

비전 시스템을 이용한 DGPS 데이터 보정에 관한 연구

*문성룡, **채정수, *박장훈, *이호순, *노도환
*전북대학교 전자정보공학부 계측제어연구실

A study on the DGPS data errors correction through real-time coordinates conversion using the vision system

*Seong-Ryong Mun, **Jung-su Chae, *Jang-Hun Park, *Ho-Soon Lee, *Do-Hwan Rho
*Measurement & Control Lab, Chonbuk national Univ

Abstract - This paper describes a navigation system for an autonomous vehicle in outdoor environments. The vehicle uses vision system to detect coordinates and DGPS information to determine the vehicles initial position and orientation. The vision system detects coordinates in the environment by referring to an environment model. As the vehicle moves, it estimates its position by conventional DGPS data, and matches up the coordinates with the environment model in order to reduce the error in the vehicles position estimate. The vehicles initial position and orientation are calculated from the coordinate values of the first and second locations, which are acquired by DGPS. Subsequent orientations and positions are derived. Experimental results in real environments have showed the effectiveness of our proposed navigation methods and real-time methods.

서 X, Y, Z 좌표로 변환하고, 다시 우리 나라 타원체 좌표인 Bessel 좌표로 변환하는데 ϕ, λ, h 를 장반경, 단반경, 횡곡률 반경과 이심률에 의해서 우리 나라 타원체에 맞는 좌표로 변환한다. 표 2-1은 타원체의 제원을 나타냈다.

표 2-1. 타원체의 제원

타 원 체	장 축	1 / 편평률
Bessel	6,377,387.155	299.152812569785
WGS-84	6,378,137.000	297.257223583000

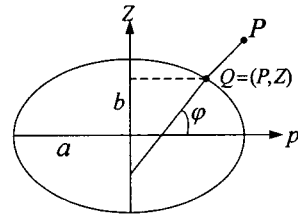


그림 2-1 자오선 타원체

1. 서 론

교통의 원활화를 위해 차량항법 시스템의 연구와 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 차량항법 시스템에서 제일 중요한 것은 현 위치를 파악하는 것이다. 이에 GPS를 이용한 위치 파악에 대한 연구가 진행 중이고 DR, INS, GIS와 같은 시스템을 결합하여 연구가 진행중이나 DR은 큰 동적 환경에서 오차로 인해 위치 파악이 어렵고, INS는 오차의 누적으로 인해 먼거리 주행시 위치 파악의 어려움이 있다. 본 논문에서는 지금까지의 상대적인 위치를 측정했던 각종 센서들과는 달리 GPS 데이터의 수신불안정 지역과 수신 불가 지역에서 차량의 절대적인 위치를 항상 파악할 수 있도록 GPS의 수신 데이터를 비전시스템의 영상좌표와 결합시켜 수신 불안정 지역이나 수신불가지역에서 차량의 현 위치를 파악할 수 있도록 하였다. 먼저 DGPS를 구성하고 실시간 DGPS처리 방법을 사용한다. DGPS 수신 데이터를 이용하여 차량을 전북대학교내 도로와 사대부고 옆 터널을 주행하여 수신불안정 지역과 수신 불가 지역을 파악하였다. 차량이 이동하여 일어난 전북대학교내 도로와 사대부고 옆 터널까지의 수신 불안정 지역과 수신 불가 지역의 DGPS 데이터를 분석하고 DGPS 수신 데이터의 좌표변환을 하였다. DGPS의 WGS-84좌표를 TM좌표로 변환한 값과 비전 시스템의 영상 좌표를 TM좌표로 변환한 값을 정합시켜서 DGPS수신 불안정 지역이나 수신 불가 지역에서 실시간으로 차량의 현 위치를 파악할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. GPS의 좌표변환

GPS의 수신 데이터는 위도, 경도, 고도로 수신을 받고, WGS(World Geodetic System)-84 좌표라고 한다. 위도, 경도, 표고를 장반경, 단반경과 횡곡률 반경에 의해

그림 2-1은 자오선 타원체를 나타내고 있다. 그림 2-1에서 타원의 방정식은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\frac{p^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1 \quad a > b \quad (2-1)$$

여기서 a 와 b 는 각각 지구의 장반경과 단반경을 나타낸다. 그림 2-1 에서 flattening f 와 이심률 e 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$f = \frac{a-b}{a} \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} = \frac{(2-f)f}{(1-f)^2} \quad (2-2)$$

그림 2-1의 축의 비는 다음 식과 같다.

$$\frac{b}{a} = 1 - f = \frac{1}{\sqrt{1 + e^2}} \quad (2-3)$$

마지막으로 곡률 반경은 다음 식으로 나타낸다.

$$c = \frac{a^2}{b} = a\sqrt{1 + e^2} = b(1 + e^2) \quad (2-4)$$

편향률(flattening)은 $f=0.00335$ 로 매우 작은 값을 갖는다. 지구 반지름을 $a=1m$ 라면 $7mm$ 의 flattening을 가지며 이 경우 $e^2 \approx 0.08209$ 를 가진다.

직교 좌표계의 X, Y, Z 와 측지 좌표계에서 ϕ, λ, h 의 관계를 그림 2-2에서와 같이 나타냈으며, 관계식은 식 2-5와 같이 나타낼수 있다.

$$X = N \cos \phi \cos \lambda$$

$$Y = N \cos \phi \sin \lambda \quad (2-5)$$

$$Z = (1 - f)^2 N \sin \phi$$

식 2-5에서 N 은 다음과 같다.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - f(2-f)\sin^2\varphi}}$$
 식 2-5는 다시 식 2-6의 식으로 변환이 가능하다.

$$\begin{aligned} X &= (N+H)\cos\varphi\cos\lambda \\ Y &= (N+H)\sin\varphi\cos\lambda \\ Z &= \left(\frac{b^2}{a^2}N+H\right)\sin\varphi \end{aligned} \quad (2-6)$$

식 2-6에 의해 측지 좌표는 직교 좌표로 변환이 가능하며 그의 역변환을 취하면 직교 좌표계를 측지 좌표계로도 변환이 가능하다. 여기서, φ 는 P점을 통과하는 타원체의 법선과 적도면이 이루는 각이고, λ 는 그리니치를 통과하는 자오선과 P점을 통과하는 자오선 사이의 각이다. 묘유선곡률반경 N 은 2-7과 같다.

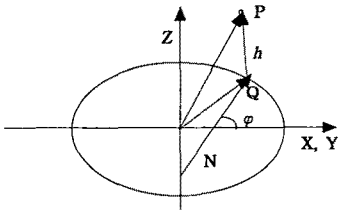


그림 2-2 측지 좌표와 직교좌표의 변환

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\sin^2\varphi}} \quad (2-7)$$

좌표 변환의 역변환을 해보면, (2-6) 식에서

$$Z = \left(\frac{b^2}{a^2}N+h\right)\sin\varphi \quad (2-8)$$

2-8을 이용하여 역변환 식이 2-9와 같이 구해진다.

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2} = (N+h)\cos\varphi \quad (2-9)$$

WGS-84 좌표계를 Bessel 타원체 구좌표계로 변환하는데, 이 변환을 위해서 Molodensky-Badekas 변환 모델을 이용하였다. 이 방법은 변환 요소의 상수관계가 커지지 않으며 무게중심 또는 원점에서 회전하도록 하는 모델이다. 식 (2-10)은 Molodensky-Badekas 변환 모델을 나타냈다.

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} (1+d) & \phi & \psi \\ X' & (1+d) & \omega \\ -\psi & \omega & (1+d) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_r - X_n \\ Y_r - Y_n \\ Z_r - Z_n \end{pmatrix} \quad (2-10)$$

Molodensky-Badekas 변환 모델에 의해서 WGS-84 좌표계를 Bessel 타원체 구좌표계로 변환하면 (2-11)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + (1+d) \begin{pmatrix} 0 & x & -\psi \\ -x & 0 & \omega \\ \psi & -\omega & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2-11)$$

그리고, Bessel 타원체 구좌표계에서 Bessel 타원체 경위도 좌표계로 변환하는 관계도 역변환을 통해서 가능하며 좌표변환을 수행하였다.

3. 비전 시스템에 의한 위치 추정 및 좌표 변환

3.1 영상 처리

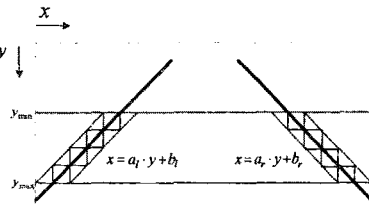


그림 3-1 차선 영상
 카메라영상에서 관심 영역을 설정한 뒤 소벨 필터를 사용하여 에지를 추출하고 추출된 에지로부터 직선의 방정식을 유도한다. 좌측 차선의 에지가 $p(x_l, y_l)$ 이고, 우측 차선의 에지가 $p(x_r, y_r)$ 이므로
 가상중양선은 $\left(\frac{x_l+x_r}{2}, \frac{y_l+y_r}{2}\right) = p(x_c, y_c)$ 가 된다.

3.2 무한 원점에 의한 주행 방향 추정

차선 검색에서 추정된 영상면상의 직선들 즉,

$$y = mx + b \quad (3-1)$$

$$m = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \quad b = \frac{\sum y_i - m\sum x_i}{n} \quad (3-2)$$

을 이용하여 무한원점을 추정한다. 무한 원점 v_x, v_y 는 직선들의 형식을 $ax+by=c$ 라 할 때, 식 (3-3)가 최소값이 되는 점으로 구한다.

$$f(v_x, v_y) = \sum \frac{a_i v_x + b_i v_y + c_i^2}{v_x^2 + v_y^2 + 1} \quad (3-3)$$

자동차의 진행방향을 결정하는 자세각을 추정하기 위하여 무한원점의 원리를 이용한다. 무한원점을 추정하기 위하여 공간상의 두직선을 필요로 한다. 주행하는 평탄도로에서는 좌·우차선에 의한 평행한 직선을 얻을수 있다. 평행한 좌·우차선을 카메라의 영상면상에 투영시키면 투영된 차선의 연장선은 어느 한 점에서 교차하는 무한 원점을 얻을 수 있어 자세각을 추정할 수 있다. 영상면상에서 무한원점을 (v_x, v_y) 라 하면 3차원 공간상의 차선 방향 벡터는 (v_x, v_y, f) 로 구 할 수 있다. 자동차의 진행방향을 결정하는 자세각 ψ 는 영상 처리시간 T 의 간격을 가지는 영상시스템 으로부터 연속적으로 입력되는 영상면상의 무한 원점들의 내적관계로부터 식(3-3)와 같이 나타낼수 있다.

$$\psi_n = \cos^{-1} \frac{v_{m1}v_{m2} + v_{y1}v_{y2}}{\sqrt{v_{m1}^2 + v_{y1}^2} \sqrt{v_{m2}^2 + v_{y2}^2}} \quad (3-3)$$

이때, ψ 의 크기는 도로의 곡률에 의해 좌우된다. 직선도로에서는 ψ 가 0에 근접하며 실제로 도로가 사라지지 않으며, 90°의 급커브를 예외로하면 ψ 는 $0 < \psi < 90$ 의 범위안에 존재한다.

3.3 좌표 변환

공간상의 점을 카메라 좌표로 이동시키기 위해서는 (3-4) 식과 같이 변환이 된다.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = -\frac{f}{Z_c} R \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} \quad (3-4a)$$

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = -\frac{f}{Z_c} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w - T_x \\ Y_w - T_y \\ Z_w - T_z \end{pmatrix} \quad (3-4b)$$

여기서,

T_x, T_y, T_z : 공간좌표에서 카메라 좌표로의 병진 성분

R : 회전성분

X_i, Y_i, Z_i : 카메라 좌표

$$Z_c = r_{31}(X_w - T_x) + r_{32}(Y_w - T_y) + r_{33}(Z_w - T_z)$$

이다.

카메라 좌표와 GPS좌표는 3-5와 3-6식과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

$$\begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w - T_x \\ Y_w - T_y \\ Z_w - T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

여기서,

S : 축적계수

R : 회전행렬 계수

X_{GPS} : GPS 좌표

X_{CAMERA} : 카메라 좌표

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 평행이동량

으로 나타낸다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 비전 시스템을 사용하여 GPS의 수신 불가 지역에서 이동체의 현 위치를 파악하도록 비전 시스템과 DGPS를 좌표변환에 의한 정합 방법을 제안하였다. GPS보다는 더 정확한 위치를 얻을 수 있는 DGPS를 구성하고, GPS의 여러 오차를 최소화하기 위해서 전북대학교 공대 7호관 옥상에 설치하였다. 이동국과 비전 시스템을 차량에 탑재하고 전북대학교 교내 도로에서 부터 사대부교 옆 터널까지를 이동하여 실시간으로 현 위치를 파악하였다.

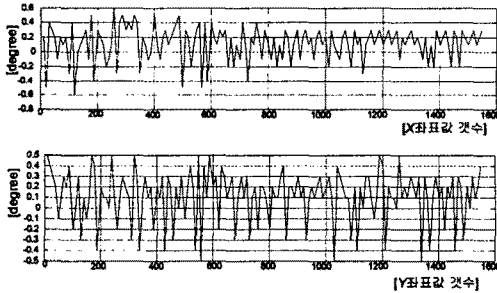


그림 4-1 X, Y좌표값 오차

그림 4-1은 비전 시스템으로 좌표값을 얻어 좌표변환한 TM좌표값과 DGPS로 좌표변환한 TM좌표값의 X와 Y 좌표값의 오차를 나타낸 결과값이다.

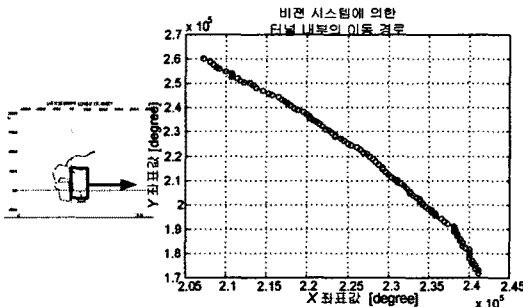
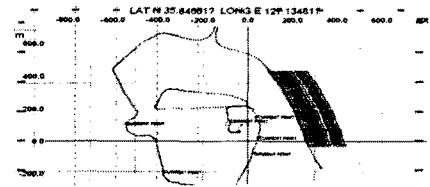


그림 4-2 수신 불가지역에서의 비전시스템의 경로

그림 4-2는 수신 불가 지역인 터널에서 DGPS의 데이터가 없어도 비전 시스템으로서 현 위치를 파악한 이동 경로를 나타낸 결과이다.



a) DGPS에 의한 수신 불가



b) 보정 결과

그림 4-3 비전 시스템에 의한 보정 예

그림 4-3은 전북대학교 교내와 사대부교 옆 터널에서의 이동경로와 보정한 결과를 나타낸 것으로 실시간으로 수신 불안정 지역과 수신불가 지역에서 비전 시스템으로 보정한 결과를 얻었다.

5. 결 론

본 논문에서는 비전시스템과 GPS의 좌표변환을 통하여 TM좌표값으로 정합하여 실시간으로 이동체의 현 위치를 파악하였다. DGPS 수신불가 지역은 터널내부에서 나타났으며, 이 부분을 비전 시스템으로 변환한 좌표값(TM)과 DGPS좌표(TM)에서 변환한 좌표값(TM)을 정합시켜 수신 불가 지역에서도 현 위치를 파악하도록 하였다. DGPS를 차량에 탑재하여 이동한 경로와 좌표변환하여 좌표값으로 이동한 경로가 일치한 결과를 얻었다. 하지만 휠 센서를 이용한 속도 감지와 비전 시스템과 GPS가 호환이 되도록하는 프로그램의 개발, 사용자에게 훨씬 더 정확한 위치 정보를 제공하기 위해 비전 시스템, GPS와 전자지도의 세 개의 시스템을 매칭하는 연구가 보완 되어야하고 지속적인 실험과 연구가 필요하다고 생각된다.

(참고 문헌)

- [1] Jay Farrell and Tony Givargis, "Differential GPS Reference Station Algorithm-Design and Analysis", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 8, No. 3, 519-537, 2000
- [2] Dodds, G, Glenn, J.J, Robinson, R, Mullin, F, "Assessment of road-lighting parameters using camera based systems", IEE Seminar on , pp. 5/1 -5/6, 1999
- [3] Chen, T, Shibasaki, R, "A versatile AR type 3D mobile GIS based on image navigation technology", IEEE SMC '99 Conference Proceedings, 1999 IEEE International Conference on , Vol. 5 , pp. 1070-1075, 1999
- [4] 박성규 외 공저, "측량 및 지형공간정보 특론," 2001
- [5] 유복모 저, "디지털 측량 공학," 2002
- [6] 유복모 저, "측량학 원론(I)," 1999