

헬기의 인공 시계 시스템용 DGPS/INS 통합 항법 플랫폼 설계

*김정원¹, 조종철², 신대식³, 황동환⁴, 이상정⁵, 김재형⁶, 김홍대⁷, 함명래⁸

충남대학교 전자공학과(Tel:042-821-7709; Fax:042-823-5436)

{¹ kimjw, ² nix4102 }@cnu.ac.kr, ³ shin6050@cslab.cnu.ac.kr

충남대학교 전기정보통신공학부

(⁴Tel:042-821-5670 Fax:042-823-5436; E-mail:dhhwang@cnu.ac.kr)

(⁵Tel:042-821-6582 Fax:042-823-5436; E-mail:eesjl@cslab.cnu.ac.kr)

대한항공 한국항공기술연구원(Tel:042-868-6294 Fax:042-868-6271

{⁶hokypoky, ⁷hongdaekim, ⁸mrham}@koreanair.co.kr

Abstract: 본 논문에서는 헬기의 인공 시계 시스템용 DGPS/INS 통합 항법 플랫폼을 설계하였다. DGPS/INS 통합 항법 플랫폼 하드웨어는 PowerPC CPU와 Flash ROM과 DDR SDRAM를 이용하여 설계하였다. DGPS 수신기와 IMU와의 연결을 위한 외부 인터페이스부는 직렬 통신을 사용하는 DGPS수신기와 IMU는 모두 사용할 수 있도록 하기 위하여 직렬 통신 방식인 UART 컨트롤러와 SDLC 컨트롤러를 사용하여 설계하였다. 실시간 운영체제를 기반으로 하는 플랫폼의 소프트웨어는 초기 정렬, 자세 계산, 속도 계산, 위치 계산, 통합 필터, 명령 처리 각각에 대하여 태스크로 구성하고 세마포어를 이용하여 태스크간의 동기가 이루어지도록 설계하였다. 통합 항법 플랫폼의 성능 평가를 위하여 차량 실험을 수행하였으며 상용 항법 시스템의 결과와 비교를 하였다.

Keywords: AV-NAV, DGPS/INS Integration Navigation Platform, Hardware, Software

1. 서론

인공 시계 시스템은 야간이나 악천후와 같이 시계 확보가 불가능한 경우 헬기 조종사에게 실시간으로 3차원 영상 정보를 제공하고 목적지까지의 경로, 헬기의 위치 및 속도, 전술 정보 등을 제공하는 시스템이다. 이 것은 다기능 전술 시험기와 항법 시스템으로 구성된다. 다기능 전술 시험기는 항법 시스템으로부터 수신한 항법 정보와 3차원 지도를 이용하여 조종사에게 시계, 경로, 전술 정보 등을 제공한다. 따라서 항법 시스템의 성능은 인공 시계 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요인이 된다.

헬기 인공 시계 시스템의 DGPS/INS 통합 항법 플랫폼의 하드웨어는 기본적으로 IMU 및 GPS 데이터를 수신하여 순수 항법과 통합 항법 연산을 실시간으로 수행하며 제어 컴퓨터의 명령을 처리하고 항법 결과를 출력한다. 헬기와 같은 항공기에 탑재되는 장비의 하드웨어를 구성하는 부품은 신뢰성이 보장되어야 한다. 통합 항법 플랫폼의 소프트웨어는 기능 추가 및 수정 용이성을 위하여 각각의 기능이 모듈화된 형태이어야 한다[1].

논문에서는 헬기의 인공 시계 시스템용 DGPS/INS 통합 항법 플랫폼을 설계하였다. DGPS/INS 통합 항법 플랫폼의 설계 요구 사항을 분석한 후 하드웨어와 소프트웨어를 설계하였다. 통합 항법 플랫폼의 하드웨어는 PowerPC CPU, Flash ROM DDR SDRAM(Double Data Rate Synchronous Random Access Memory), SDLC(synchronous data link control), UART(universal asynchronous receiver transmitter) 컨트롤러를 이용하여 설계하였으며 소프트웨어는 실시간 운영체제인 VxWorks를 이용하여 소프트웨어의 각 모듈을 태스크로 구분하여 설계하였다. 설계한 통합 항법 플랫폼에 Novatel GPS 수신기와 Honeywell사 HG-1700 IMU(Inertial Measurement Unit)를 적용하여 통합 항법 시스템을 구성하고 차량 실험을 통하여 검증하였다.

2. DGPS/INS 통합 항법 플랫폼 요구 사항

통합 항법 플랫폼은 GPS 수신기와 IMU 데이터를 수신하여 통합 항법 알고리즘을 구동하는데 무리가 없는 성능을 가져야 하며 기능 확장이나 수정이 용이하여야 한다[2][3]. 이 것을 위한 플랫폼의 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼의 요구 사항은 다음 표 1,2와 같다.

표 1. 하드웨어 요구 사항

제목	요구 사항
CPU	항법 프로그램 구동 및 주변 장치 제어가 실시간으로 가능해야 한다.
메모리	항법 프로그램 및 연산 결과 저장이 가능해야 한다.
수신기 I/F	수신기와 양방향으로 데이터 교환이 가능해야 한다.
IMU I/F	단방향으로 IMU의 출력을 수신하여야 한다.
제어 컴퓨터 I/F	제어컴퓨터와 양방향으로 데이터 교환이 가능해야 한다.
전원부	하드웨어가 탑재될 항공기의 전원이 제공하는 범위 내에서 구성되어 있고 CPU, 메모리 등 각 하드웨어에 충분한 전력을 공급해야 한다.

표 2. 소프트웨어 요구 사항

제목	요구 사항
프로그램 모듈	- 각각의 기능이 모듈화되어 있어야 함 - 수정 및 추가가 용이하여야 함 - 항법 알고리즘이 탑재가 용이하여야 함

운영 체제	- 실시간 운영 체제이어야 함 - 태스크간 동기 및 데이터 전달이 용이하여야 함
-------	-------------------------------------------------

표 1,2에 제시된 통합 항법 플랫폼의 요구 사항을 만족시키기 위한 하드웨어와 소프트웨어의 성능을 다음 표 3,4와 같이 결정하였다.

표 3. 하드웨어 성능

제목	성능
CPU	동작 속도 : 400MHz이상 계산 능력 : 400MIPS 이상 메모리 클럭 : 133MHz 이상 캐쉬 : 16KByte이상의 인스트럭션, 데이터 캐쉬
메모리	500kByte이상의 비휘발성 메모리와 1Mbyte 이상의 휘발성 메모리로 구성.
수신기 I/F	UART/RS-232로 통신 속도는 최소 9600bps에서 최대 115200bps까지 가능
IMU I/F	SDLC/RS-422로 최소 1Mbps통신 속도와 32Byte이상의 수신 버퍼 필요
제어 컴퓨터 I/F	UART/RS-232로 115200bps의 통신 속도 필요
전원부	-선정된 부품에 따라 결정

표 4. 소프트웨어 성능

제목	요구 사항
프로그램 모듈	- 초기 정렬, 자세 계산, 속도 계산, 위치 계산, 통합 필터 계산, 명령 처리 기능을 모듈화
태스크간 동기	- 세마포어(Semaphore) 사용

표에 제시된 하드웨어와 소프트웨어의 성능은 통합 항법 알고리즘의 연산량과 적용 가능한 GPS 수신기, IMU등을 고려하여 결정한 것이다.

3. 통합 항법 플랫폼 하드웨어 설계 및 구현

플랫폼의 하드웨어는 요구 사항에 적합한 하드웨어 구성 요소들을 선정하여 설계하여야 한다. 표 3에서 결정한 하드웨어 구성 요소들의 성능을 기준으로 각각의 부품을 선정하였다. 먼저 CPU는 FREESCALE사의 PowerPC계열 CPU중 MPC8560을 사용하였다. MPC8560은 최대 동작 주파수가 1000MHz이며 최대 64비트 인터페이스가 가능한 RISC (Reduced Instruction Set Computing) CPU이다. 표 5는 MPC8560의 특징을 나타낸 것이다[5]. MPC 8560은 DGPS/INS 통합 항법 알고리즘을 구동하기에 충분할 뿐만 아니라 다른 기능을 추가하더라도 기본적인 연산에 문제가 발생하지 않을 정도의 연산 속도를 가지고 있다.

메모리부의 비휘발성 메모리는 부팅 프로그램과 응용 프로그램을 저장하기 위하여 플래시 롬을 사용하였다. 플래시 롬은 다른 것에 비해 집적도가 높으므로 작은 크기에 대용량의 저장이 가능하며 별도의 롬 쓰기 장치를 이용하지 않고 데이터를 쓸 수 있는 장점이 있다. 실시간으로 데이터를 저장하기 위한 휘발성 메모리는 비휘발성 메모리에 저장된 프로그램과 실시간 데이터를 저장하여야 하므로 비휘발성 메모리보다 용량이 커야하며 데이터 전송 속도에 의한 동작 지연이 발생하지 않아야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는

휘발성 메모리로 DDR SDRAM을 선정하였다. DDR SDRAM은 다른 SDRAM 보다 두배의 전송 속도를 가지고 있어 충분히 요구 사항을 만족한다.

IMU와의 인터페이스는 SDLC 통신을 통하여 이루어진다. 제시된 속도와 수신 버퍼 크기를 만족시키기 위하여 본 연구에서는 Zilog 사의 Z16C30을 선정하였다. 표 6에 Z16C30의 주요 특징을 나타내었다[6].

GPS 수신기와 제어 컴퓨터와의 인터페이스는 모두 UART를 이용한다. 두 장비와의 통신을 위하여 2 포트를 가진 UART 컨트롤러를 사용하였다.

전원부는 선정된 각 부품이 필요로 하는 전원을 안정적으로 공급할 수 있는 부품인 DC-DC 변환기로 설계하였다.

표 5. MPC 8560 특징

구분	특징
CPU Core	e500 Core
CPU 종류	RISC
캐쉬	Instruction Cache : 32KB Data Cache : 32KB L2 Cache : 256KB
최대 동작 속도	1000MHz
내장된 주변 장치	-DDR SDRAM Controller -Local Bus Controller -I2C Controller -PIC(Programmable Interrupt Controller) -PCI Controller -Rapid I/O Controller -DMA Controller -10/100/1000 Mbps Ethernet

표 6. Z16C30 사양

구분	특징
Baud Rate	최대 10 Mbps
FIFO	Rx, Tx 각각 32 byte
CPU 인터페이스	8bit 또는 16 bit 인터페이스 가능
채널 수	2 개

설계한 하드웨어를 검증하기 위하여 Novatel GPS 수신기와 Honeywell사 HG-1700 IMU를 적용하여 구현하였다. 그림 1과 2는 구현한 하드웨어의 구조 및 모습을 나타낸 것이다.

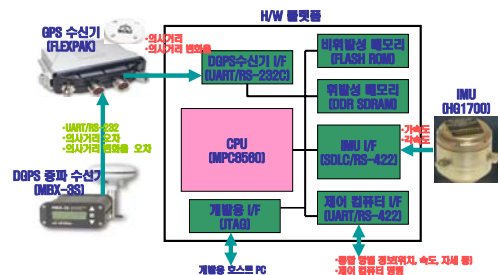


그림 1. 하드웨어 구조

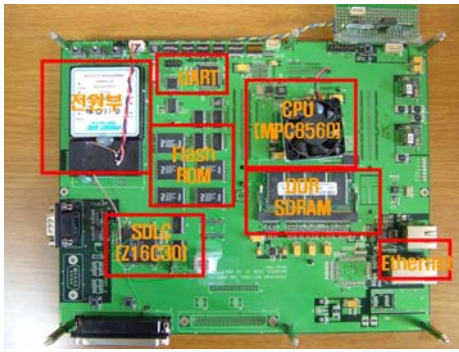


그림 4. 구현한 하드웨어

구현된 하드웨어 플랫폼은 JTAG 디버거와 U-Boot 프로그램을 이용하여 동작을 확인하였다.

4. 통합 항법 플랫폼 소프트웨어 설계 및 구현

DGPS/INS 통합 항법 플랫폼의 소프트웨어는 태스크 생성을 담당하는 모듈과 각각의 항법 알고리즘이 구동될 항법 태스크들로 설계하였다. 항법 태스크는 초기 정렬 알고리즘이 이식될 초기 정렬 태스크, 순수 항법 알고리즘과 관련된 자세 계산, 속도 및 위치 계산 태스크, 통합 필터 알고리즘을 위한 칼만 필터 태스크, GPS 수신기 데이터를 처리할 GPS 태스크 그리고 제어 컴퓨터의 명령을 처리하고 항법 데이터를 출력하는 명령 태스크로 이루어 진다[2][3][4]. 각 태스크들의 기능은 아래 표 7과 같다.

설계한 태스크를 구동하기 위하여 본 논문에서는 실시간 운영체제인 VxWorks를 사용하였다. VxWorks는 산업용 장비, 항공 장비, 군수 장비등에 탑재되어 사용되고 있고 PowerPC, 8086, ARM, MIPS등의 다양한 CPU를 지원한다. Wind River사의 VxWorks는 선점형 스케줄러 기반의 운영체제로 빠른 인터럽트 반응과 확장된 태스크간 통신/동기화 기능을 지원하며, UNIX 모델과 호환되는 효율적인 메모리 관리 방식을 따르며, 멀티 프로세서를 지원한다. 또한 VxWorks는 사용자 인터페이스를 위한 셸을 지원하며, 소스레벨 디버깅 기능, 성능 모니터와 I/O 파일 시스템을 제공한다[7].

표 7. 소프트웨어 태스크 종류 및 기능

태스크명	기능
루트 태스크	시스템의 전체 태스크 및 세마포어를 생성하고 명령 태스크를 실행한다. 루트 태스크는 한 번 실행된 이후 정지(suspend) 상태에 들어가고 태스크의 관리는 명령 태스크에서 수행한다.
명령 태스크	외부로부터 명령을 수신하여 각각의 명령에 해당하는 기능을 수행한다.
초기 정렬 태스크	개략 정렬과 정밀 정렬을 명령 태스크에서 지정한 시간만큼 수행한다.
자세 계산 태스크	쿼터니언 갱신 방법을 사용하여 100Hz로 자세를 계산한다.
순수 항법 태스크	항법 좌표계에서 순수항법을 10Hz로 수행한다.

GPS 태스크	GPS에서 항법 데이터를 수신하고 해석한다.
칼만 필터 태스크	통합 필터를 구동하여 오차를 추정하고 보상한다. 필터 주기는 1초이다.

표 7에 제시된 각각의 태스크들은 우선 순위에 따라 다중 태스킹 형태로 동작 하여야한다. 다중 태스킹 프로그램에서 동기화란 각각의 태스크들이 공유하는 데이터를 동시에 접근하는 것을 방지하고 사용자가 원하는 실행 순서대로 수행되도록 하는 것을 의미한다. 태스크를 동기화하기 위하여 메시지 큐(message queue), 이벤트(event), 세마포어(semaphore) 등을 사용할 수 있는데 본 논문에서는 세마포어를 사용하였다. 설계한 소프트웨어의 각 태스크는 다음과 같이 동기화 되어 동작되어야 한다. 10ms 간격으로 출력되는 IMU 데이터의 경우 IMU 데이터를 처리하는 ISR(Interrupt Service Routine)에서 데이터를 수신하고 이때 자세 계산 태스크로 세마포어를 릴리즈(release)한다. 자세 계산 태스크는 IMU ISR의 세마포어를 기다리고(waiting) 있다가 세마포어가 릴리즈되면 그때의 IMU 데이터를 가지고 자세를 계산한다. 자세 계산이 끝나면 순수 항법 태스크에 세마포어를 전달한다. 그림 5는 VxWorks 기반으로 구현한 통합 항법 플랫폼의 소프트웨어 구조를 나타내고 있다.

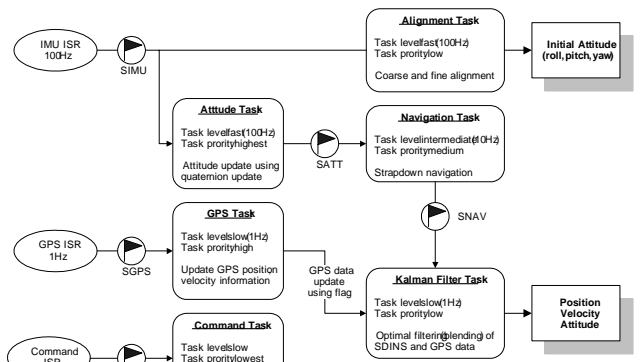
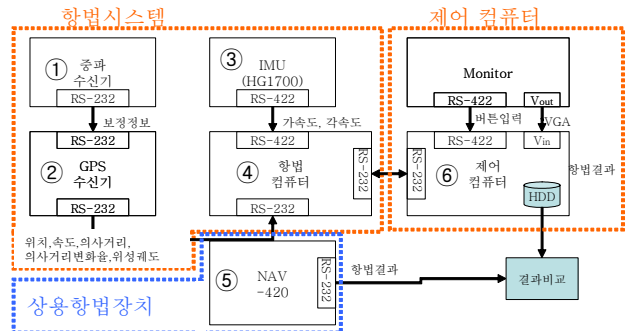


그림 5. 소프트웨어 구조

5. 플랫폼 성능 검증

개발한 DGPS/INS 통합 항법 플랫폼의 성능을 검증하기 위하여 차량 시험을 수행하였다. 그림 6은 실험 환경을 나타낸 것이다.



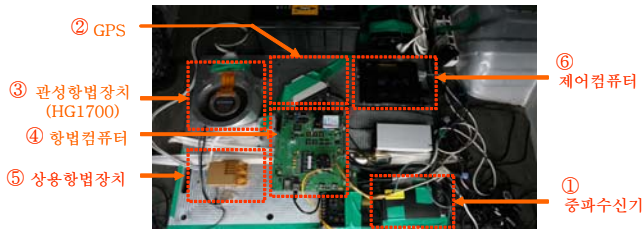


그림 6. 차량 실험 환경

개발한 항법 플랫폼의 성능을 확인하기 위하여 Croosbow사의 상용 GPS/INS 시스템인 Nav-420을 같이 탑재하여 항법 결과를 비교하였다. 그림 7은 대전 남부 순환 도로에서 약 1시간 20동안 주행하여 얻은 항법 실험 결과이다.

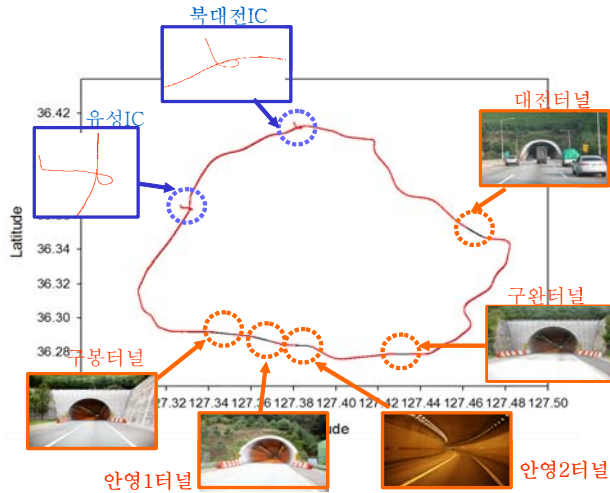


그림 7. 대전 지역 차량 시험 주행 궤적

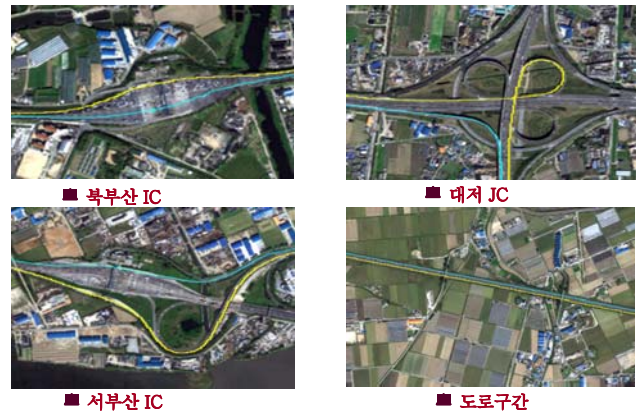
차량 실험을 진행하는 동안 개발한 통합 항법 플랫폼이 연속적으로 항법 데이터를 출력하는 것을 확인할 수 있었고 터널과 같은 GPS 위성 음영 지역에서도 연속적으로 항법 결과가 출력되는 것을 확인하였다. 반면 상용 항법 시스템인 NAV-420은 터널에서 항법 결과가 단절되는 것을 볼수 있었다. 이 것로부터 개발한 하드웨어 플랫폼이 GPS 수신기 신호와 IMU 데이터를 수신하여 실시간으로 항법 연산을 수행하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 8은 김해 지역에서 수행한 차량 실험 결과이다. 이 결과는 1m급의 해상도를 가지는 인공 위성 지도에서 확인하였다. 실험 시간은 80분 정도이었다.



그림 8 김해 지역 차량 실험 궤적

그림 9는 그림8을 확대한 것이다.



IC 구간, JC 구간, 직선 도로 구간을 주행하였을 때 주행 궤적이 지도의 도로상에 정확하게 표시되는 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 DGPS/INS 통합 항법 플랫폼의 하드웨어 및 소프트웨어를 설계하였다. 고성능 PowerPC CPU인 MPC8560기반으로 하드웨어를 설계하였고 상용의 실시간 운영 체제인 VxWorks를 탑재하여 다중 태스크 구조의 소프트웨어를 설계하였다. 개발한 플랫폼은 차량 실험을 통하여 성능을 검증하였다.

추후에 인공 시계 시스템과의 연동 실험을 통한 성능 검증을 수행할 것이고 헬기와 같은 비행 환경하에서의 동작 및 성능도 확인할 것이다.

참고 문헌

1. J. R. Newport, *Avionics Systems Design*, CRC press, Boca Raton, Florida, 1994.
2. 나성웅 외 2 인, *GPS/INS 통합 항법 시스템에 대한 연구 보고서*, 충남대학교, 1997.
3. 황동환 외 11 인, *관성 센서 정보를 이용한 정밀 측위용 GPS 수신기 개발 보고서*, 충남대학교, 2000.
4. 이상정 외 20 인, *자세 측정용 GPS/INS 항법 알고리즘 개발 보고서*, 충남대학교, 2000.
5. *MPC8560 Reference Manual*, Freescale Inc. 2003.
6. *Z16C30 Datasheet*, Zilog Inc. 1997.
7. WindRiver Web site, <http://www.windriver.com>