위성시계 이상검출을 위한 측정잡음 최소화 기법

Minimization Method of Measurement Noise for Satellite Clock Anomaly Detection

서기열* · 박상현* · 장원석* · 김영기*

Kiyeol Seo, Sanghyun Park, Wonseok Jang, and Youngki Kim

*한국해양과학기술원 GNSS연구센터

GNSS Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST)

요 약

본 논문에서는 현재 운영 중인 DGPS 기준국 환경에서 위성시계 이상 발생시 실시간으로 이상현상을 검출하고 식별하기 위하여, 기준국 수신기의 측정잡음을 최소화하는 기법에 대해 다룬다. 기준국 수신기의 측정잡음을 최소화하기 위하여, 의사거리 측정치에 포함된 오차항목을 제거하여 순수 측정잡음만을 추정한다. 먼저 두 대의 기준국 수신기의 출력을 이용하여 비공통 성분 오차를 제거한 다음, 해당 보정치를 적용하여 측정잡음을 최소화시킨다. 측정잡음 최소화를 기반으로 위성시계 이상발생시 이상신호를 검출하고 이상위성을 식별하여 DGPS 기준국 시스템의 가용성을 증대시키고자 한다.

키워드 : 위성항법보정시스템, 기준국과 감시국, 위성시계 이상, 위성 이상 검출 및 식별, 측정잡음

Abstract

In order to detect and identify the GPS clock anomaly in the Differential GPS real environment, this paper addresses a method for minimizing the measurement noise of reference receivers. It estimates the real measurement noise that removed the uncommon error source from pseudorange measurement to minimize the measurement noise. Based on the output of two reference receivers, it first removes the uncommon errors, then optimizes the measurement noise by applying the correction data. Finally, it detects and identifies the satellite clock anomaly using the minimized measurement noise. The method will increase the availability of current DGPS reference system.

Key Words : Differential GNSS, RSIM, Satellite clock anomaly, SV Detection and Identification, Measurement noise

1. 서 론

현재 우리나라는 국제항로표지협회(IALA)의 권고에 따라 해양기준국 11개소, 내륙기준국 6개소, 감시국 17개소의 DGPS 기준국을 구축하여 운영하고 있다[1]. 위성항법보정시스템(DGPS)은 이미 알고 있는 기준점에 기준국용 GPS 수신기를 설치하여 정밀하게 측정된 자신의 위치와 GPS 위성 신호를 받아 수신기로 계산된 위치를 비교하여 오차를 계산한다. DGPS 기준국 시스템은 보정정보를 생성하고 전송하기 위한 기준국(Reference Station)과 보정정보

의 무결성을 감시하기 위한 무결성 감시국(Integrity Monitor), 그리고 기준국과 감시국의 제어 및 운영을 위한 제어국(Control Station)으로 구성되어 있다. DGPS 기준국에서는 추적 위성수, 최대 보정치, UDRE(User Differential Range Error), 보정나이, 의사거리 잔차, 절대위치오차의 무결성 감시를 수행하고 있다[2]. 한편 NANU(Notice Advisory to Navstar Users) 공지 분석 통계를 살펴보면 [3], GPS 위성 이상 발생 건수가 매년 수차례 발생하고 있지만, DGPS 기준국 차원에서의 적절한 대응이 아직까지 부족한 실정이므로 이를 보완하기 위한 연구가 필요하다. DGPS 무결성 감시 기능 개선을 위한 기존 연구를 살펴보면 항공항법을 위한 연구가 주를 이루고 있으며, 해양항법을 위한 무결성 감시 개선을 목적으로 위성이상 발생시 기준국의 무결성 감시 기능의 한계를 분석한 연구가 있었다 [4]. 또한 항공분야에서 정의된 무결성 감시 기법을 해양용 DGPS 기준국 무결성 감시에 적용하기 위한 가능성을 제시하였으나 국제표준의 측위정확도 및 무결성 수준을 충족시키는지에 대한 성능시험 결과를 제시하지 못하였다. 이를 해결하고자 GNSS 서비스 중단 및 고장을 검출하고 그 원인을 식별하여 신뢰할 수 있는 GNSS 측위체계의 확보를 위하여, 의사거리 기반 위성시계 이상검출 및 식별 기법 [5][6]에 관한 연구를 수행하였으나 단순 시뮬레이션 기반

접수일자: 2013년 8월 18일

심사(수정)일자: 2013년 12월 13일

게재확정일자: 2013년 12월 16일

† Corresponding author

본 연구는 국토해양부 사업인 “DGNSS 보정서비스 신뢰성 기술개발(PMS2510)” 과제의 지원으로 수행되었습니다. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연구결과를 도출하고 있으며, 실제 실시간 기준국 운영 환경에서의 성능시험 결과를 제시하지 못한 아쉬움이 있다. 실시간 운영시 위성셋이 변화되는 시점에서 비공통성분 오차인 이온층 지연과 대류층 지연, 수신기 시계오차 및 측정 잡음의 변화가 증가하여 이상신호를 검출하지 못하는 상황도 발생하였다. 즉 의사거리에 포함된 측정잡음에 대한 정확한 추정한계로 인하여 제한한 알고리즘이 이상 검출 및 식별에 한계를 나타내었다. 그러므로 본 논문에서는 실제 기준국 환경 및 실시간 운영에서의 위성시계 이상검출 및 식별기법을 효율적으로 적용하기 위한 측정잡음 최적화 기법을 제안한다. DGPS 기준국 수신기는 이중화를 목적으로 2대 이상의 수신기를 운용하고 있으므로 한 대의 수신기에서 출력되는 원시정보를 기반으로 비공통성분 오차를 추정하고, 추정한 오차성분을 또 다른 수신기에 적용하여 측정잡음을 최소화시킨 후 이상 검출 및 식별 알고리즘을 적용하여 그 효율성을 살펴보고자 한다.

2. 위성시계 이상에 의한 기준국 영향

2.1 위성 이상 사례 분석

2011년 현재 미국은 32기의 GPS 위성을 운영 중이며, NANU 공지[3] 분석 통계를 살펴보면, GPS 위성 이상 발생 건수가 2000년부터 2007년까지 최소 13건에서 최대 18건까지 발생하고 있으며, 2008년 이후에는 GPS BLOCK II 위성대체 완료로 3~5건으로 위성 이상이 발생하고 있다. 그림 2는 GPS 위성 이상현상 발생 건수를 나타낸다. GPS 위성이상 현상은 위성신호 결합기 결합, 신호 스펙트럼 이상, 송출신호 전력 이상, PRN 코드 이상, 위성시계 이상, 위성의 잘못된 궤도 운행 등을 들 수 있다. 이 중 위성시계와 궤도 이상이 가장 큰 빈도를 나타내고 있으며, 사용자에게는 의사거리 오차 증가의 원인이 된다.

그림 1. GPS 위성 이상현상 발생 건수
Fig. 1. The number of GPS anomalies.

2.2 위성시계 이상에 의한 기준국 영향

2004년 1월 1일 PRN 23 위성의 위성시계 고장[7]이 발생하여 기준국의 보정정보 제공 서비스를 할 수 없을 정도의 문제가 발생하였다. 그림 2는 실제 위성시계 이상사례를 나타낸 것으로 PRN 23 위성시계 이상이 다른 모든 PRN에 영향을 주어 보정정보(PRC) 오차가 크게 증가함을 확인 할 수 있다[4][5]. 위성시계 고장은 18시 30분에 시작하여 21시 18분까지 계속되었다. 기준국에서의 PRC 알람은 고장발생 시점에서 5분 후에 발

생하였으나 추적 중인 모든 위성의 PRC 이상으로 기준국 보정서비스가 불가한 상태였다. 21시 18분에 GPS 마스터국에서 해당 PRN 23번의 이상정보를 사용자에게 공지한 후에 기준국의 보정정보 서비스가 정상화 되었다. 그러므로 위성시계 이상은 기준국의 보정정보 생성 및 무결성 감시 기능에 영향을 주어 기준국 기능의 수행한계를 나타낼 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 2. 위성시계 이상사례 분석
Fig. 2. SV error analysis at 01/01/2004.

3. DGPS 기준국 무결성 감시 기능 한계

3.1 DGPS 기준국 시스템 구성

위성항법보정시스템(DGPS)은 이미 알고 있는 기준점에 기준국용 GPS 수신기를 설치하여 정밀하게 측정된 자신의 위치와 GPS 위성 신호를 받아 수신기로 계산된 위치를 비교하여 오차를 계산한다. DGPS 기준국 시스템은 그림 3에 나타낸 것처럼, 기준국(RS), 감시국(IM), 그리고 제어국(CS)으로 구성되고, 사용자에게 보정정보를 송신하기 위한 변조기와 송신기 시스템으로 구성되어 있다[2]. 먼저 기준국 시스템은 의사거리 보정정보(Pseudorange correction)를 계산하여 RTCM 국제표준 포맷[8]에 맞게 변환한 다음, MSK 변조기 및 송신기를 통해 사용자에게 방송한다.

그림 3. DGPS 기준국 아키텍처
Fig. 3. DGPS RSIM architecture.

무결성 감시국(IM)에서는 기준국(RS)에서 보내온 RTCM 정보를 수신하여 보정정보의 무결성을 감시한다. 감시결과를 피드백 메시지를 이용하여 기준국과 제어국에 상시 전송하며, 이상이 발생할 경우 이상플래그를 전달하여 사용자가 해당 보정정보를 사용하지 않도록 조치를 취한다. 그리고 제어국(CS)은 기준국(RS)과 감시국(IM), 송신국의 시스템 상태를 RSIM 국제표준 포맷에 따라 운영제어 및 모니터링 기능을 수행한다.

3.2 무결성 감시 프로세스

DGPS 기준국에서 무결성을 감시하는 과정은 그림 4와 같다[2]. 감시국 수신기에서 의사거리 측정정보를 기반으로 기준국으로부터 수신한 의사거리 보정정보(PRC)를 적용한 다음, 보정나이를 계산하고, 기준위치와의 오차비교를 통한 감시, 의사거리 잔차를 통한 감시를 수행한다. 보정정보의 나이와 의사거리 잔차, 그리고 절대위치 오차가 허용치를 벗어나면 피드백 메시지의 플래그에 이상 플래그를 적용하여 기준국과 제어국에 전송한다. 이때 이상 플래그를 지닌 메시지를 수신한 기준국은 보정정보를 생성할 때 해당 위성의 보정정보를 사용하지 말라는 코드를 삽입하여 사용자에게 전송한다.

그림 4. 무결성 감시 프로세스
Fig. 4. Integrity monitor process.

무결성 감시를 위하여 DGPS 시스템은 표 1과 같이 최대 의사거리 보정치(PRC), 의사거리 보정치의 변화량(RRC), RSIM 피드백 메시지, UDRE, 보정나이(Correction age), 의사거리 잔차 및 변화율(PR/RR residual), 절대위치 오차(Position error) 값을 기준으로 무결성 여부를 검사한다.

표 1. 무결성 감시 파라미터
Table 1. Integrity monitor parameters

Parameters	Threshold	System
The No. of SVs	4 SVs	RS/IM
Max. PRC	100m	RS
Min. RRC	4m/s	RS
IM feedback	12s	RS
Correction age	30s	IM
PR residual	5m	IM
RR residual	0.5m/s	IM
Absolute position error	10m	IM

3.3 무결성 감시 기능의 한계 분석

특정 위성(PRN23)의 위성시계 고장이 전체위성에 영향을 주는 이유를 살펴보면, 먼저 위성고장 및 이상이 발생할 경우 전체 가시위성의 가용성이 저하된다. 특히 DGPS 보정정보 생성시 DGPS 기준국 수신기의 시계 오차성분을 제거하기 위하여 보정정보의 공통오차 성분을 추정하면서 고장위성의 오차를 정상 위성의 오차로 오인한 것이다. 식(1)은 기준국에서 보정정보 생성을 위한 수식을 나타낸다[4][5]. 수신기 클럭 바이어스 제거 단계에서 공통성분 바이어스 제거를 위한 평균 계산시 문제의 PRN을 포함하여 계산하기 때문이다. 그러므로 이와 같은 문제는 수신기 클럭 바이어스 제거 단계 이전에 이상 PRN을 제거함으로써 해결이 가능하다. 이를 위해서는 보정정보 생성단계에서 이상 위성을 검출하고 식별하여 제거하기 위한 기법이 고려되었다.

$$PRC(k) = PRC^s(k)_{smooth} - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N PRC^j(k)_{smooth} \quad (1)$$

4. 위성시계 이상 검출 및 식별 기법

4.1 검출 및 식별 기법

위성시계 이상으로 인한 기준국 무결성 감시 기능의 한계를 극복하기 위하여, 위성시계 이상현상을 검출하고 또한 이상위성을 식별하기 위한 기법을 적용하였다. 먼저 단일 기준국에서의 위성시계 오차 이상현상을 검출 및 식별하기 위하여 다음과 같은 조건을 고려하였다. 위성별 의사거리 원시정보(Pseudorange) 계산은 식(2)를 이용하였다[6].

$$PR = R + I_d + T_d - c(B - b) + w \quad (2)$$

PR : 의사거리 측정치

R : 수신기와 위성까지의 추정 거리

I_d : 이온층 지연

T_d : 대류층 지연

cB : 위성시계 오차

cb : 수신기시계 오차

w : 측정잡음

다음으로 위성으로부터 전달받은 항법메시지 및 이주파원시정보를 이용하여, 식(2)를 기반으로하는 수신시계 오차 추정 연산식을 이용하였다.

$$g = PR - (R + I_d + T_d - cB) = -cb + w \quad (3)$$

위성시계 이상위성은 1개라고 가정하였으며, 이를 기반으로 위성시계 고장발생 검출파라미터(B_{FD})를 이용하여 고장발생 유무를 판정하였다. 그리고 고장발생이 확인되면 위성별 고장식별 파라미터(B_{FI})를 이용하여 고장위성을 식별할 수 있도록 구성하였다. 그림 5는 위성 이상 검출 및 식별을 위한 순서도를 나타낸다[5].

그림 5. 위성이상 검출 및 식별 순서도
Fig. 5. Flowchart for SV anomaly detection and identification.

4.2 검출 및 식별 기법의 실시간 적용 한계

그림 5와 같은 위성이상 검출 및 식별 알고리즘을 실시간 환경에서 적용해 보면 측정잡음의 크기가 그림 6과 같이 수미터에 이르는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 7과 그림 8은 위성이상 검출 파라미터(B_{FD})와 이상위성 식별 파라미터(B_{FI})의 실험결과로서 결과치가 상당히 불안정 함을 확인할 수 있다. 이러한 결과 데이터의 편차 크기 및 불안정 요소는 DGPS 기준국의 실시간 운영 환경에서 위성시계 이상을 검출하고 식별하는데 시간적, 성능적 한계가 있을 수 있다.

그림 6. 측정잡음 결과
Fig. 6. Result of measurement noise with receiver clock.

그림 7. 위성 이상 검출 파라미터(B_{FD}) 결과
Fig. 7. SV anomaly detection parameter (B_{FD}).

그림 8. 이상위성 식별 파라미터(B_{FI}) 결과
Fig. 8. SV anomaly identification parameter (B_{FI}).

5. 측정잡음 최소화 기법

5.1 측정잡음 최소화 기법

DGPS 기준국 수신기는 이중화를 목적으로 기준국 2대, 감시국 2대, 총 4대의 수신기를 이용하고 있으므로 한 대의 수신기에 출력되는 원시정보를 기반으로 비공통성분 오차를 추정하고, 추정한 오차값을 또 다른 수신기에 적용하여 다음과 같이 2단계에 거쳐 측정잡음을 최소화 시킨 후 그림 5의 이상 검출 및 식별 알고리즘을 적용한다. 단계 1은 기준국 수신기에서 의사거리 보정정보(PRC)를 생성한다. 단계 2는 기준국(RS) 수신기에서 생성한 의사거리 보정정보를 IM 수신기의 의사거리 측정치에 적용하여 측정잡음을 최소화 한다. 이렇게 최소화된 측정잡음을 위성시계 이상 검출 및 식별 알고리즘에 적용하여 이상검출 및 식별 정확도를 높이고 검출 시간을 줄일 수 있다.

단계 1: 기준국 수신기의 보정정보 생성 (side A)

$$PR_A = R_A + T_d + I_d - cSe + cRe_A + w_A \quad (4)$$

$$PRC_A = R_A - (PR_A + cSe_A) + cRe_A + w_A \quad (5)$$

PR_A : 의사거리 (Side A)

R_A : 기준국 수신기와 위성까지의 거리 (Side A)

T_d : 대류층 지연

I_d : 이온층 지연

cSe : 위성시계 오차

cRe_A : 수신기 시계 오차 (Side A)

w_A : 측정잡음 (Side A)

PRC_A : 의사거리 보정정보 (Side A)

단계 2: 수신기 원시정보에 보정정보 반영 (side B)

$$PR_B = R_B + T_d + I_d - cSe_B + cRe_B + w_B \quad (7)$$

$$w_B = PR_B + cSe_B + PRC_A - R_B - cRe_B \quad (8)$$

PR_B : 의사거리 (Side B)

R_B : 기준국 수신기와 위성까지의 거리 (Side B)

T_d : 대류층 지연

I_d : 이온층 지연

cSe : 위성시계 오차

cRe_B : 수신기 시계 오차 (Side B)

w_B : 측정잡음 (Side B)

5.2 실험환경

측정잡음 최소화 기법의 DGPS 기준국 환경에서의 실시간 실험을 위하여 표 2와 같이 실험환경을 구성하였다. 두 대의 기준국 수신기는 노바텔사의 DL-V3를 이용하였고, 두 지점의 기준국 안테나 좌표를 결정하여 실험하였다.

표 2. 실험환경
Table 2. Test environment

	Description
DGPS Reference Receiver	Side A: Novatel DL-V3 Side B: Novatel DL-V3
Reference Position (Side A)	X: -3119456.665 Y: 4085275.427 Z: 3763812.660
Reference Position (Side B)	X: -3119456.231 Y: 4085274.201 Z: 3763814.300

5.3 시스템 구성

측정잡음 최소화 기법 실험을 위한 시스템은 그림 9와 같이 구성하였다. 실제 DGPS 기준국에서 운영 중인 시스템 구성과 같게 하였으며, 수신기의 원시정보를 기반으로 의사거리 보정정보(PRC) 생성 모듈, 측정잡음 최적화 모듈, 그리고 위성시계 이상 및 식별 모듈로 구성하여 실험하였다.

그림 9. 실험 시스템 구성
Fig. 9. System configuration.

5.4 실험결과

측정잡음 최소화 기법을 적용한 실험 결과를 살펴보면 측정잡음 최소화 기법을 적용하기 전의 결과인 그림 6의 1~3m 정도 보다 측정잡음이 $\pm 1m$ 내외로 상당히 최소화되고 안정되었음을 그림 10에서 확인할 수 있다. 또한 이상검출 파라미터(B_{FD}) 결과도 그림 7에 비해 상당히 안정되고 최소화되었음을 그림 11에서 확인할 수 있다. 그리고 위성이상 식별 파라미터(B_{FI})도 그림 8에 비해 안정되고 최소화되었음을 그림 12에서 확인할 수 있다. 본 실험 결과는 위성시계 이상 검출 및 식별 알고리즘 적용을 위한 측정잡음 최소화 기법이 위성이상 검출에 보다 정확하고, 신속한 결과를 제시할 수 있음을 나타낸다. 그러나 위성시계 이상이 하나 이상일 경우 즉,

2개 이상일 경우에는 먼저 위성이상 식별 파라미터(B_{FI}) 값이 가장 큰 위성신호를 제거한 다음, 다시 위성시계 이상 검출 및 식별 파라미터를 계산하여 이상을 나타내는 위성신호를 차례로 제거하는 방법을 취한다면 다중 위성신호 이상도 식별이 가능할 것으로 기대된다.

그림 10. 측정잡음 실험 결과
Fig. 10. Result of measurement noise.

그림 11. 위성 이상 검출 파라미터(B_{FD}) 결과
Fig. 11. Result of B_{FD} .

그림 12. 이상위성 식별 파라미터(B_{FI}) 결과
Fig. 12. Result of B_{FI} .

6. 결 론

본 논문에서는 실제 기준국 환경 및 실시간 운영에서의 위성시계 이상검출 및 식별 알고리즘을 효율적으로 적용하기 위한 기준국 수신기 측정잡음 최소화 기법을 제안하고 그 결과를 제시하였다. DGPS 기준국 수신기는 이중화를 목적으로 2대 이상의 수신기를 운용하고 있으므로 한 대의 수신기에서 출력되는 원시정보를 기반으로 비공통성분 오차를 추정하고, 추정된 오차성분을 다른 수신기의 의사거리 원시정보에 적용하여 측정잡음을 최소화 시킨 후 이상 검출 및 식별 알고리즘을 적용하여 그 효용성을 살펴보았다. 실험결과 수신기 측정잡음 최소화 기법을 적용할 경우 기준국 수신기의 측정잡음과 위성 이상검출 파라미터, 그리고 이상 위성 식별파라미터 결과가 단순 기존 기법 적용에 비해 위성 시계 이상 검출에 보다 정확하고 신속한 결과를 제시할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 상기 실험 결과는 위성 시계 이상이 하나일 경우를 대비한 실험 결과이므로 실제 다중 위성시계 이상일 경우를 위한 알고리즘 적용 및 개선이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] DGNSS Central Office(<http://www.ndgps.go.kr>)
- [2] Radio Technical Commission for Maritime Services (2006), "RTCM Standard 10401.2 for Differential NAVSTAR GPS Reference Stations and Integrity Monitors (RSIM)," *RTCM Paper 221-2006-SC104 -STD*.
- [3] US Coast Guard (USCG) Navigation Center(<http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationstatus>)
- [4] K.Y. Seo, S.H. Park, H.C. Jeong, and S.H. Suh, "Analysis on the Limitation of Integrity Monitoring Functions for Maritime DGPS," *Proceedings of International GNSS*, 2009.
- [5] K.Y. Seo and S.H. Park, "Detection and Identification Methods of Satellite Anomalies for Maritime DGPS RSIM," *Proceedings of European Navigation Conference (ENC)*, 2011.
- [6] S.H. Park, K.Y. Seo, D.J. Cho, and S.H. Suh, "AParity Space Approach for Satellite Anomaly Monitoring of Maritime DGPS," *Proceedings of the Institute of Navigation (ION)*, 2011.
- [7] Anne-Laure Vogel, Christophe Macabiau, and Norbert Suard, "Effect of a GPS Anomaly on Different GNSS Receivers," *ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division*, 13-16 September 2005, Long Beach, CA.
- [8] Radio Technical Commission for Maritime Services (2001), "RTCM Recommended Standards for Differential GNSS Version 2.3," *RTCM Paper 136-2001/SC104-STD*.

저 자 소 개

서기열(Kiyeol Seo)

1995년 : 동신대학교 전자공학과 공학사
1998년 : 동 대학원 제어계측전공 공학석사
2003년 : 목포해양대학교 대학원
해사정보계측전공 공학박사
2006년~현재 : 한국해양과학기술원
선임연구원

관심분야 : 위성항법보정, 해양전파항법, 지능기법 및 응용
Phone : +82-42-866-3684
E-mail : kyseo@kiost.ac

박상현(Sanghyun Park)

1994년 : 충남대학교 전자공학과 공학사
1996년 : 동 대학원 제어전공 공학석사
2002년 : 동 대학원 제어전공 공학박사
2005년~현재 : 한국해양과학기술원
책임연구원

관심분야 : 해양전파항법, 정밀측위, 지능기법 및 응용
Phone : +82-42-866-3681
E-mail : spark@kiost.ac

장원석(Wonseok Jang)

2004년 : 인제대학교 컴퓨터공학과 공학사
2012년 : 충남대학교 컴퓨터공학과
공학석사
2007년~현재 : 한국해양과학기술원
연구원

관심분야 : 위성항법보정, 지능제어시스템, 컴퓨터 공학
Phone : +82-42-866-3693
E-mail : cws0714@kiost.ac

김영기(Youngki Kim)

2004년 : 목포해양대학교
해상운송시스템학과 공학사
2011년 : 목포해양대학교 대학원
해양정보시스템학전공 공학석사
2011년~현재 : 한국해양과학기술원
연구원

관심분야 : GNSS, 지능시스템, 해양정보시스템
Phone : +82-42-866-3676
E-mail : ykkimkorean@kiost.ac