저가형 혼합항법시스템의 오차보정

Error Correction of a Low-Cost Hybrid Navigation System

임 삼 성*, 조 성 준**

Samsung Lim* and Sung Jun Cho**

요 약

본 연구에서는 저가형 GPS 수신기와 자이로 및 속도계를 결합한 혼합항법시스템을 개발하여 그 정확도를 실험하였다. 본 혼합항법시스템에서는 기존의 강결합 방식이나 연결합 방식과 달리 변형된 결합방식을 채택하여 GPS 수신기나 자이로 혹은 속도계를 자유롭게 선택할 수 있도록 하였다. 실험 결과, 본 혼합항법시스템은 기존의 항법시스템보다 정확도가 향상되었으며 다중경로오차를 상당히 제거할 수 있음이 밝혀졌다. 또한 본 항법시스템은 후처리 지리정보자료획득의 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In this study, a hybrid navigation system with a low-cost GPS Receiver plus Gyro and Odometer is developed and tested. This hybrid navigation system adopted a modified coupling method which can be distinguished from tightly coupled method or loosely coupled method, so that GPS receivers or Gyros or Odometers can be chosen arbitrary. Comparing to the existing hybrid navigation system, the test results show that this navigation system enhances the accuracy and is robust against the multipath error. It is also proven that this system has an advantage of acquiring GIS data for post processing.

Key words : GPS, Gyro, Odometer, tightly coupled, loosely coupled.

Ⅰ. 서 론

위성측위시스템 (Global Positioning Systems: GPS)과 추측항법 (Dead Reckoning: DR)의 혼합항법 시스템은 차량에 GPS 수신기와 DR 센서를 융합하여 이동시 정확한 현재 위치와 방향 및 각종 정보를 사용자에게 알려주는 항법 및 측량용 시스템이다. 이 시스템은 주위 환경의 영향을 많이 받는 GPS의 단점과 장시간 측정시 오차가 누적되는 DR 시스템의 단점을 상호 보완하여 시간, 기상 그리고 지역에 관계없이 연속적인 항법해를 얻을 수 있는 장점이 있다[1,2].

현재 차량용 항법장치의 필요성이 증대됨에 따라 DR 시스템과 GPS를 혼합하여 시스템의 성능향상을 위한 연구가 많이 진행 중에 있다. 그러나 상용화된 대부분의 항법용 혼합 시스템의 경우 가격에 비해 정확도가 낮은 단점을 갖고 있다.

본 연구에서는 현재의 위치를 측정하기 위한 저

* 인하대학교 지리정보공학과(Department of Geo-informatic Engineering, Inha University)
** 헤드라인 정보통신 주식회사(Headline Information Inc.)
· 논문번호 : 2003-2-8
· 접수일자 : 2003년 10월 9일

가형의 GPS 수신기, 각 변위량을 측정할 수 있는 자이로와 주행거리 측정을 위한 속도계를 이용하여 위치를 추정하기 위한 융합 시스템을 설계 및 구현하였다. 또한 시스템의 경제성과 수신기의 다양성에 맞추어 국가해양전자협의회 (National Marine Electronics Association: NMEA) 포맷을 제공하는 모든 GPS 수신기를 결합할 수 있도록 고안하였다.

그리고 기존의 통합 방법인 약결합 방식이나 강결합 방식을 사용하지 않고 GPS 기반의 DR 시스템을 통합한 변형된 약결합 방식을 적용하였다. 이 방식은 GPS 기반 시스템으로서 GPS 의 신호가 불량한 상태에서 DR 시스템의 적용을 달리하는 방식이다.

본 논문에서 제시한 알고리즘과 혼합 시스템을 검증하기 위해 차량에 장착되는 GPS 수신기는 저가형부터 고가형까지 다양하게 적용하여 실험하였고, 그 결과에 대한 검증 방법으로 2주파수를 이용한 GPS의 결과와 비교하여 검증하였다.

Ⅱ. 시스템 구성

2-1 하드웨어 구성

본 논문에서 사용된 장치로는 차량, 자이로, 차량의 트랜스미션과 연결하는 속도계, 그리고 저가형의 GPS 수신기로 구성되어 있다. 기존 시스템의 특성은 관성항법장치에 주안점을 두기 때문에 GPS의 기능은 관성항법장치를 보조하기 위한 것으로서 사용하고 있다. 따라서, GPS 수신기의 선택이 제한적으로 사용되었다.

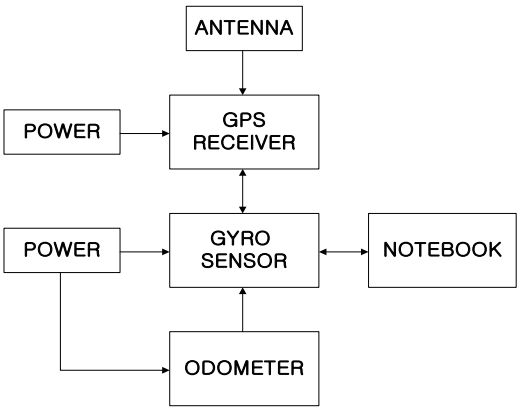

그림 1. 하드웨어 인터페이스
Fig. 1. Hardware Interface

그러나 본 논문에서는 GPS 수신기의 제한성을 없애기 위해 NMEA 형식을 사용하였고, 하드웨어를 다음과 같이 구성하였다. 하드웨어의 연결 방식은 자이로가 중심으로서 GPS와 속도계는 자이로를 통해 랩탑 컴퓨터로 연결된다. 따라서 사용 목적에 따라 다양한 GPS 수신기를 접목시킬 수 있는 장점이 있다.

2-2 혼합 시스템 구성

그림 2는 본 논문의 혼합 시스템 구성도이다. 하드웨어에서 나온 원시 데이터를 처리하기 위한 알고리즘 부분은 크게 추측항법의 위치/속도 계산 부분, 좌표변환, 지연/스위칭 모드, 그리고 칼만 필터로 구성된다. 추측 항법의 위치/속도를 계산하기 위해 GPS 정보 중의 방위각과 자이로의 방향각을 합산하여 구한다.

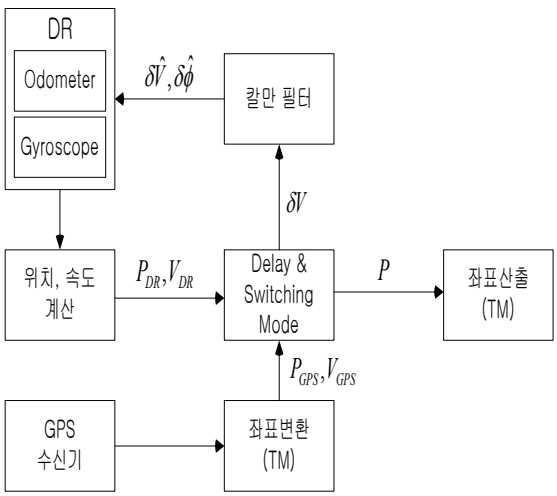

그림 2. 혼합시스템 구성도
Fig. 2. Hybrid System Architecture

좌표변환은 GPS의 위치 정보가 세계측지계 (World Geodetic System 1984) 데이텀의 좌표이므로 추측항법의 좌표계와 맞추기 위해 평면좌표계로 전환하는 부분이다. 지연/스위칭 모드는 신호 두절 근처의 신뢰도가 저하되는 GPS좌표를 자동으로 파악하고 제거하는 방법으로서 GPS 이후의 추측항법

자료 정확도를 향상시키고 DR센서의 오차 보정을 유지시킬 수 있는 부분이다. 그리고 칼만 필터는 속도오차, 센서오차를 상태 변수로 하여 자이로의 방향각 오차를 보상하게 된다.

Ⅲ. 오차 보정 및 제거

3-1 지연/스위칭 모드

일반적으로 GPS와 DR의 통합 방법은 약결합 방식 또는 강결합 방식을 사용하고 있다. 현재 위치 및 속도는 칼만 필터를 적용하여 GPS의 위치와 속도 정보를 이용한 DR의 센서 오차 보정 및 보정된 위치와 속도를 구하게 된다. 이러한 방법은 DR기반의 시스템으로서 GPS의 데이터 품질이 좋지 않은 상태에서는 오히려 DR의 센서 오차 보정이 나빠질 수 있다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서 제시하는 방법은 그림 3에 나타낸 바와 같이 GPS기반의 시스템으로서 DR 시스템은 GPS의 보조 시스템으로서만 작동하도록 고안하였다. 또한 이 시스템은 DR의 센서 오차 보정시 다중경로 오차의 영향이 많이 포함된 GPS 자료의 경우에는 오히려 GPS 보정을 적용하지 않음으로서 다중경로 오차의 영향을 제거하고 정확도를 유지할 수 있는 방법이다.

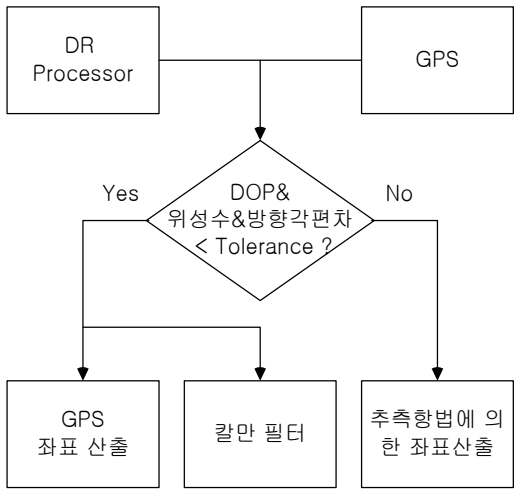

그림 3. DR 기반의 시스템
Fig. 3. DR Based System

3-2 후처리 보정 알고리즘

본 논문에 사용된 통합 시스템의 특징은 GPS의 위성이 4개 미만인 상태에서 추측항법의 센서 오차 보상을 수행할 수 없기 때문에 실시간 측정에서는 오차가 발산하게 된다. 일정 시간이 지난 후의 발산한 측정 데이터는 사용이 불가능하기 때문에 오차의 발산 부분에 대한 보간이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 후처리로서 GPS의 측정 데이터를 이용한 추측항법 데이터의 보간 방법을 제시하였다. 임의의 시점 N에서의 GPS 좌표 (X_N, Y_N)와 추측항법에 의한 좌표 $(\widetilde{X_N}, \widetilde{Y_N})$가 같다고 한다면 다음과 같다.

GPS 좌표와 DR 좌표가 같을 때:

$$\begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widetilde{X}_N \\ \widetilde{Y}_N \end{bmatrix} \tag{1}$$

그러나, N 시점에서 일정 시간이 지난 후인 N+1 시점의 GPS 좌표와 추측항법에 의한 좌표는 다르기 때문에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

GPS 좌표와 DR 좌표가 다를 때:

$$\begin{bmatrix} X_{N+1} \\ Y_{N+1} \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} \widetilde{X}_{N+1} \\ \widetilde{Y}_{N+1} \end{bmatrix} \tag{2}$$

따라서, N 시점과 N+1 시점사이의 임의 시점 K에서의 보간 좌표는 GPS와 추측항법에 의한 좌표와의 차이를 이동 시간만큼 가중치를 두어 K 시점에서의 추측항법 좌표에 보간을 하게 된다.

$$\begin{bmatrix} X_K \\ Y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widetilde{X}_K \\ \widetilde{Y}_K \end{bmatrix} + \frac{K}{M} \begin{bmatrix} X_{N+1} - \widetilde{X}_{N+1} \\ Y_{N+1} - \widetilde{Y}_{N+1} \end{bmatrix} \tag{3}$$

여기서 M은 추측항법에 의한 이동 좌표 개수이다.

추측항법장치는 자체항법으로서 시간이 누적됨에 따라 오차가 누적된다. 본 논문에서는 1축 자이로의 각속도를 보정하기 위하여 GPS의 위치 및 속도 정보를 이용하여 칼만 필터를 구성하였다. 이때 오차 보정은 간접 되먹임 (indirect feedback) 방식으로 필터의 모델을 구성하였다[1,2,3,4].

3-3 차량속도센서의 환산계수

본 논문에 적용된 차속 센서는 차량의 트랜스미션과 연결하여 차량의 속도를 알 수 있는 장치로서 측정되는 차량의 속도는 다음과 같다[4].

$$V = N \cdot S_N \quad (4)$$

V는 차량의 속도이며, N은 차속 센서의 출력 펄스 개수이고, S_N은 환산계수이다. 차량은 속도가 증가함에 따라 바람의 저항을 많이 받기 때문에 차속 센서의 출력 펄스 개수는 등거리 상에서 차량의 평균속도에 비례하여 증가한다. 따라서, 1km 구간에 대해 평균 시속 20km, 40km, 70km로 하여 각각 3회 반복 측정하였다. 그 결과는 그림 4에서 보인 바와 같다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 평균속도와 펄스개수는 선형을 이루고 있으므로 환산계수는 선형식으로 계산할 수 있다.

$$S_N = A \cdot N + B \quad (5)$$

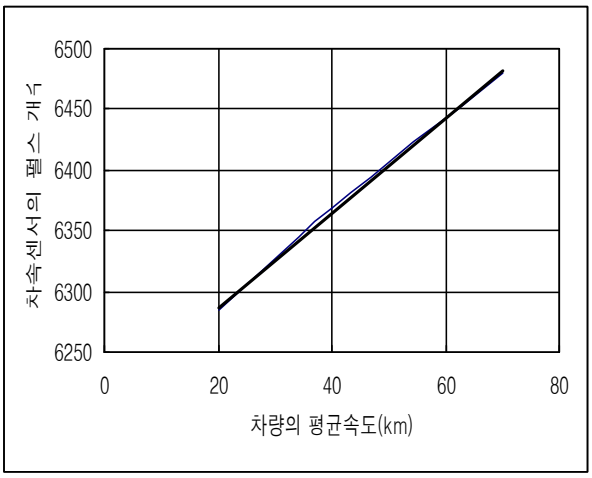

그림 4. 차량속도와 펄스 개수와의 관계
Fig. 4. Relationship between the vehicle speed and the number of pulses

여기서 A는 그림 4의 직선기울기이고 B는 평균속도가 0일때 횡축 값이다.

표 1에서 보이듯이 실제로 측정한 펄스의 개수는 6274개부터 6591개까지이며, 최대 차이에 대해 실제 거리로 환산하면 4.5m이다. 보통, 시내 주행의 경우 차량이 40km/h부터 70km/h까지 운행하는 것을 감안할 때 펄스의 개수는 이들의 평균값을 이용하여 거리환산계수를 산출한다.

표 1. 속도계 펄스 측정 실험 결과
Table 1. Results of Odometer pulse measurements

속도	20km/h	40km/h	70km/h	100km/h
실험 1	6274	6317	6373	6591
실험 2	6285	6358	6368	6566
실험 3	6331	6382	6480	6589
평균	6296	6352	6407	6582

Ⅳ. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 통합 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 차량 시험을 수행하여 결과를 분석하였다. 실험 수행 지역은 대학교의 주변도로 약 5.2km 구간과 4.3km 구간, 서울외곽순환도로의 터널이 있는 구간 약 10km로 정하였다.

4-1 위치정확도 실험 및 분석

그림 5는 GPS에 의한 측정결과와 본 논문의 GPS/DR 혼합 시스템으로 측정한 결과를 보여주고 있다. 실험지역은 가시위성 5개 이상의 비교적 양호한 조건을 갖추었으나, 실험 대상지역의 일부인 대학교 주변에 가로수들이 심어져 있기 때문에 GPS의 결과에서는 다중 경로에 의한 오차 발생과 일부지역의 짧은 구간에 대해서는 위성의 수신 상태가 불량해지는 것을 볼 수 있다. 그러나 GPS/DR 혼합 시스템으로 측정된 결과에서는 GPS의 불량한 수신 상태와 다중 경로에 의한 영향에도 불구하고 추측항법에 의한 안정된 위치정보를 제공하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 GPS와 GPS/DR 혼합 시스템의 전체 비교한 결과를 보여주고 있고, 그림 6은 GPS의 위

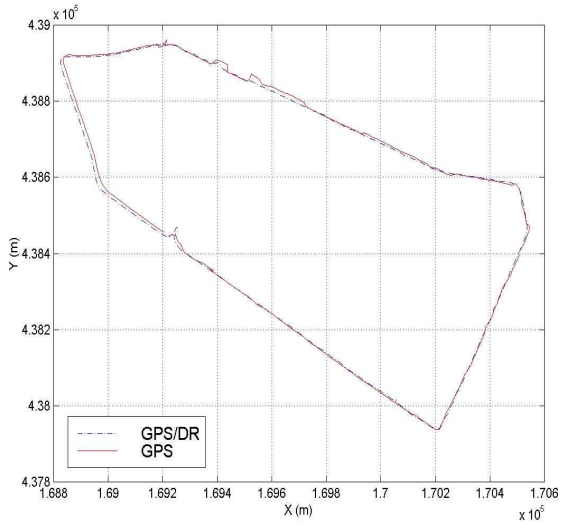

그림 5. 차량주행 궤적
Fig. 5. Vehicle Trajectory

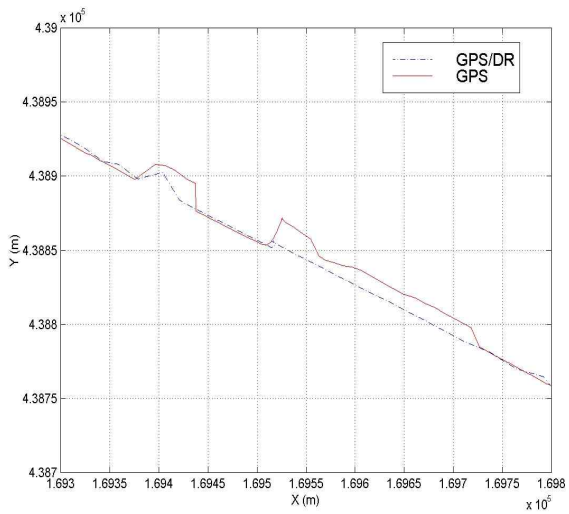

그림 6. GPS 위치오차가 큰 경우의 궤적
Fig. 6. Vehicle Trajectory in case of degraded GPS positioning

치정보가 안 좋은 상태를 확대하여 보여준 결과이다. 또한 그림 7은 1:5,000 수치지도와 중첩한 결과를 보여주고 있다. GPS의 불량한 수신 상태와 다중 경로의 영향으로 인한 DR의 점유 비율은 최대 4.3% 이었고, 평균거리는 4.230km 였으며, 이 경우 최대 위치오차는 5m 미만으로 나타났다.

4-2 후처리 보정 결과 분석

그림 8은 GPS/DR 혼합 시스템으로 서울외곽순

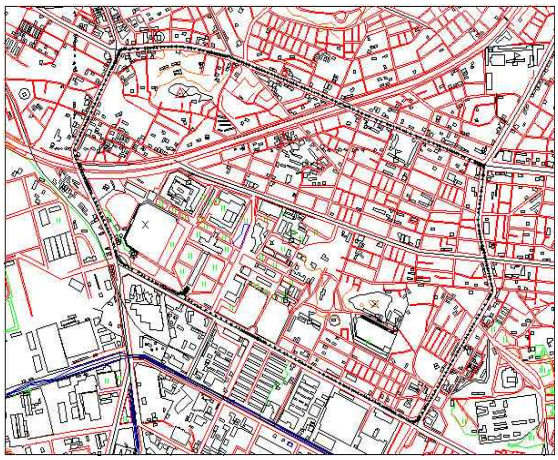

그림 7. 수치지도와의 중첩 궤적
Fig. 7. Vehicle Trajectory with overlay of digital map

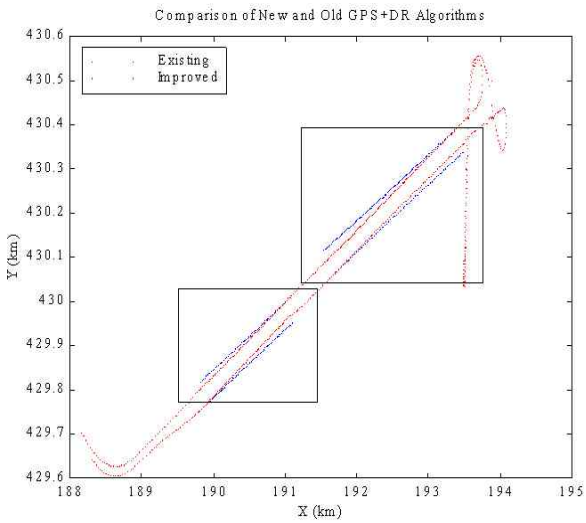

그림 8. 보정 전과 보정 후의 비교
Fig. 8. Comparison between the before and the after correction

환도로를 측량한 결과를 보여주고 있다. 그림 8의 사각형으로 표시된 터널 통과 구간 약 1.3km 와 1.7km 에서는 GPS와 추측항법에 의한 차이가 20m 이상으로 나타났다. 이 차이는 속도에 따른 차속 센서의 펄스 측정 오차, 자이로의 방향각 오차에 기인하지만, 무엇보

다도 GPS의 진북에 대한 오차 때문에 결과적으로 거리에 비례하여 누적오차의 양도 증가하는 것으로 해석된다. 따라서 오차가 크게 나타나는 지역의 좌표값을 3-2절에 기술된 알고리즘을 통하여 보정하였다.

이 알고리즘은 모든 실시간 측량이 끝난 후 저장 데이터를 이용하여 보정하는 것으로서 실시간 항법 시스템에는 적용하기 어려우나 도로의 선형측량과 같이 자료의 후처리가 허용되는 시스템에서 매우 유용하다. 이 알고리즘은 DR 시스템이 갖고 있는 누적오차를 제거하기 위해 고안되었으며 본 시스템에 설정된 초기값을 속도에 따른 속도계의 펄스 측정 오차, 자이로에 대한 방향각과 GPS의 진북에 대한 오차 등의 추이를 종합적으로 거리에 비례하여 예측한 다음, 설정값을 보정하는 것이다.

이 알고리즘의 특징은 한 지점의 위치를 얻기 위해 GPS와 DR 시스템에서 동시에 그 지점의 위치를 구하여 각각 저장하고 있는 것이다. 이는 GPS의 신호가 불량한 상태에서 두절되었을 때 이전에 구한 위치 이력 (Positioning History)으로부터 DR 시스템으로 전환되기 때문에 위치오차에 대한 확산을 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 GPS의 신호가 불량한 상태에서 DR 시스템으로 운행하는 도중에 신뢰성이 떨어지는 GPS 위치가 결정되더라도 이를 무시하고 DR 시스템을 계속 유지함으로써 특이점 발생을 억제하는 효과가 있다. 따라서 이 알고리즘은 선형측량에 유리하며 위성의 신호 단절이 빈번하게 발생하는 산림지역 및 도심 지역에서 장점이 발휘될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 저가형의 GPS와 DR을 통합하는 방법과 GPS의 다중 경로 감지 및 제거 방법, 칼만 필터의 적용과 후처리 보정 방법을 제시하고 개발하였다. 기존의 통합 방법과는 달리 새로운 방법을 적용을 함으로써 요구하는 정확도에 따른 GPS를 선택 가능하게 되었고, GPS의 다중 경로를 감지하여 보정 및 위치 좌표 산출에 적용하지 않음으로서 정확도를 유지할 수 있었다. 또한 추측항법의 단점인 누적오차를 후처리로 보정함으로서 항법이 아닌 측량 부분에도 적용이 가능하게 되었다.

참 고 문 헌

[1] Parkinson, B. W., Spilker, J., Jr., Axelrad,P., (eds.), Global Positioning System : Theory and Application volume I, II, AIAA Washington, DC, 1996.

[2] J. A. Farrel, M. Barth, The Global Positioning System & Inertial Navigation, McGraw-Hill, 1999

[3] R. G. Brown, Patrick Y. C. Hwang, Introduction to Random Signals an Applied Kalman Filtering, John Wiley & Sons, 1985

[4] 서홍석, 손석보, 성태경, 이상정 , "GPS/DR 통합 칼만 필터 비교", 제 5차 GPS Workshop, 1998.

임 삼 성(林三成)

1988년 2월 : 서울대학교 수학과 (이학사)
1990년 2월 : 서울대학교 수학과 (이학석사)
1995년 12월 : Univ. of Texas 항공우주공학(공학박사)

관심분야 : GPS, Wireless Internet, Satellite Geodesy

조 성 준(趙晟俊)

1999년 2월 : 인하대학교 지리정보공학과(공학사)
2001년 2월 : 인하대학교 지리정보공학과(공학석사)
관심분야 : GPS, DR