

技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2011.39.4.362

vSLAM 보조 통합항법시스템 구현 및 무인 회전익기를 이용한 비행시험 성능분석

윤석창*, 이병진*, 윤석환*, 이영재**, 정상경**

Implementation and Flight Test Performance Analysis of vSLAM Aided Integrated Navigation System for Rotary UAV

Sukchang Yun*, Byoung-Jin Lee*, Sukhwan Yun*, Young Jae Lee** and Sangkyung Sung**

ABSTRACT

In this paper, vSLAM aided integrated navigation system is implemented and performance analysis of the system is completed via flight test. The system can suppress divergence of position error of INS only system by updating vSLAM correction information when temporary GPS signal outage occurs in bad radio condition. In the flight test, integrated hardware containing GPS, IMU and camera is loaded under RC electric helicopter. Performance of the integrated navigation system is verified by comparing estimated position of INS/vSLAM system with that of INS only system.

초 록

본 논문은 vSLAM 보조 통합항법시스템을 구현하고 비행 실험을 통해 성능 분석을 수행한다. 구현한 항법시스템은 GPS 위성의 가시환경에 제한이 있는 지역에서의 일시적인 GPS 신호 두절 발생시, INS 단독 항법 수행으로 인한 위치 오차 발생을 vSLAM 보정을 통해 지연시킬 수 있다. 전동 헬기에 통합 시스템을 탑재하여 비행 실험을 수행하였고, 획득한 비행 데이터 중 임의로 GPS 신호가 제거된 특정 구간에서 INS 단독 항법과 INS/vSLAM 통합 항법간의 위치 추정 성능 비교를 통해 통합 시스템의 성능을 검증하였다.

Key Words : Integrated Navigation(통합 항법), GPS Outage(GPS 두절), vSLAM(영상 SLAM), electric helicopter(전동 헬기)

1. 서 론

GPS/INS 항법 시스템은 전파항법과 관성항법이 결합한 형태로서 항공기, 차량, 선박 등 다양

한 분야에서 사용되는 대표적인 항법시스템이다. 이러한 GPS/INS 통합시스템은 전 세계 대부분의 지역에서 신뢰성 있는 항법해를 제공할 수 있지만, 항법 성능이 GPS의 가시 환경에 의존적이고, 특히 동특성이 큰 항체의 움직임에 대한 정확한 항법 정보 제공을 위해선 고가의 IMU (Inertial Measurement Unit)가 필요하다.

이러한 단점을 극복하기 위해 초음파, 레이저, 비전 센서 등으로부터 측정 가능한 주변 환경 정보를 항법에 이용하여, 사전에 지도 정보가 알

† 2010년 9월 24일 접수 ~ 2011년 3월 22일 심사완료

* 정희원, 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 대학원

** 정희원, 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
교신저자, E-mail : sksung@konkuk.ac.kr
서울시 광진구 화양동 1번지

려지지 않은 지역에 대한 지도를 구축하고 동시에 자신의 위치를 추정하는 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 기술의 항법 적용 연구가 보고되고 있다[1-4]. 특히, 저가이면서 비교적 정확한 주변 환경 정보를 얻을 수 있는 비전 센서 기반의 SLAM (vision-based SLAM, 이하 vSLAM)에 관한 연구가 매우 활발하다[2-5]. 예를 들어 Steder[3]는 EKF로 SLAM을 구현하였다. 이를 위해 단일 비전센서를 사용하고, 비전 센서가 지면을 향하도록 배치하였다. 또한 사전에 위치 정보가 알려진 수개의 랜드마크를 사용하였으며, 고도 측정용 sonar 센서를 사용하여 비행실험을 수행하였다. 이 방법은 랜드마크가 존재하지 않는 야외 환경에서는 한계가 있다. 한편, Mourikis[4]는 EKF로 복수 비전 SLAM을 구성하여 우주비행체의 EDL (Entry, Descent, and Landing) 연구를 수행하였다. KLT (Kanade - Lucas - Tomasi) 추적 알고리즘으로 위치가 알려지지 않은 특징점을 추적하는 동시에 FFT 맵매칭 기법으로 위치가 알려진 랜드마크 정보를 항법 계산에 적용하였다. 그러나 이러한 연구들은 EKF 적용시 모델 선형화로 인한 항법 오차 증가를 제시하였다.

본 논문은 제한된 환경에서 제공되는 vSLAM 항법 정보를 이용하고 비선형 모델 및 잡음에 의한 항법 성능 저하를 개선하기 위해 파티클 필터 (Particle Filter)를 이용한 분산형 GPS/INS 및 vSLAM 통합 항법시스템을 구현하였다. 이를 위한 선행연구로서 먼저 시뮬레이션으로 생성한 IMU 정보와 특징점 정보를 사용하여 통합 필터의 성능을 검증하였다[5]. 또한 IMU와 비전센서로 구성된 prototype 하드웨어를 제작하고 이를 이용한 실내 실험 결과를 분석하여 통합 시스템의 성능을 검증하였다[6]. 본 논문에서는 나아가 비행실험을 통해 GPS 정보 사용에 제한이 있는 일정 구간에서 INS 단독 항법과 INS/vSLAM 통합 항법의 추정 결과를 비교하였고, 이를 통하여 vSLAM 보조 항법으로 기존의 GPS/INS 항법 시스템의 한계를 극복할 수 있음을 보였다.

II. 통합 시스템 개요

2.1 통합 시스템 개요

통합 시스템은 개별 항법의 한계를 극복하기 위한 복합 항법 시스템을 말한다. 본 연구에서는 전파 항법과 관성항법, 그리고 환경 인지 센서중 하나인 비전 센서를 이용한 항법을 통합한다.

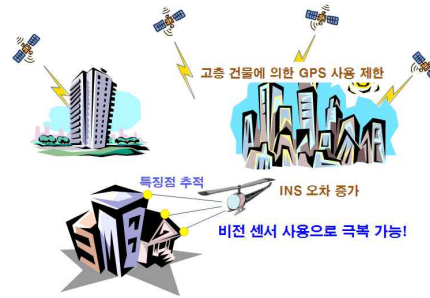


그림 1. 시스템 개요



그림 2. 통합 필터 구조

SLAM은 지도가 없는 상태에서 주변 환경을 인식하여 지도를 생성하고 위치를 추정하는 방법이다[1,3,5]. 본 연구에서는 도심 내에서의 무인 헬기 운용 시 고층 건물 등의 주변 환경으로 인한 빈번한 GPS 가용성 저하 현상에 대처하기 위한 방법으로 vSLAM을 도입하여, 기존의 GPS/INS 통합 시스템과의 결합을 통해서 GPS/INS 및 vSLAM 통합항법시스템을 구성하였다. 그림 1은 대상 시스템의 개요를 보여준다.

통합 항법 필터는 칼만 필터를 이용한 GPS/INS 통합 시스템과 vSLAM을 분산형 파티클 필터로 통합하였다. 각각의 로컬 필터에 할당된 측정치를 독립적으로 처리하는 분산형 구조를 택함으로써 고장에 강인하고 연산량을 감소시킬 수 있으며, 비선형 측정 모델에 대응하기 위해 파티클 필터를 선택하였다[5]. 영상 처리 알고리즘은 Least square 방법으로 특징점을 추적하는 KLT 알고리즘을 사용하였다[7]. 비전 센서 측정치로부터 계산되는 고도각/방위각 정보와 GPS/INS 항법 결과로 추정한 고도각/방위각 비교를 통해서 vSLAM 보정 정보를 생성하고, GPS/INS 항법 결과에 vSLAM 보정치를 보상하여 최종 항법해를 구하였다. 그림 2는 통합 필터 구조를 나타낸다. 영상 처리부는 위치 초기화된 N개 특징점의 베어링 정보를 보정정보로 제공한다.

2.2 시스템/관측 모델 구성

vSLAM과 GPS/INS 시스템 결합 시에 시스템 모델과 관측 모델은 통합 필터 구성을 하기 위한 가장 기본적인 정보이다. 시스템 모델은 동체의 동적 모델로는 선형화된 INS 오차 모델을 이용하고, 특징점은 랜덤 상수로 모델링 한다. 식 (1)은 시스템 모델을 나타낸 것이다. 동체의 위치, 속도, 자세 및 복수 특징점의 위치를 상태 벡터로 하였고, 상태 변수의 오차를 추정해 되먹임하는 간접 필터 방식으로 구성하였다.

$$\mathbf{x}(k+1) = \Phi(k)\mathbf{x}(k) + G\mathbf{w}(k) \quad (1)$$

여기서,

$$\mathbf{x}(k) = [\delta\mathbf{x}_v^T \quad \delta\mathbf{x}_{f1}^T \quad L \quad \delta\mathbf{x}_{fn}^T]^T$$

$\delta\mathbf{x}_v$ 는 항체의 위치, 속도, 자세 오차, $\delta\mathbf{x}_{fi}$ 는 특징점 위치오차이며 w 는 시스템 잡음이다. 관측 모델은 비전 센서의 방위각 측정 모델을 이용하였고 식 (2)와 같이 표현된다. 식 (2)에서 특징점의 위치 x , y , z 는 각각의 로컬 필터에서 파티클 필터로 추정된다. 이 때, 측정 잡음 v 는 백색잡음이고 각도 합이 형태로 존재하며 (θ , R)의 정규 분포를 띤다고 가정하였다.

$$\begin{aligned} \mathbf{z}(k) &= h(\mathbf{x}(k)) + \mathbf{v}(k) \\ \mathbf{v} &\sim N(0, R) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$$\mathbf{z} = \left[\tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad \tan^{-1}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \right]^T$$

본 논문에서 채택한 분산형 간접 구조의 GPS/INS 및 vSLAM 통합 필터에 대한 보다 상세한 시스템 구성은 참고문헌으로 대체하기로 한다[5].

III. 통합 시스템 구성

3.1 S/W 및 H/W 구성

센서 데이터 획득을 위한 RS-232c, 프로세서간 통신 및 영상 수집 알고리즘과 통합 필터 알고리즘을 이용한 항법 성능 분석은 LabVIEW를 기반으로 구현하였다. 이 때, 통합 필터 알고리즘은 C++ 기반으로 구현하였고, Call Library

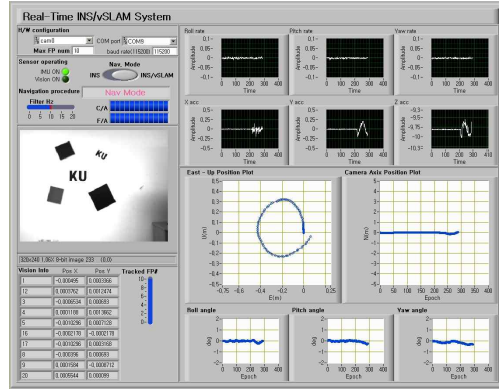


그림 3. 통합 시스템의 LabVIEW GUI

Function node 함수를 사용해 C++ 코드를 LabVIEW내에서 불러와하였다. 그림 3은 성능 분석을 위해 구현한 LabVIEW GUI를 나타낸다. GUI상의 센서 데이터 및 항법 결과 그래프는 통합 시스템 검증에 위한 실내 실험 결과이다. GUI를 통해서 영상내 특징점 추적 상황, 센서 데이터 출력, 동체의 위치, 속도, 자세 등 모든 상태를 관찰할 수 있다.

IMU와 GPS데이터 획득을 위해 Microinfinity사의 MI3390H를 사용하였고, National Instrument사의 NI1742를 단일 비전 센서로 사용하였다. MI3390H는 AHRS로써 GPS 안테나를 연결하면 INS/GPS 통합 시스템 모드 기능이 있다. 이 시스템은 100Hz 주기로 3축 각속도, 가속도 그리고 항법 필터를 통한 위치, 속도, 자세 정보를 제공한다. 본 실험에서는 AHRS의 100Hz의 각속도와 가속도 정보, 4Hz의 위치와 속도 정보를 각각 IMU, GPS 데이터로 사용하였다. NI1742는 비전 센서와 VxWorks RTOS 기반 프로세서가 통합된 스마트 카메라로써 내부 비휘발성 메모리에 6Hz로 획득되는 320x240 크기의 영상을 저장하였다. AHRS의 데이터는 National Instrument사의 PCB 보드형 임베디드 프로세서인 sbRIO를 이용해 RS-232c 방식으로 획득하여 내부 비휘발성 메모리에 저장하였다. 데이터 획득만을 목표로 한다면 단일 프로세서를 사용하여 데이터 시각 동기 문제를 비교적 쉽게 해결할 수 있지만, 실시간 시스템 구현을 고려하여 영상 처리부 전용 프로세서를 추가하였다. 실시간 시스템 구현 시 항법 알고리즘 및 IMU, GPS 데이터 획득은 메인 프로세서인 sbRIO에서 수행되고, 비전 센서 데이터 획득 및 영상 추적 알고리즘은 스마트 카메라에서 수행된다. 이 때, 스마트 카메라에서 sbRIO로의 영상 정보는 실시간 성이 뛰

표 1. 하드웨어 제원

항목 센서	모델명 및 형상	주요 특징
AHRS	MI3390H 	검출 범위: $\pm 200^\circ/s$, $\pm 2g$ 자이로 바이어스 안정도: $30^\circ/hr$ GPS 속도 정확도: $0.3m/s(RMS)$ GPS 위치 정확도: $3.5m(CEP)$ 시리얼 통신(RS-232c)
스마트 카메라	NI1742 	프로세서: 533MHz RAM: 128MB 해상도: 640×480 흑백 타입 TCP/IP
임베디드 프로세서	sbRIO-9612 	프로세서: 400MHz RAM: 128MB 2M 게이트 FPGA TCP/IP

어난 UDP 방식으로 전송된다. sbRIO와 스마트 카메라간의 통신을 위해 무선공유기를 사용하였다. 표 1은 하드웨어 제원을 나타낸다.

3.2 센서 데이터 시각 동기

데이터 제공 주기가 다른 이중 센서를 이용해 통합 시스템을 구성할 때에 센서 시각 동기는 매우 중요하다. 시각 동기 방법에는 트리거 신호를 이용하는 하드웨어적인 방법과 기준 시각 정보를 공유하는 방식의 소프트웨어적인 방법이 대표적이다. 본 연구에서는 개별 센서들의 시각 정보를 하나의 시각을 기준으로 통일하는 방식으로 시각 동기를 수행하였다.

시각 동기 방법은 다음과 같다. 무선 공유기로 생성한 AP망 안에서 UDP 통신 방식을 이용해 AHRS 데이터 획득부인 sbRIO의 1kHz 클럭 정보를 스마트 카메라에 전송한 후, 센서 데이터에 클럭 정보를 더하여 sbRIO와 스마트 카메라 내부의 비휘발성 메모리에 저장하는 방식이다. 이때, UDP 통신 지연은 고려하지 않았다. 그림 4는 전체 시스템 구성을 도시한다.

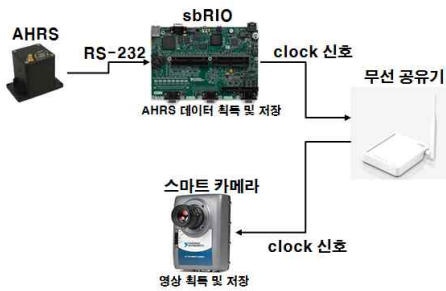


그림 4. 전체 시스템 구성도

3.3 통합 시스템 작동 모드

통합 시스템은 개별 센서들 중에서 사용 가능한 센서 조합으로 항법을 수행한다. 이 때, 기본적으로 IMU는 고장이 없다는 가정을 바탕으로 한다. 시스템 작동 방식은 다음과 같다. 먼저, 정지 상태에서 가속도 측정치를 이용한 동체의 대략적인 자세를 계산하는 초기 개략 정렬을 수행하고, 영속도 기법을 적용해 초개 개략 정렬로 구한 자세의 오차를 추정하여 보정하는 정밀 정렬을 수행한다. 그 후, INS가 고주기로 작동되며, GPS, 영상 정보가 사용 가능한 시점에 INS 오차를 보정하는 방식으로 이루어진다.

GPS 고장은 단순히 가시 위성 수의 미확보부터 위성 시계 고장, 전리층 폭풍, 수신기 고장 등 GPS를 사용할 수 없는 모든 상태를 말하며, 비전 센서 고장은 하드웨어 고장과 추적되는 특징점의 개수 부족 등 SLAM을 사용할 수 없는 모든 상태를 말한다. 그림 5는 가용 센서별 통합 시스템의 작동 방식을 나타낸다.

GPS와 비전센서 모두 가용하지 않는 Case 1의 경우에는 INS 단독 항법을 수행하게 된다. 하지만 INS 단독 항법 수행을 통해 위치해를 제공하기 위해선 navigation급 이상의 고가의 IMU가 요구된다. IMU와 GPS 정보가 가용한 Case 2의 경우 GPS 항법해 단계의 위치, 속도 정보를 이용하는 약결합 (Loosely coupled) 방식의 칼만 필터가 작동된다. IMU와 비전 센서 정보가 가용한 Case 3의 경우 INS/vSLAM 파티클 필터가 작동한다. 이 때, vSLAM 보정을 통해 INS 항법 오차를 줄일 수는 있지만 비전 센서 측정 오차 및 INS 오차로 인해 시간이 지남에 따라 항법해가 발산하는 한계를 갖고 있다. 특히 저급의 IMU를 사용할 시에는 매우 짧은 시간 안에 INS 위치 오차가 기하급수적으로 커지기 때문에 특징점의 3차원 위치 결정 자체가 힘들게 된다. 따라서 통합 시스템 작동 시에 GPS 데이터의 장시간 두절 현상에 대응하기 위해선 사전에 위치 정보가 알려진 수개의 랜드마크가 존재해야 한다.

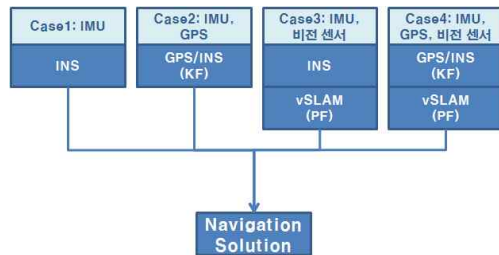


그림 5. 가용 센서별 통합 시스템 작동 방식

Case 4는 모든 센서가 가용한 경우로써, GPS/INS 추정치와 특징점 정보가 필터에서 결합된다. 그러나 위성신호에 대한 가용성이 좋은 환경에서는 Case 2와 거의 동일한 항법 필터 추정 성능을 보이므로 비행시험 분석에서는 고려하지 않았다. 즉, 본 연구는 일시적으로 GPS 정보가 가용하지 않은 환경에서 vSLAM 보정 효과를 분석하는데 보다 중점을 두었으며, 따라서 모든 센서가 가용한 특정 구간(즉, 영상센서에서 특징점 항법정보화가 가능한 구간)에서 Case 2를 기준으로 하여 Case 1과 Case 3의 성능을 비교분석하기로 한다.

IV. 비행 실험 및 분석

4.1 실험 환경

통합 시스템의 성능 분석을 위해 비행 실험을 수행하였다. 시흥시에 소재하고 있는 한국산업기술대학교 운동장에서 실험하였고 회전익 전동 헬기를 이용하였다. 실험 장소는 위성 가시 환경이 좋은 개활지이므로 DOP가 매우 작다. 실험 장소

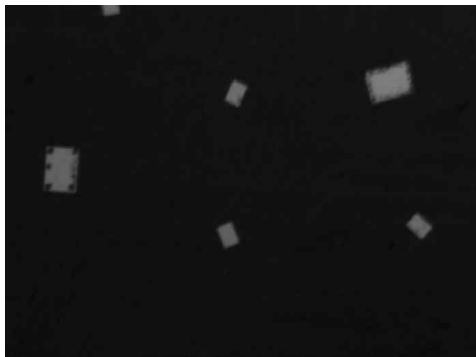


그림 6. 지면에 설치된 예상 특징점 후보



스마트카메라

그림 7. 헬기 플랫폼 및 하드웨어 배치

표 2. 헬기 플랫폼 제원

전장 (mm)	1550
전폭 (mm)	360 (랜딩 스키드 포함)
전고 (mm)	650 (랜딩 스키드 포함)
총중량 (kg)	4.1 (배터리 중량 제외)
비행시간 (min.)	15
메인로터 직경 (mm)	1780
테일로터 직경 (mm)	330
탑재중량 (kg)	6

특성상 비전 센서를 이용해 양질의 특징점 정보를 획득하기가 어려워 일정 간격으로 사각형 흰색 판넬을 지면에 설치하였다. 그림 6은 비행 중인 헬기에서 촬영한 지면 형상과 특징점 후보 판넬을 나타낸다.

실험에 사용한 헬기는 그림 7과 같으며, 표 2는 헬기 플랫폼의 제원을 나타낸다. 헬기 실장착시, IMU의 x축은 전방을 향하며, 스마트 카메라는 광축이 IMU의 z축과 평행한 지구 중심 방향이 되도록 장착하였다.

4.2 실험 결과 및 성능 분석

비행 실험을 통해 획득한 GPS, IMU, 영상 정보를 이용해 후처리 방식으로 통합 시스템의 항법 성능 분석을 하였다. 비행 시험중 자세값에 대한 정렬을 위해 자기센서를 이용하여 초기 heading 추정을 수행하였다[8]. 전체 비행 구간 중 영상 항법 정보를 사용할 수 있는 일부 구간에서 GPS 신호 두절을 가정한 후, INS 단독과 INS/vSLAM 통합 항법의 성능을 비교하였다. GPS 신호 두절 시에는 INS, INS/vSLAM 모두 마지막 GPS 보정 시점부터 상대 항법을 수행한다. 한편 성능비교를 위해 GPS/INS 위치 추정 결과를 기준값으로 가정하여 항법 오차를 계산하였다. 따라서, 실험 결과 분석시, GPS 항법해의 정밀도에 따라 절대 오차는 차이가 날 수 있으나 상대 항법 오차는 정밀하게 비교할 수 있다. 영상 추적 알고리즘으로 KLT 알고리즘[7]을 이용하였고 특징점의 최대 개수를 10개로 설정하였다. 그림 8은 특징점 추적 결과를 나타낸다. 1에서 4번 영상으로 갈수록 특징점이 영상 내에서 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하는 모습을 볼 수 있는데 이는 헬기의 전진 방향과 영상의 가로축을 일치시킴으로 인한 결과로써, 영상 내의 특징점 정보를 보다 장시간 사용할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

특징점의 개수는 필터 내에서 측정치의 개수이기 때문에 일정 개수 이상의 특징점이 확보되고 초기화된 후 일정 시간 이상 지속되어야 안정적인 항법 성능을 낼 수 있다. 특징점 초기화는 특징점의 3차원 위치를 추정하는 방법으로 본 연구에서는 지연된 초기화 기법을 사용하였다[5].

특징점 개수에 따른 항법 성능을 고려하여, 본 실험에서는 3개 이상의 초기화된 특징점이 사용 가능한 구간에서 vSLAM 보정 단계를 수행하였다. 전체 구간 중 3975~4002, 5637~5857, 6842~7050 Epoch에서 3개 이상의 초기화된 특징점 정보를 얻을 수 있었다. 그 외 3개 이상의 특징점이 초기화된 구간이 존재하지만, 초기화 이후의 지속 시간이 매우 짧아 시간이 지남에 따라 항법 오차가 발산하는 INS 단독 항법과의 성능 비교에는 적합하지 않은 구간이다. 그림 9는 실험 전체 구간에서 추적된 특징점 개수와 초기화된 특징점 개수를 나타낸다. 그림에서 특징점 개수는 최대 10개가 획득 가능함을 확인할 수 있

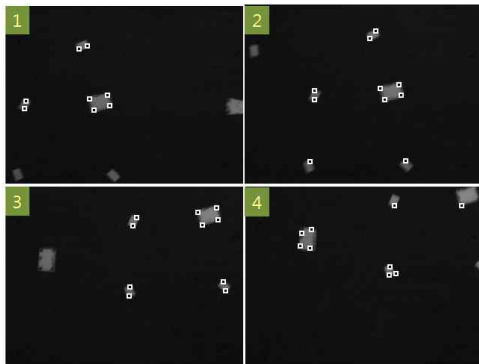


그림 8. KLT 영상 추적 결과

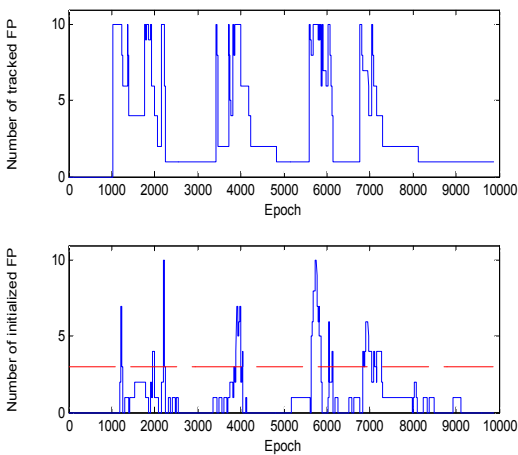


그림 9. 추적/초기화된 특징점 개수

며, 영상 항법을 위한 최소 3개 이상 초기화된 특징점 획득 구간은 매우 작음을 알 수 있다.

그림 10 (a)는 전체 구간에서의 수평 방향 위치 추정 결과를 나타내고 그림 10 (b)는 영상 정보가 사용 가능한 구간을 확대한 결과이다. INS 단독 항법의 경우 GPS 신호 두절 시점부터 서서히 위치 오차가 발산하기 시작하지만, INS/vSLAM 통합 시스템은 vSLAM 보정을 통해 INS 항법 오차 발산을 지연시키는 것을 확인할 수 있다.

그림 11은 수직 방향 위치 추정 결과를 나타낸다. 그림 11 (b)는 그림 10 (b)와 같이 영상 정보가 사용 가능한 구간을 확대한 결과이다. 2, 3 구간에서 INS/vSLAM 통합 항법이 INS 단독 항법보다 좋은 성능을 보인다. 그러나 1 구간에서는 오히려 INS 단독 항법의 위치 추정 성능이 INS/vSLAM 통합 항법보다 우수한 것을 알 수 있다. 이는 실험 시에 저속 비행 기동 특성으로 인해 비전 센서의 광축이 지면을 향하고 있기 때문이다. 항체의 광축 방향으로의 움직임은 2차원 영상 내에서 반지름 방향으로의 움직임으로 나타난다. 광축방향의 움직임은 광축과 수직인 방향보다 실제 움직임에 비해 영상 내에서 미세하게 나타나기 때문에 해상도, 광량 변화, 특징점 추적 오차 등으로 인한 영향을 크게 받는다. 이는 단일 비전 센서를 사용함으로 인한 피할 수 없는

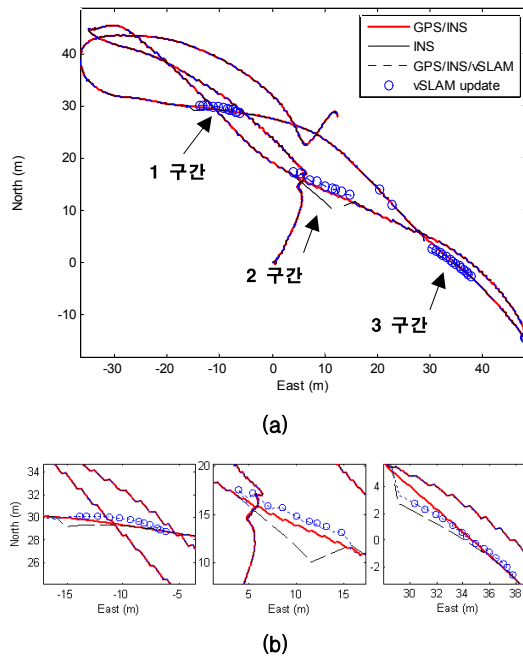


그림 10. 수평 방향 위치 추정 결과 비교
(a) 전체 구간, (b) 1, 2, 3 구간 확대

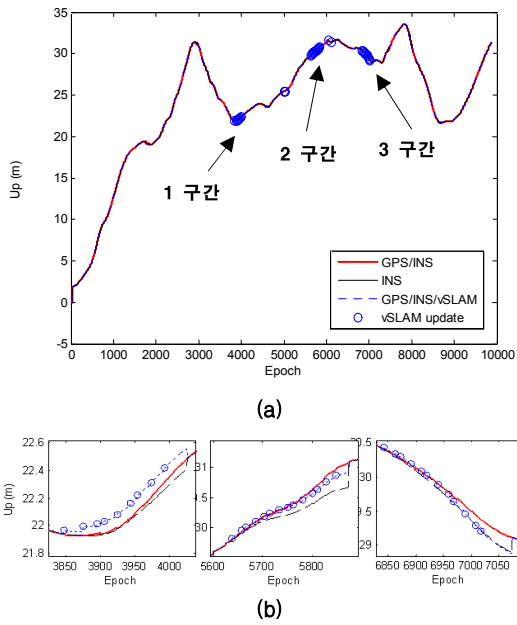


그림 11. 수직 방향 위치 추정 결과 비교
(a) 전체 구간, (b) 1, 2, 3 구간 확대

표 3. 구간 별 위치 추정 오차 비교

구간	항법 시스템	위치 추정 오차	
		수평 오차 (m, RMS)	수직 오차 (m, RMS)
1 구간	INS	1.98	0.02
	INS/vSLAM	1.59	0.08
2 구간	INS	0.82	0.14
	INS/vSLAM	0.62	0.04
3 구간	INS	0.72	0.08
	INS/vSLAM	0.61	0.07

현상으로 해석된다. 그러나, vSLAM 결합으로 발생 가능한 추정 오차 (그림 11 (b), 약 0.1m 수직 오차)는 시간이 지남에 따라 기하급수적으로 발산하는 INS 단독 항법에 비해서 작은 수준이라 할 수 있다. 만약 1 구간에서 보다 장시간의 영상 정보를 얻는 경우, GPS 신호 제거 시 INS 단독 항법에 비해 INS/vSLAM 항법의 오차발산 속도가 더 작게 유지됨을 예상할 수 있다.

표 3은 각 구간에서의 INS 단독 항법과 INS/vSLAM 통합 시스템의 위치 추정 오차를 나타낸다. 수평 오차는 East 방향과 North 방향의 RMS 오차를, 수직 오차는 Up 방향의 RMS 오차를 각각 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 GPS/INS 및 vSLAM 보조 통합 시스템을 구현하고 비행 실험을 통해 성능을 검증하였다. 영상 정보가 사용 가능한 구간에서 GPS 신호 두절을 가정하여 INS 단독 항법과 INS/vSLAM 통합 시스템의 위치 추정 성능을 비교를 통해 기존 GPS/INS 시스템의 한계를 극복하였다. 이 과정에서 vSLAM 보정을 통해 INS 단독 항법 오차의 발산을 지연시킬 수 있음을 확인하였다. 단일 비전 센서를 사용함으로써 인해 광추 방향의 위치 추정에는 한계가 있었지만, 이는 복수개의 비전 센서 사용을 통해 해결이 가능할 것으로 보인다.

결론적으로 본 연구의 결과를 통해 3차원 항법을 수행하는 시스템에서 비전 기반 SLAM의 적용 가능성을 실제 비행 실험을 통해 검증하였고, 향후 확장된 영상항법 데이터를 이용하여 개선된 항법이 가능할 것으로 기대한다.

후 기

본 논문의 일부 내용은 국방과학연구소의 지원하에 수행된 'Link-K의 HMD 활용방안'의 연구 결과에 의한 것입니다.

참고문헌

- 1) Hugh Durrant-Whyte, "Simultaneous Localization and Mapping: Part- I, II", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 13, Issue2, P. 99-108, Jun 2006.
- 2) G. Craig Becker, "Reliable Navigation Using Landmarks", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, p. 401~406, 1995.
- 3) Bastian Steder, Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard, "Visual SLAM for Flying Vehicles", *IEEE Trans. Robot.*, vol. 24, no. 5, Oct. 2008.
- 4) Anastasios I. Mourikis, et. al, "Vision-Aided Inertial Navigation for Spacecraft Entry, Descent, and Landing", *IEEE Trans. Robot.*, vol. 25, no. 2, April. 2009.
- 5) 천세범, "복수 비전 센서를 이용한 INS/GPS 성능 향상", 박사학위논문, 항공우주정보시스템공학, 건국대학교, 서울, 대한민국, 2008.

6) S. Yun, S. Sung and Y, J, Lee, "Design and Performance test of Relative Navigation of a low cost inertial SLAM", ICCAS-SICE 2009, Fukuoka, Japan, 2009.

7) KLT: An Implementation of the Kanade-

Lucas-Tomasi Feature Tracker.
<http://www.ces.clemson.edu/~stb/klt/>.

8) Michael J. Caruso, "Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems", Honeywell, SSEC.