

카메라와 무한원점을 이용한 주행중 실시간 GPS 위치 보정

Real time GPS position correction using a camera and the vanishing point when a vehicle runs

김보성*, 정준익**, 노도환***

Bosung Kim, Junik Jeong, DoWhan Rho

Abstract - In this paper, we proposed the GPS position data correction method for autonomous land navigation using vanishing point property and a monocular vision system. Simulations are carried out over driving distances of approximately 60 km on the basis of realistic road data. In straight road, the proposed method reduces GPS position error to minimum more than 63% and positioning errors within less than 0.5m are observed. However, the average accuracy of the method is not presented, because it is difficult to estimate it in curve road or other road environments.

Key Words : GPS position correction, vanishing point, ALV, coordinates conversion

1. 장 서 론

GPS는 어느 곳에서나 시간 제약 없이 인공위성에서 발신하는 정보를 수신하여 정지 또는 이동하는 물체의 위치를 측정할 수 있도록 구성되어 있는 전천후 위치측정 시스템으로 비전시스템을 이용한 차량항법시스템과 병행하여 연구되고 있다. 하지만 위성 신호를 이용하여 위치를 결정하기 위해서는 4개 이상의 위성으로부터 신호를 수신하여야 하고, 각 신호의 정보를 충분히 수신하기 위하여 일정 주기시간 동안 신호를 고정하고 있어야 한다. 위성의 신호는 높은 주파수(1.575GHz)로 전송되는데 이 주파수는 신호경로에 위치한 고체를 통과하거나 주위를 휘어지기에 너무 높기 때문에 고정된 각 4개의 위성신호를 획득하고 지속하는데 저해된다. 이러한 이유로 GPS 신호는 건물 내부에서는 수신할 수 없다. 또한, 높은 빌딩, 터널, 과밀한 수목 혹은 산이 있는 환경 등의 외부 지역에서도 위성 신호가 차단되는 경우가 발생한다. 이러한 환경에서 위성 신호 단절로 인하여 제대로 위치를 파악할 수가 없게 된다.

이러한 단점들을 보완하기 위해서 현재는 GPS와 INS의 결합^[1], 혹은 GPS와 DR의 결합^[2] 등의 데이터 퓨전 방법이 활발히 연구 중이다. 하지만 DR은 방향 센서의 정렬 오차 및 순수 센서오차로 인해 항체의 정확한 방향뿐만 아니라 바퀴의 미끄러짐으로 발생하는 엔코더 오차 때문에 정확한 위치를 제공하지 못하기 때문에 이를 개선하는 연구가 진행 중이다. INS는 외부의 도움 없이 관성센서의 출력을 적분하여 사용함으로써 매우 정확한 항법 정보를 얻을 수 있으나 시간이 경과함에 따라 오차가 누적되는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 연구된 방법을 결합 병행하지 않고, 자율주행차량에 주요하게 사용되는 비전시스템을 이용하여 주행시 GPS 데이터 수신단절 지역에서도 실시간으로 차량의 위치를 보정할 수 있는 방법을 제안한다.

제안하는 방법은 크게 세가지 단계로 나눌 수 있는데, 첫째, 현재 GPS에서 이용되는 WGS-84(World Geodetic System)좌표를 우리나라 전자지도에서 사용되는 Bessel좌표로 변환 후, TM(Transverse Mercator) 투영에 의한 좌표로 변환(이후 TM좌표로 표기함)하고, 둘째, 비전 시스템에서 도로의 좌우차선을 이용하여 무한원점을 추정하고, 이를 이용하여 차량의 이동벡터를 산출하여, 셋째, 산출된 벡터를 TM 좌표로 변환하여 GPS 좌표와 비전 시스템의 좌표계를 정합시켜서 GPS 위치를 보정한 후 WGS-84좌표계로 변환한다. 그러나 첫째의 좌표변환의 경우는 기존의 논문^[3]에서 잘 설명되어있으므로 이러한 일반적인 좌표변환의 경우는 생략하고, 2장에서 간단히 개념만을 설명하였다

2. 장 좌표변환

GPS위성에서는 WGS-84 타원체를 기준으로 하는 경위도 좌표계를 세계적으로 통일된 좌표로 쓰고 있다. 현재 우리나라에서 채택하고 있는 Bessel 타원체는 GPS에서 사용되고 있는 WGS-84 타원체와는 서로 다른 체원^[3]을 가지고 있으며, 우리나라에서 사용하는 전자지도 좌표계에 맞는 Bessel 좌표계로 변환을 하기 위해서는 그림 1과 같은 좌표변환 과정을 거친다. 여기에서는 제안하는 비전시스템 좌표계와의 정합을 위하여 TM투영법에 의한 Bessel 타원체 직교좌표계로 변환하여 이용한다. 이 과정에 대한 역변환, 즉 Bessel 타원체 직교좌표계에서 GPS 경위도 좌표계로의 변환은 그 반대의 과정을 거친다. 좌표변환과정은 크게 경위도좌표계에서 지심직교좌표계로의 변환과 WGS-84 지심직교좌표계와 Bessel 지심직교좌표계와의 변환, Bessel 경위도 좌표계와 TM투영법에 의한 직교좌표계로의 변환의 3가지로 구분된다.

저자 소개

* 準 會 員 : 全 北 大 學 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 全 北 大 學 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

*** 正 會 員 : 全 北 大 學 電 子 情 報 工 學 部 教 授

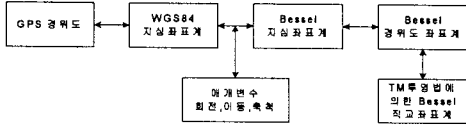


그림 1. 좌표변환 과정
Fig. 1. Coordinates conversion flow

3. 장 비전 시스템에 의한 GPS 위치 데이터 보정

3.1. 시스템 좌표계 구성

시스템은 핀홀 카메라 모델에 기초하여 도로의 좌우차선이 영상면상에 투영되는 관계를 기초로 한다.

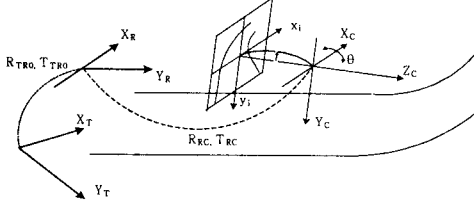


그림 2. 시스템 좌표계
Fig. 2. System coordinates

그림 2는 차량에 위치한 GPS 수신기와 카메라를 좌표계 $P_R(X_R, Y_R)$, $P_C(X_C, Y_C, Z_C)$ 로 표현한 것이다. 또한, 카메라에서의 영상좌표계를 $P_i(x_i, y_i)$ 라 하고, 공간 좌표계는 TM좌표계 $P_T(X_T, Y_T)$ 로 설정하였다. 차량이 이동하는 도로의 중심 방향을 Z축으로 하고 θ ($5\sim 10^\circ$)만큼 기울어진 오른손 좌표계를 카메라좌표계로 하고, 수신기 좌표계 P_R 과 카메라 좌표계와의 회전행렬을 R_{RC} , 이동행렬을 T_{RC} 라 하고, P_T 좌표계와 P_R 좌표계와의 초기 회전행렬을 R_{TR0} , 이동행렬을 T_{TR0} 로 구성한다. 여기에서는 편의상 수신기 좌표계와 카메라 좌표계와의 각축을 평행하게 설정하고 이동성분만을 고려하였고, 행렬을 벡터로 표현하였으며, 수신기의 위치를 차량의 위치로 설정하였다.

3.2. 차량 이동벡터

그림 3은 차량이 비전시스템에서 처리시간 t_n [초]후의 차량이 이동하는 벡터 G_n 와 차량의 속도 V_n [m/s]를 나타낸 그림이다. 차량이동벡터의 크기, 즉, 이동하는 거리[m]는 다음과 같이 나타낸다.

$$|G_n| = V_n t_n \quad (1)$$

차량의 이동 방향을 추정하기 위해서는 최소 두개 이상의 GPS 위치를 이용하여 수신기 좌표계 P_R 과 공간 좌표계 P_T 와의 초기관계 R_{TR0} , T_{TR0} 를 설정하여야 한다. 차량이 처음 직선이동 하였다고 하였을 때, GPS 수신기의 수신 간격 시간 t_n 에 따른 좌표를 전장에서 설명한 좌표변환한 후의 좌표를 $P_{Tn}(X_{Tn}, Y_{Tn}, Z_{Tn})$ 이라 하였을 때, 수신된 두개 이상 N 개의 P_T 좌표를 이용하여 현재 차량이 주행할 초기 방향 벡터 C 는 식 (2)와 같다. 단, $i = 1, \dots, N$

$$C(x_d^i, y_d^i) = (X_{T(i+1)} - X_{Tn}, Y_{T(i+1)} - Y_{Tn}) \quad (2)$$

여기에서, (x_d, y_d) 는 각각 x, y 방향 성분이다.

구해진 벡터들을 이용하여 정확한 이동방향을 추정하기 위해 식(3)의 오차값 E 가 최소가 되는 벡터 $C(x_{d0}, y_{d0})$ 를 추정한다.

$$E = \sum_{i=1}^{N-1} (C(x_d^i, y_d^i) - C(x_d^{i+1}, y_d^{i+1}))^2 \quad (3)$$

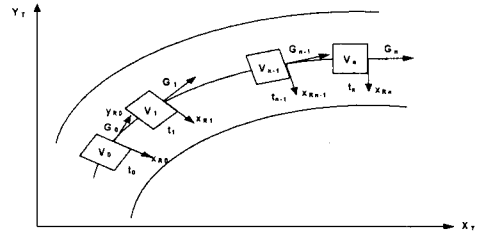


그림 3. 시간에 따른 차량이동
Fig. 3. Vehicle moving with timed interval

추정된 벡터 C 를 이용하여 P_T 좌표계와 P_R 좌표계와의 초기 회전관계 R_{TR0} 를 산출한다. P_T 와 P_R 은 x 축에 대해 다음 식 (4)와 같은 회전각을 갖는다. 여기에서, 음의 값은 반시계방향 회전이고, 양의 값은 시계방향 회전이다.

$$\cos \gamma = x_d / \sqrt{x_d^2 + y_d^2} \quad (4)$$

수신된 두개 이상의 P_T 좌표를 이용하여 현재 차량이 주행할 방향 벡터를 추정하고, 추정된 벡터를 y 축으로 하는 좌표계를 GPS 수신기 좌표계 P_{R0} 로 구현한다. 즉, P_T 와 P_R 을 회전 행렬로 표현하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P_T = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma \\ -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} P_{R0} + T_{TR0} \quad (5)$$

여기서, T_{TR0} 는 마지막 GPS 수신 좌표이다.

3.3. 무한원점을 이용한 차량 이동벡터 추정

차량의 추후 이동 방향을 무한원점의 성질을 이용하여 추정한다. n 번째 처리시간을 T_n 이라 하고, 이때의 무한원점의 단위방향벡터를

$$\beta_n = a_n i + b_n j \quad (6)$$

라 하자. 여기서, i, j 는 영상 좌표계에서의 각 x, y 축 방향이다. 차량은 식(6)과 같이 추정된 이동방향과 식(1)에 의한 이동벡터의 크기만큼 차량은 알고리즘 처리시간동안 이동한다. 차량이동벡터는 다음과 같이 표현된다.

$$G_n = |G_n| \cdot \beta_n \quad (7)$$

처리시간에 대한 차량이동벡터를 이용하여 수신기의 좌표계로 변환하면 다음 식(8)과 같고, 이를 공간좌표계 P_T 로 표현하면 식(9)와 같다.

$$P_{Rn+1} = P_{Rn} + G_n + T_{RC} \quad (8)$$

$$P_{Tn+1} = P_{Rn+1} + P_{R0} \quad (9)$$

차량 주행시 카메라를 이용하여 주행방향을 추정하고 P_T 좌표계로 변환하여 처리시간 후 위치하게 될 차량의 GPS 위치 데이터를 보정한다.

4. 실험 및 고찰

GPS 수신 간격은 0.2초로 설정하였으며, 중부원점을 사용하였다. 알고리즘 평균 처리 시간은 63[ms]로 1회 GPS 수신 간격동안 약 4회 처리한다. 또한, 주행중 차량의 속도는 수시로 변수로서 입력하였다. 차량의 주행 방향은 참고문헌의 주행방향 추정법^[4]을 이용하여 추정한다.

그림 4는 전주에서 익산을 거쳐 전주로 돌아오는 약 60 km의 도로를 주행하며 GPS 수신기에 의해 얻어진 원시 위

치 데이터를 나타낸 그림이다. 주행은 직선 및 곡선, 시내, 터널, 산 등을 통과하였으며 산발적인 경우와 지속적인 GPS 신호 단절의 경우가 항시 존재하였다. 영역 1은 약 3.5 km의 직선도로를 나타낸다. 영역 2는 지하터널이고, 영역 3은 과밀한 수목 지역을 통과하는 도로의 경우를 나타낸 것이다. 그림에서 '+' 기호는 GPS 수신기에 의한 위치이고, 회색점은 제안한 방법에 의해 보정된 위치를 나타낸다. 그림 5는 약 3.5km의 직선도로를 80km/h로 주행하였을 때, GPS 수신 데이터와 보정된 데이터를 나타낸 것이다. 직선도로를 주행하였을 때, GPS 수신기에 의한 위치 데이터가 수시로 변동함을 알 수 있다.

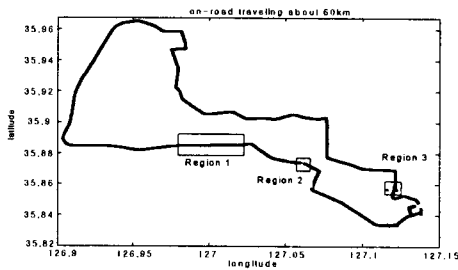


그림 4. 원시 GPS 수신 위치 데이터
Fig. 4. Raw data from GPS receiver

그림 5는 그림 4의 직선도로를 선형 보간하여 직선방정식으로 변환하였을 때, 수신된 GPS 위치 데이터와 보정된 데이터와의 경도에 따른 거리 오차를 나타낸 것이다.

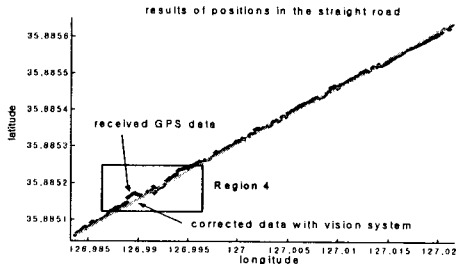


그림 5. 영역 1의 약 3.5km 직선도로 확대
Fig. 5. Region 1 when the vehicle runs a straight road

이 경우 거리 최대값은 수신기의 경우와 보간되었을 때의 경우 GPS 경위도 좌표계에서 크기가 각각 0.00013913와 0.00008949로 나타난다. 이와 같이 제안하는 방법은 직선의 경우 GPS의 위치오차를 최소 약 63% 이상 감소시킬 수 있다. 이를 거리로 환산하면 약 0.5m 이내로 위치를 보정한다.

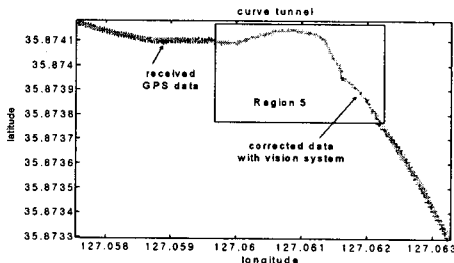


그림 6. 영역 2의 곡선 터널 주행시 확대

Fig. 6. Region 2 where the vehicle runs a curved tunnel

그림 6과 7은 각각 GPS 신호를 수신하지 못하는 영역 2의 터널과 영역 3의 과밀한 수목 지역의 도로를 주행할 때,

GPS 수신기에 의한 위치 데이터와 보정된 위치 데이터를 확대하여 나타낸 그림이다. 그림 6의 '+' 표시가 없는 영역 5는 곡선 지하터널로 70km/h로 주행하였을 때, GPS 신호단절로 인한 위치 수신 불가의 경우이다.

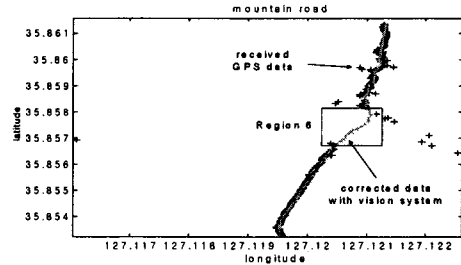


그림 7. 영역 3의 산 도로 주행시 확대

Fig. 7. Region 3 where the vehicle runs a mountain

그림 11은 과밀한 수목 지역의 도로를 주행할 때 GPS 위치 왜곡과 수신 단절 상태가 동시에 나타난다.

5. 결론

본 논문에서는 무한원점의 성질과 단일 비전 시스템을 이용하여 자율 주행을 위한 GPS 위치 데이터 보정법에 대하여 제안하였다. 제안하는 방법은 DR, INS와 같이 시스템을 병행하지 않고, 자율 주행의 기본 시스템인 비전시스템에 알고리즘만 추가하여 위치데이터를 보정하는 방법이다.

제안하는 방법은 직선도로에서 최대 거리오차에 기인하여 GPS 위치오차를 최소 63% 이상 감소시킬 수 있고, 이는 거리로 0.5m 이내임을 나타낸다. 실험 결과로써 제안하는 방법은 GPS 위치 데이터를 수신할 수 없거나 왜곡되는 지역에서 GPS 위치 데이터를 보정할 수 있어 자율 주행 시스템에 적용 가능함을 알 수 있다. 그러나, 제안하는 방법은 초기 차량 이동벡터가 정확하여야 하며, 차량의 진동에 대한 무한원점의 오류, 정확한 차량의 속도 입력에 대한 문제점이 있다.

추후 과제로는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 수신된 위치 데이터와 보정된 위치데이터를 분석하여 상호 보정할 수 있는 방법의 개발이 필요하고, 보다 정확한 차선 인식 기법을 이용하여 위치 오차를 더욱 최소화 하는데 있다고 생각된다. 또한, 현행 세계측지 좌표계(GRS80)로 전환됨에 따른 좌표변환 관계도 고려해야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] A. Keith, Redmill, and Takeshi. Kitajima, "DGPS/INS Integrated Positioning for Control of Automated Vehicle," *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, Oakland (CA), USA, Aug. 25-29, 2001.
- [2] Qu Shengbo, Ding Keliang, and Li Qingli, "An effective GPS/DR device and algorithm used in vehicle positioning system," *IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings*. Vol. 1, pp. 632-636, 2003.
- [3] 권대원, "우리나라 측지계와 WGS84의 좌표변환", 석사학위논문, 성균관대학교, 1995년 10월
- [4] 정준의, 최성구, 노도환, "무한원점을 이용한 주행방향 추정과 장애물 검출", 전자공학회논문지 제34권 5편, 제11호, 126-137쪽, 1997년