time-slot을 부여 받으면 이동국은 해당 time-slot에 본인의 데이터를 탑재하여 송출할 수 있으며 기준국의 데이터 방송은 모든 이동국이 수신할 수 있으며, 이동국은 기준국에서 방송되는 신호를 분석 자신의 정보만을 처리한다. 이동국은 송출될 정보가 없을 때는 예약된 time-slot을 계속 사용하여 신호를 보낸다. 기준국의 time-slot은 정해진 규칙알고리즘에 의해 할당되며, 이동국의 요청에 의해 해당 time-slot을 부여할 수 있으며 기준국은 과거와 현재의 배분된 time-slot과 사용자의 정보를 데이터 테이블화하여 관리한다.

3. 실험이동실험 결과

항공우주연구원에서 3대의 차량에 이동국을 설치한 후 측정실험을 수행하였다. 소프트웨어 기반으로 하여 1ppm의 시간 동기 구현은 만능이 있었지만 DGPS 정확도와 항복신호 위치신호의 기능을 확인하였다. 그림 23에서는 기준국과 2대의 이동국간의 수신신호를 측정으로 표시한 것이며, 그림 24는 기준국에서 이동한 지 50초후에 3대의 이동국에서 시작하여 연구소에 반송이동을 하였다. '3.3.2.2' 연구소 건물에 의해 GPS 수신기 데이터 통신이 이 이유에서지 않은 이유이다.



<그림 23> 수신 및 통신신호의 디스플레이



<그림 24> 2대 차량의 이동실험 결과

IV. 결 론

GPS실험과 위성통신을 이용한 새로운 항행기술의 마련이 국지적으로, 항공역이 요하는 각 운항회사 부근이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 항공분야에서 VDL Mode-4로서 주목을 받고 있는 STDMA 기술을 적용한 AIS-H, SMACS에 대한 접근방법으로서 DGPS 수신기술, 동기 및 TDMA 기술을 소프트웨어 기반으로 구현하여 실시간 광범 및 장시간실험을 수행하였다.

이후 통하여 최초의 이동체에 대한 실험은 토너먼트 기술을 확인하였으며, 앞으로 GPS수신기의 1ppm의 이동한 시스템의 시간 동기, Full Duplex 방식의 데이터 송수신, STDMA 통신 소프트웨어에 대한 지속적인 연구가 수행될 예정이다. 궁극적으로는 이를 구현하기 위하여 좀더 체계적인 (현이 리피라야 할 것)이며, 실용분야도 경우 선택적인 위성항행(GNSS) 기술표준이 미래중에 있는 시절에서 국지적으로 위성항행분야에 대한 지속적인 연구를 통한 소프트웨어 기술의 확보가 요구되고 있다.

참 고 문 헌

1. Erikard Njellberg, "Capacity and Throughput using a Self-Organized TDMA VHF Data Link in Surveillance Applications", Master Thesis, Univ. of Stockholm, GNSC Sweden, Apr. 1998.
2. Naoh Celsius TransponderTech, "Technical Description - Transponders for Universal AIS, DOC No. TFA-0912
3. Swedish CAA, "Technical Description - The GNSS Transponder-MXP 3701", Jul. 1998.
4. VDL Mode 4 Manual - Appendix A Operation Concept (Ver. 1.0) Mar. 1997.
5. VDL Mode 4 Manual - Appendix C VDL Mode 4 Applications (Ver. 1.0) Mar. 1997.
6. 한국항공우주연구원, "위성항행시스템 개념 (3차인) 사업 보고서", 2000. 12.
7. ALFA, "Galileo Positioning System - Theory and Applications Volume III", 1998.
8. http://www.gpsbase
9. http://www.fuse/ans/ans.html