

논문 2015-52-3-2

GNSS와 Vision System의 최적 융합 분석

(Analysis of Optimum Integration on the GNSS and the Vision System)

박 지 호*, 김 남 혁*, 박 경 용**

(Chi-Ho Park[Ⓢ], Nam-Hyeok Kim, and Kyoung-Yong Park)

요 약

본 논문은 GNSS의 문제점인 위치오차와 실외음영지역을 해소하기 위하여 GNSS와 vision system을 융합한 신뢰성있는 고정밀 측위와 최적의 vision system을 분석하였다. 위치결정을 위해서는 최소 4개 이상의 GNSS로부터 신호를 수신 받아야 한다. 그러나 도심지역에서는 고층건물이나 장애물 또는 반사파에 의해 정확한 위치가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 vision system을 이용한다. GNSS를 사용하기 열악한 도심지역의 target object에 정확한 위치 값을 결정해 놓는다. 그리고 vision system을 이용해 target object를 인식하고, 인식된 target object를 이용하여 위치오차를 보정해 준다. 이동체는 이동 중 vision system을 이용하여 target object를 인식하여 위치 데이터 값을 만들어내고, 위치 계산을 수정하여 안정되고 신뢰성 있는 고정밀 측위를 할 수 있다.

Abstract

This paper proposes an optimum vision system analysis and a reliable high-precision positioning system that converges a GNSS and a vision system in order to resolve position error and outdoor shaded areas two disadvantages of GNSS. For location determination of the object, it should receive signal from at least four GNSS. However, in urban areas, exact location determination is difficult due to factors like high buildings, obstacles, and reflected waves. In order to deal with the above problem, a vision system was employed. First, determine an exact position value of a target object in urban areas whose environment is poor for a GNSS. Then, identify such target object by a vision system and its position error is corrected using such target object. A vehicle can identify such target object using a vision system while moving, make location data values, and revise location calculations, thereby resulting in reliable high precision location determination.

Keywords : GNSS, Vision System, High Precise Positioning

* 정희원, 대구경북과학기술원
(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology)

** 정희원, 한국생산기술연구원
(Korea Institute of Industrial Technology)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail : chpark@dgist.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부에서 지원하는 대구경북 과학기술원 기관고유사업에 의해 수행되었습니다.
(15-IT-01)

Received ; November 18, 2014 Revised ; February 12, 2015

Accepted ; February 26, 2015

I. 서 론

급속한 산업화 발전에 따른 차량의 증가는 편리성의 다른 측면으로 교통 혼잡과 교통사고 발생이 심각한 사회문제로 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 방법이 제안되고 있고, 대표적인 방법이 안전하고 편리하게 이동할 수 있는 자율주행 시스템이다.

자율주행을 위해서는 주행방향 결정과 장애물 검출 등 여러 분야로 나눌 수 있지만 핵심 기술은 차량의 정

확한 위치결정이다. 하지만 도심의 복잡한 환경이나 산악지역에서 위치결정은 센서들간의 간섭 및 반사파 그리고 여러 장애요소로 정밀 측위가 어렵다. 현재 위치결정에 사용되는 가장 일반적인 시스템은 GNSS(Global Navigation Satellite System)이다. GNSS는 위치결정의 기반기술로 산업화 발전에 많은 기여를 하고 있다^[1~3]. 하지만 GNSS를 이용한 위치결정의 확장으로 GNSS와 이종 센서들과 융합한 연구가 활발히 진행되고 있다^[4]. GNSS와 융합하여 위치결정에 사용되는 센서로는 INS(Inertial Navigation System), DMI(Distance Measurement Instrument), vision system 등이 대표적이다. INS는 관성센서의 출력을 적분하여 위치를 계산하므로 매우 정확한 항법정보를 제공하지만 시간이 경과함에 따라 오차가 누적되는 단점을 가지고 있다. DMI는 자이로센서로 회전방향을 알아내고, 차속 센서로 이동거리를 알아냄으로 마지막 GNSS 수신 위치를 기준으로 어느 방향으로 어느 정도 이동했는지 추정하는 시스템이다. 하지만 바퀴의 미끄러짐으로 발생하는 엔코더 오차 때문에 정확한 위치를 제공하지 못한다. 또한 이러한 센서들은 복잡성과 경제성에 문제가 있다. 최근에는 vision system을 이용한 위치결정에 많은 연구가 진행되고 있는데^[5~6], vision sensor를 이용한 항법 시스템은 심플한 구조를 가지며, 거리별 오차가 평균적으로 2%이므로 정밀도 향상에 도움이 되며, object 인식 등에 장점이 있다. 하지만 조명환경에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 vision system만을 이용한 위치결정보다는 GNSS와 vision system을 융합한 위치결정은 높은 정확도의 항법해를 계산할 수 있다^[7~8]. 본 논문에서는 GNSS기반의 위치결정에 최적의 vision system을 융합하여 고정밀 측위를 수행한다.

II. 본 론

1. 도심환경이나 산악지역에서 최적의 GNSS와 vision system 융합 위치결정

그림 1은 도심환경이나 산악지역에서 GNSS와 vision system을 융합한 위치결정 방법을 나타내고 있다.

도심 환경이나 산악지역에서는 높은 건물들에 의해 위성이 가려지거나, 반사되어 신호가 수신된다^[10]. 최소 4개 이상의 위성으로부터 신호를 받아야 위치 결정을 할 수 있는데, 이러한 지역에서는 가시위성 수가 부족

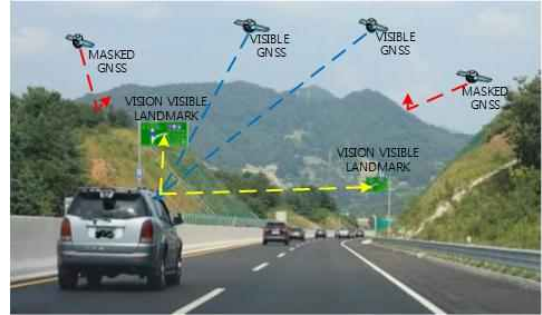


그림 1. 도심환경이나 산악지역에서 GNSS와 vision system 융합 위치 결정
 Fig. 1. Positioning of integration on the GNSS and the vision system in urban canyon or mountain.

하여 위치결정을 할 수 없고, 반사된 신호가 수신되어 위치오차가 커지게 된다. 도심의 도로환경이나 산악지역의 도로 환경은 이동차량의 앞과 뒤는 시야가 확보되어 위성의 신호를 수신할 수 있으나, 좌측과 우측은 건물들에 의해 위성이 가려진다. 따라서 건물에 vision system을 이용하여 미리 정확한 위치 값이 결정된 target object를 인식하고, 인식된 target object로부터 이동체의 거리를 계산하게 된다. 이동체는 위성으로부터 받은 신호와 target object의 거리 값을 융합하여 자신의 위치를 계산하게 된다.

다음은 GNSS와 vision system의 위치결정 방정식을 설명한다. vision system이 target object를 인식하여 관측 값이 주어졌으며, vision system을 이용하여 수신기 위치와 target object 위치간의 거리를 구할 수 있으면, vision system을 이용한 관측 방정식은 다음과 같다^[11].

$$PV_i^a = \rho_i^a + e_i^a$$

$$\rho_i^a = \sqrt{(x^a - x_i)^2 + (y^a - y_i)^2 + (z^a - z_i)^2} \quad (1)$$

여기서 a 는 object이며, i 는 수신기를 나타내며, 각 항목과 같다.

PV_i^a : vision system이 관측한 object 위치와 수신기 사이의 실제거리(m)

ρ_i^a : object 위치와 수신기 사이의 실제거리(m)

x^a, y^a, z^a : object의 3차원 위치

x_i, y_i, z_i : 수신기의 3차원 위치

식 (1)은 비선형이기 때문에 수신기 초기 위치를 주어, 선형화하여 관측방정식을 나타내면 식 (2)와 같다.

$$z_0 = K\xi + e_0, \quad e_0 \sim (\sigma_0^2 P_0^{-1}) \quad (2)$$

$$z_0 = \underbrace{[PV_i^a - \rho_i^a]}_{1 \times 1}: \text{관측 행렬}$$

$$K = \begin{bmatrix} -\frac{x^a - \hat{x}_i}{\hat{\rho}_i^a} & -\frac{y^a - \hat{y}_i}{\hat{\rho}_i^a} & -\frac{z^a - \hat{z}_i}{\hat{\rho}_i^a} & 0 \end{bmatrix}: \text{설계 행렬}$$

$$\xi = \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \\ dt_i \end{bmatrix}: \text{미지수 행렬}$$

Gauss-Markov Model with Stochastic Constraints 모델을 이용하여, 미지수 행렬을 구하는 식은 식 (3)과 같다. 단, $rk([A^T, K^T]) \geq 4$ 이어야 한다.

$$\hat{\xi} = (N + K^T P_0 K)^{-1} (c + K^T P_0 z_0) \quad (3)$$

Vision system의 추정거리 잔차는 $\tilde{e}_0 = z_0 - K\hat{\xi}$ 과 같으며, estimated variance component는 식 (4)와 같다.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\tilde{e}_0^T P \tilde{e}_0 + \tilde{e}_0^T P_0 \tilde{e}_0}{n - m + l} \quad (4)$$

여기서, n 은 관측된 가용위성 수, m 은 미지수(4개 : 수신기 위치 3개, 수신기 시계오차), l 은 vision system으로 관측된 추정거리(estimated distance) 개수이다. GNSS와 vision system으로 추정된 미지수의 분산-공분산 행렬은 식 (5)와 같다.

$$D\{\hat{\xi}\} = \hat{\sigma}_0^2 (N + K^T P_0 K)^{-1} \quad (5)$$

위에서 GNSS와 vision system을 이용하여 수신기 위치를 결정할 수 있으며, 만일 가용위성 수가 4개 미만이어도 vision system 관측치와 위성 관측치의 개수 합이 4개 이상이 되면 수신기 위치를 결정 할 수 있다.

III. 실험

본 실험에서는 고정밀 측위를 위한 GNSS 기반의 최적의 vision system 융합 분석을 위한 분석이다. 실험 방법으로는 이동체의 kinematic 상태에서 실험하였으며, 가시위성 수 변화에 따른 target object 수 변화에 따른 분석을 하였다. GNSS 수신기는 Novatel사의

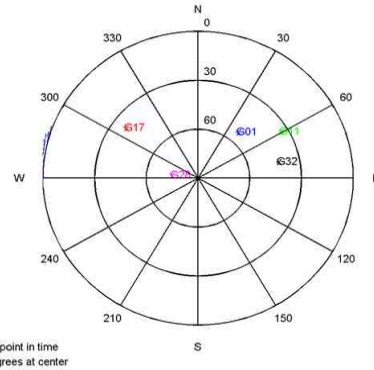


그림 2. Dense urban canyon 환경에서의 sky plot
Fig. 2. Sky plot of dense urban canyon environment.

DL-V3 RTK(Real Time Kinematic)용 기준국과 이동국을 사용하였으며, 안테나는 Novatel사의 GPS-702-GGL, RF modem은 450MHz의 PDL rover kit을 사용하였다. “G”는 가시위성 수를 나타내고, “V”는 vision system을 이용한 target object 수를 나타낸다. 그림 2는 kinematic 상태의 dense urban canyon 환경에서의 sky plot을 나타내고 있다.

표 1부터 표 8까지는 kinematic 상태에서 GNSS의 가중치와 vision system의 가중치 변화에 따른 최적의 GNSS와 vision system 융합 위치결정 결과를 나타낸다.

표 1. GNSS가 3개이고, vision system이 1개인 경우의 위치 오차

Table 1. Horizontal position errors with three visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is one.

G3+V1		
GNSS Weight	Vision Weight	Horizontal Position Errors
1	1	21.62
1	2	21.02
1	3	21.96
1	5	20.32
1	10	20.33
2	1	21.67
3	1	20.99
5	1	20.50
10	1	20.34

표 2. GNSS가 3개이고, vision system이 2개인 경우의 위치 오차

Table 2. Horizontal position errors with three visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is two.

G3+V2		
GNSS Weight	Vision Weight	Horizontal Position Errors
1	1	23.95
1	2	19.94
1	3	19.68
1	5	20.06
1	10	20.25
2	1	17.57
3	1	20.65
5	1	16.68
10	1	17.43

표 3. GNSS가 3개이고, vision system이 3개인 경우의 위치 오차

Table 3. Horizontal position errors with three visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is three.

G3+V3		
GNSS Weight	Vision Weight	Horizontal Position Errors
1	1	18.07
1	2	18.88
1	3	19.29
1	5	22.05
1	10	19.93
2	1	16.13
3	1	18.96
5	1	13.30
10	1	12.75

표 4. GNSS가 4개이고, vision system이 0인 경우의 위치 오차

Table 4. Horizontal position error with three visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is zero.

G4	
Horizontal Position Error	
20.95	

표 4는 오직 GNSS만을 이용한 경우의 위치 오차를 나타내고 있다. GNSS만을 이용한 경우의 Horizontal

표 5. GNSS가 4개이고, vision system이 1개인 경우의 위치 오차

Table 5. Horizontal position errors with four visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is one.

G4+V1		
GNSS Weight	Vision Weight	Horizontal Position Errors
1	1	13.86
1	2	23.18
1	3	17.52
1	5	20.26
1	10	20.78
2	1	24.86
3	1	24.10
5	1	13.24
10	1	13.22

표 6. GNSS가 4개이고, vision system이 2개인 경우의 위치 오차

Table 6. Horizontal position errors with four visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is two.

G4+V2		
GNSS Weight	Vision Weight	Horizontal Position Errors
1	1	22.86
1	2	22.94
1	3	21.67
1	5	18.97
1	10	20.66
2	1	21.15
3	1	19.21
5	1	12.45
10	1	11.49

Error가 20.95m이다. 하지만 GNSS와 vision system을 융합한 경우의 위치오차는 크게 향상된걸 알 수 있다. 표 1부터 표 3은 GNSS의 가시위성이 부족하여 위치결정을 할 수 없는 상태이다. 하지만 vision system의 target object 수를 1개부터 3개까지 변화시키며 융합한 결과를 나타낸다. 표 1의 Horizontal Position Error는 20.34m로 표 4의 결과에 비해 3% 향상되었고, 표 2의 Horizontal Position Error는 16.68m로 20.3% 향상되었고, 그리고 표 3의 Horizontal Position Error는 12.75m

표 7. GNSS가 4개이고, vision system이 3개인 경우의 위치 오차

Table 7. Horizontal position errors with four visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is three.

G4+V3		
GNSS Weight	Vision Weight	Horizontal Position Errors
1	1	22.28
1	2	22.64
1	3	21.50
1	5	18.65
1	10	19.53
2	1	19.56
3	1	16.57
5	1	7.45
10	1	6.29

표 8. GNSS가 5개이고, vision system이 0인 경우의 위치 오차

Table 8. Horizontal position error with five visible GNSS, and the number of target objects for the vision system is zero.

G5	
Horizontal Position Error	
16.33	

로 39.1% 향상되었다. 표 5부터 표 7은 표 4와 같이 GNSS의 수가 4개이고 vision system의 target object 수를 1개부터 3개까지 변화시키며 융합한 결과를 나타낸다. 표 5의 Horizontal Position Error는 13.33m로 표 4의 결과에 비해 36.9% 향상되었고, 표 6의 Horizontal Position Error는 11.49m로 45.2% 향상되었고, 그리고 표 7의 Horizontal Position Error는 6.29m로 70% 향상된걸 알 수 있다. 그리고 참고로 표 8은 오직 GNSS가 5개인 경우 Horizontal Position Error는 16.33m이다. 가시위성 수가 같은 표 5부터 표 7의 위치오차와 비교 할 수 있다.

IV. 결 론

차량의 자율주행을 위해서는 여러 가지 기술에 따른 요구 사항이 있겠지만 중요한 요소 중 하나가 이동체의 정확한 절대 위치를 파악하는 것이 필수이다. 현재 외국에서 진행되는 무인자동차 테스트 및 시연은 전자지도 기반에 Lidar를 주된 센서로 사용하며, 필요에 따라

다른 여러 가지 센서를 사용하여 진행되고 있다. 하지만 이러한 무인자동차가 대중화되기 위해서는 현재 테스트나 시연에 사용되고 있는 센서들은 사용 할 수 없을 것으로 예측된다. 그 이유는 센서들간의 간섭이다. 현재도 Lidar나 Radar 등 신호를 송수신 하는 센서들은 필터의 개선 없이는 신호간의 간섭이 심각하게 발생한다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서 무인 자동차의 대중화를 위해서는 오직 신호를 수신하여 제어하는 시스템기반으로 간섭이 발생되지 않는 센서들로 사용하고, 부족한 기능에 대해서는 고가의 센서가 아닌 자동차 자체에서 출력되는 데이터(조향각, 속도계 등)를 최대한 이용하여 무인차량 기술에 적용되어야 한다. 본 논문에서 진행되는 센서는 이러한 조건을 충족하고 있으며, 본 논문의 실험 결과에서 알 수 있듯이 GNSS만을 이용한 위치결정 보다는 GNSS와 vision system을 융합한 경우 위치오차를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 GNSS와 vision system의 가중치를 분석한 결과 vision system의 가중치보다 GNSS의 가중치를 높여주며 융합하는 것이 위치오차를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 가중치 분석을 통해 고정밀 위치결정 시스템의 최적의 융합 기술을 구축할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Tsui, J.B. Fundamentals of Global System Receivers, *A Software Approach*, John Wiley & Sons, 2, 10-27, (2000).
- [2] Ramjee, P. and Marina, R. *Applied Satellite Navigation Using GPS, Galileo, and Augmentation System*, Artech House.
- [3] Hofmann, W.B., Lichtenegger, H. and Collins, J. *GPS Fifth*, revised edition (2001).
- [4] Redmill, K. and Kitjima, T. DGPS/INS Integrated Positioning for Control of Automated Vehicle. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceeding*, 25-29, (2001).
- [5] Lim, Y.C., Lee, M.H., Lee, C.H., Kwon, S. and Lee, J.H. Improvement of Stereo Vision-based Position and Velocity Estimation and Tracking using a Strip-based Disparity Estimation and Inverse Perspective Map-based Extended Kalman Filter. *Optics and Lasers in Engineering*, 48, 9, 859-868, (2010).
- [6] Bertozzi, M., Broggi, A., Cellario, M., Fascoli, A., Lombardi, P. and Porta, M. Artificial Vision in

- Road Vehicles, *Proceeding of the IEEE*, 90, 7, 1258-1271, (2002).
- [7] Cohen, C. and Koss, F.V. A Comprehensive Study of Three Object Triangulation. *Mobile Robots VII*, Vol. 1831, 95-106, (1992).
- [8] Betke, M. and Leonid, G. Mobile Robot Localization Using Land Marks. *IEEE trans on Robotics and Automation*, Vol. 13, 251-263, (1997).
- [9] Park, C.H. and Kim, N.H. A Study of External(Outdoor) Shadow Area Solution Based on Global Navigation Satellite System and Vision System Convergence Technology, *19th ITS Word Congress* (2012).
- [10] Park, C.H. and Kim N.H. A Study of Positioning Error based on the Satellite Navigation System, *The Institute Of electronics And Information Engineers* Vol. 49, No. 10, 23-33, (2012)
- [11] Park, C.H. and Kim, N.H. Precise and Reliable Positioning Based on the Integration of Navigation Satellite System and Vision System, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 15, 79-87, (2014).

 저 자 소 개

박 지 호(정회원)

대한전자공학회 논문지

제49권 TC편 제10호 참조

<주관심분야 : 무선통신, 자율주행, ITS, GNSS, 고정밀측위>



박 경 용(정회원)

1993년 영남대학교 기계공학과 (학사)

2001년 연세대학교 기계공학과 (석사)

2010년 성균관대학교 기계공학과 (박사)

현재 한국생산기술연구원 팀장

<주관심분야 : 공간정보공학, GNSS, ITS>



김 남 혁(정회원)

2009년 서울시립대학교 공간정보 공학과 졸업(학사)

2009년~2011년 9월 (주)링크웨어 GIS 연구소 연구원

2014년 경북대학교 공간정보학과 (석사)

2015년 3월~현재 경북대학교 공간정보학과 (박사과정)

2011년 9월~현재 DGIST 연구원

<주관심분야 : 공간정보공학, GNSS, ITS>