

차량위치추적 시스템을 위한 다중 기준국 Inverted DGPS 시스템

Multi-Reference Inverted DGPS System for Automatic Vehicle Location System

홍진석, 한승재, 지규인, 이영재, 이장규, 최홍석

(Jin Seok Hong, Seung-Jae Han, Gyu-In Jee, Young Jae Lee, Jang Gyu Lee, and Hong Seok Choi)

Abstract : For its simplicity and cost effectiveness in implementation, the Inverted DGPS is well suited for some specific applications like automatic vehicle location systems, where the monitoring station needs accurate position of the vehicles in the street. In the Inverted DGPS, the user sends its GPS position and associated satellite informations to the reference station, and the corrections are made at the reference station to get differentially corrected user position. A fundamental requirement in IDGPS is that the user and the reference station must use the same satellites when the corrections are made. But in practice, it is not often satisfied. Inverted DGPS is also suffered from performance degradation as the baseline become large like DGPS. IDGPS system using multi-reference station can resolve this problem. In this paper a simple multi-reference IDGPS algorithm is proposed and some experiments and analysis are performed. Experiment results show that IDGPS can achieve the positioning performance as accurate as the DGPS can provide.

Keywords : DGPS, inverted DGPS, multi-reference station, automatic vehicle location system

I. 서론

오늘날 GPS(Global Positioning System)는 많은 분야에서 사용되고 있다. 민간이 사용할 수 있는 GPS는 수평면에서 100 m가량의 오차를 가지고 있다. 이러한 정확도로는 일반적으로 차량항법 등에서 요구되는 10m이 내의 오차를 만족시킬 수 없으므로 보다 정확한 위치정확도를 얻기 위하여 Differential GPS(DGPS) 기법을 이용한다. DGPS기법을 적용하기 위해서는 기준국이 필요하며 기준국에서는 사용자에게 전파를 전송할 수 있는 시스템을 구축하여 DGPS를 위한 보정신호를 방송해야 한다. 사용자는 기준국에서 방송해 주는 보정신호를 수신할 수 있는 통신장비와 DGPS 기능을 가지고 있는 수신기를 사용하여 보다 정확한 자신의 위치정보를 얻을 수 있다.

택시나 트럭 또는 화물등에서 사용되는 차량관제 시스템등에서는, 사실상 택시 기사나 트럭 기사는 자신의 정확한 위치를 알 필요가 없으며 관제국에서 차량의 정확한 위치를 알아야 한다. 이런 경우 차량과 관제국 사이에 차량위치 및 관제정보를 주고 받기위하여 이미 설치된 통신채널에 부가적으로 차량의 위치계산을 할 때 사용되었던 GPS 위성(active satellite set)의 번호만을 추가하여 기준국으로 보내주면, DGPS 보정신호를 기준

국에서 사용자로 전송하기 위한 별도의 통신채널을 사용하지 않고도 정확한 사용자의 위치를 구할 수 있다.

이와같이 사용자에서 보내준 정보를 사용하여 기준국에서 사용자의 위치를 보정하는 방식을 Inverted DGPS라 한다[1]-[3]

Inverted DGPS는 특정한 조건을 만족하는 경우 DGPS와 거의 비슷한 성능을 갖는다[1]. Inverted DGPS가 사용되기 위해서는 한가지 전제조건이 있는데 이것은 사용자가 자신의 위치를 계산할 때 사용하였던 위성과 기준국에서 사용자의 위치를 보정할 때 사용하는 위성들이 반드시 일치하여야 한다는 것이다. 즉, 사용자가 위치해에 사용한 위성을 기준국이 가지고 있지 않으면 이 경우 Inverted DGPS에 의한 보정은 효용성이 없게 된다. DGPS 경우에는 이럴 때 부분적 보정을 사용하여 위치보정을 할 수 있다. 이것이 실제 상황에서 사용될 때, DGPS에 비해 Inverted DGPS가 갖게되는 문제점이 된다.

DGPS의 경우 기준국과 사용자 사이의 기선길이(baseline)가 길수록 보정효과가 줄어들어 위치정확도가 감소하게되며, 이를 해결하기 위한 방법으로 다수의 기준국을 사용하여 보정을 함으로써 기선길이에 따른 위치 측정 정확도 감소문제를 해결할 수 있다[4]. Inverted DGPS의 경우도 다중 기준국을 사용하여 기선길이에 따른 위치정확도 감소문제를 해결할 수 있다. 또한 다수의 기준국에서 보이는 위성정보를 모두 사용할 수 있으므로 사용자가 볼 수 있는 위성을 기준국에서도 모두 볼 수 있는 가능성이 더욱 높아진다.

본 논문에서는 다중기준국을 이용한 Inverted DGPS 방법을 제안하고 실험을 통하여 시스템의 성능을 분석한다.

접수일자 : 1997. 12. 29., 수정완료 : 1998. 10. 7.

홍진석, 지규인 : 건국대학교 전자정보통신공학과

한승재 : 기룡전자

이영재 : 건국대학교 항공우주 공학과

이장규 : 서울대학교 전기공학부 및 자동제어특화연구센터

최홍석 : 한국통신 무선통신 연구소

※ 본 논문은 한국통신 '97 정보통신기초연구과제의 지원으로 연구되었습니다.

II. Inverted DGPS 알고리즘

Inverted DGPS는 사용자의 위치를 관제하기 위한 최소한의 통신량으로 관제하기 위해 보정방법에 있어서 항법해 보정방법을 취하고 있다. 하지만 이 방법은 DGPS에서 말하는 단순한 항법해 보정을 말하지 않는다. 일반적으로 항법해 보정이라 함은 기준국에서 4개 이상의 위성으로 가지고 계산한 항법해와 그 기준국의 실제 위치와 차이를 보정치로 하여 사용자에게 보내어 사용자는 자신이 구한 위치에 기준국에서 보내준 보정치를 바로 보정해 주는 방식이다. 그러나 이 방법은 많은 문제를 내포하고 있다. 그것은 바로 사용 위성의 일치 문제이다. 이 방식은 기준국과 사용자의 사용 위성은 같다는 전제 하에서 사용되어야 한다. 기준국과 사용자의 사용 위성은 보통 다르며 기준국의 위성이 사용자의 위성을 포함한다. 따라서 일반적으로 사용 위성이 같다는 전제를 항상 만족시킬수가 없으므로 DGPS에서는 이 방법을 거의 사용할 수가 없다.

Inverted DGPS는 DGPS와 전송방향이 반대이므로 이 방법의 사용이 용이하다. 사용자 측에서 기준국으로 항법해와 그때 그 해를 구하기 위해 사용한 위성의 번호들을 기준국에게 전송한다. 그럼 기준국에서는 사용자가 사용한 위성들만을 가지고 보정치를 구하여 사용자의 항법해를 보정한다. 이와 같은 이유로 Inverted DGPS 경우에는 사용 위성 일치라는 대 전제를 쉽게 만족시킬수 있다.

그림 1은 기준국에게 전송할 사용자의 데이터 포맷이다.

시작 문자	GPS 시간	위도	경도	고도	위성 개수	prml	...	prn 12	종결 문자
----------	-----------	----	----	----	----------	------	-----	-----------	----------

Ex) KK 276980 37.53867454 127.08080771 38.916 8 17
2 23 5 21 9 26 1 0 0 0 0 EE

그림 1. 사용자 데이터 포맷.

Fig. 1. The format of the user data.

기준국에서는 우선 DGPS 기준국의 기능을 수행하여 RTCM에 의한 의사거리보정항을 계산하여야 한다. 기준국의 DGPS기준국용 수신기를 사용할 수 있고 또는 일반 GPS수신기를 사용하여 보정정보를 계산할 수도 있다. 의사거리 보정항이 계산되면 이를 이용하여 사용자의 위치를 보정하는 계산을 수행한다. 항법해 보정 알고리즘은 그림 2와 같다.

PRC는 RTCM으로부터 구하고 사용자와 위성사이의 시선벡터로 구성되는 H matrix는 위성궤도 정보와 사용자가 보내준 위치정보로부터 계산한다. 시간에 따라 달라지게 되는 PRC는 다음과 같이 계산된다.

$$PRC_i(t) = PRC_i(t_0) + RRC_i(t_0)(t - t_0) \quad (1)$$

이때 t_0 는 RTCM이 생성된 순간의 시간, t 는 PRC를 계산하여 보정할 순간의 시간을 나타낸다.

항법해 보정 방법은 사용자의 해에 보정치만을 더하

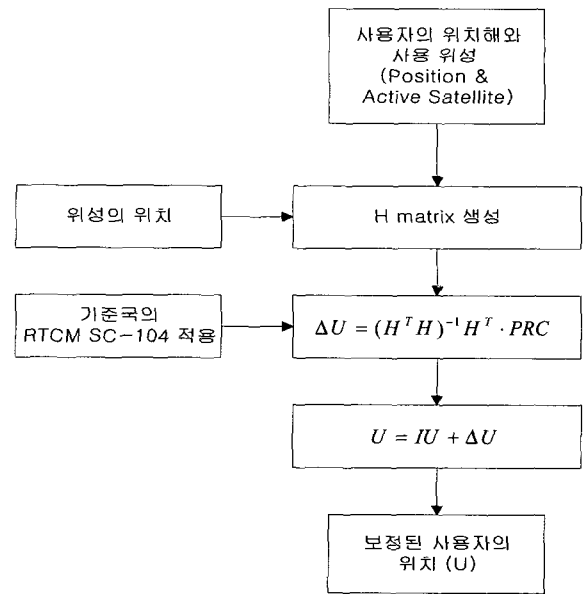


그림 2. 항법해 보정 알고리즘.

Fig. 2. Navigation solution correction algorithm.

는 방식이므로 계산이 간단하고 한번에 보정치를 구할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 사용자 수신기에서 NMEA(National Marine Electronics Association) 형식으로 보내는 항법해를 사용하기 때문에 사용자 수신기 내부 알고리즘에서 smoothing을 위한 필터링을 할 경우 어떤 필터를 이용했는지 알 수 없으므로 보정에 있어 오히려 오차로 작용할 수 있다. 그러나 수신기가 필터링을 하지 않은 최소자승법의 위치해를 제공한다면 이런 오차를 없앨 수 있다.

III. 다중 기준국을 이용한 Inverted DGPS 알고리즘

일반적인 DGPS시스템과 같이 Inverted DGPS도 다중 기준국 시스템을 구축하여 시스템의 성능향상을 기대할 수 있다.

다중 기준국을 사용할 경우 단일 기준국과 비교하여 장점을 크게 3가지 정도 생각해 볼 수 있다.

첫째로 넓은 지역에서 효율적인 사용이 가능하다. 한국의 경우 서울, 동해, 광주, 부산 등의 위치에 DGPS 기준국을 설치하여 운영하면 한국전역을 서비스할 수 있다.

둘째로 사용자에게서 보이는 위성의 개수가 기준국보다 많을 때 보정 효과가 떨어지는 점을 극복할 수 있다. Inverted DGPS는 사용자 측에서 자신에게 보이는 위성들로 항법해를 구했으므로 기준국측에서 사용자의 위성들을 모두 관측하지 못하면 보정의 효용성이 없어진다. DGPS의 경우는 부분적인 보정을 사용할 수 있지만 Inverted DGPS의 경우는 특성상 부분적인 보정이 불가능하다. 하지만 이런 경우 다중 기준국을 사용했을 때 사용자의 위성이 모든 기준국 보다 많게 되는 경우는 극히 드물기 때문에 다중 기준국을 사용하여 이와 같은 문제를 해결할 수 있다. 실제 실험에서도 단일 기준국일 경우 정점 실험에서 보정 못하는 경우가 발생하였지만 다중 기준국을 사용했을 경우는 보정 못한 경우가 발생

하지 않았다.

셋째로, 오차를 감소시켜 보정 성능의 향상을 가져올 수 있다. 단순한 평균 방법만을 적용하여도 일반적 측정 잡음의 평균은 0이 됨으로 오차가 많이 감소한다. 이럴 경우 기준국수가 증가할수록 좋다. 사용자와 기준국과의 거리가 멀면 평균 방법보다는 편미분 알고리즘(partial derivative algorithm)을 사용하여 오차를 줄일 수 있다. 이밖에 다중 기준국 알고리즘으로 사용되는 최소공분산 알고리즘(minimum variance algorithm), 칼만필터(Kalman filtering)등을 그대로 사용할 수 있다.

다중 기준국 알고리즘은 기본적으로 (2)과 같이 각 단일 기준국에서 보정한 항법해 오차들의 가중치합으로 이루어진다. 그러므로 DGPS에서는 가중치 결정이 중요한 요소이다.

$$P = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot p_i \quad (2)$$

여기서,

P : 다중 기준국으로 보정한 항법해

p_i : 단일 기준국으로 보정한 항법해

ω_i : 가중치

를 각각 나타낸다.

가중치 결정하는 방법으로는 최소 공분산 알고리즘(minimum variance algorithm), 칼만필터(Kalman filtering), 산술 평균등이 있다. Inverted DGPS는 가중치 결정보다는 기준국이 가지고 있지 않은 위성을 사용자가 가지고 있을때의 처리가 더욱 중요하기 때문에 가중치 결정에 있어서는 단순한 산술 평균 방법을 사용하였다.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3)$$

$$w_i = \frac{1}{n} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

기준국의 개수를 n 이라고 할 때 가중치는 $1/n$ 로 산술 평균적인 가중치를 갖는다.

IV. DGPS와 Inverted DGPS의 비교

1. DGPS와 Inverted DGPS의 보정방법 비교

DGPS와 Inverted DGPS의 차이중 하나가 바로 전리층(ionosphere), 대류권(troposphere) 보정이다. DGPS는 일반적으로 전리층, 대류권 보정에 있어서 기준국과 사용자의 오차를 동일시 본다. 즉 기준국에서 생성한 보정치를 사용자가 그대로 사용하여 보정하는 방식이다. 그러나 Inverted DGPS에서는 사용자의 전리층, 대류권 보정은 사용자 수신기에서 이루어진다.

기준국과 사용자에서의 실제거리는 (5)과 (6)같이 나타낼 수 있다.

$$R_r = PR_r + S/A_r + ION_r + TROP_r \quad (5)$$

$$R_u = PR_u + S/A_u + ION_u + TROP_u \quad (6)$$

여기서,

R : geometric range

$$\sqrt{(X_s - X_u)^2 + (Y_s - Y_u)^2 + (Z_s - Z_u)^2}$$

PR : 의사거리(pseudo range)

S/A : selective availability

ION : 전리층 보정항(ionospheric correction)

$TROP$: 대류권 보정항(tropospheric correction)

를 각각 나타낸다.

다중경로(multipath)와 수신기 고유 오차는 고려하지 않고 오차의 주요 원인인 S/A , 전리층, 대류권 오차만을 고려하였다.

$$\Delta PR_r = R_r - PR_r = S/A_r + ION_r + TROP_r \quad (7)$$

기준국에서 만든 보정치는 (7)과 같다.

DGPS에서는 기준국에서 생성한 보정치를 그대로 사용한다.

$$\begin{aligned} PR_{cor,u} &= PR_u + \Delta PR_r \\ &= PR_u + S/A_r + ION_r + TROP_r \\ &= (R_u - S/A_u - ION_u - TROP_u) \\ &\quad + S/A_r + ION_r + TROP_r \end{aligned} \quad (8)$$

(8)은 DGPS에 의해서 보정된 사용자의 의사거리이다. 이 방법에 의해서 생기는 거리오차는 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} &| R_u - PR_{cor,u} | \\ &= | (S/A_u - S/A_r) + (ION_u - ION_r) + (TROP_u \\ &\quad - TROP_r) | = | (ION_u - ION_r) \\ &\quad + (TROP_u - TROP_r) | \end{aligned} \quad (9)$$

S/A 에 있어서 기준국과 사용자, 어느 지역에서나 이 값은 동일하다. 즉 $S/A_u = S/A_r$ 이다. 그런데 문제는 전리층과 대류권에 의한 효과이다. 일반적으로 100km 안에서는

$$\begin{aligned} ION_u &\approx ION_r \\ TROP_u &\approx TROP_r \end{aligned} \quad (10)$$

이다. 하지만 기준국과 사용자의 거리가 증가할수록 이 값들의 차이는 점점 커진다. 바로 이것이 DGPS에 있어서의 오차 요인으로 작용한다.

Inverted DGPS에서는 기준국에서 RTCM에 의해 생성된 의사거리 보정치 외에 추가로 기준국에서 측정되는 전리층과 대류권 오차를 보정한다.

$$PR_{cor,u} = \widehat{PR}_u + \Delta PR_r - \widehat{ION}_r - \widehat{TROP}_r \quad (11)$$

(11)에서 \widehat{PR}_u 은 NMEA형식으로 보내온 사용자 위치 해에 근거하여 추정된 사용자의 의사거리 추정값이며 \widehat{ION}_r 과 \widehat{TROP}_r 은 기준국에서 계산된 전리층과 대류권 오차항이다. \widehat{PR}_u 은 (12)와 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{PR}_u &= PR_u + \widehat{ION}_u + \widehat{TROP}_u + \delta PR_u \\ &= (R_u - S/A_u - \widehat{ION}_u - \widehat{TROP}_u) \\ &\quad + \widehat{ION}_u + \widehat{TROP}_u + \delta PR_u \end{aligned} \quad (12)$$

(12)에서 \widehat{ION}_u 과 \widehat{TROP}_u 는 사용자 수신기에서 계산된 전리층, 대류권 보정항이며 δPR_u 는 사용자 위치해로부터 추정된 사용자 의사거리 추정값이 갖게 되는 의사거리 추정 오차이다.

$$\begin{aligned} PR_{cor,u} &= (R_u - S/A_u - \widehat{ION}_u - \widehat{TROP}_u) + \widehat{ION}_u + \widehat{TROP}_u \\ &\quad + \delta PR_u + (S/A_r + ION_r + TROP_r) - \widehat{ION}_r - \widehat{TROP}_r \\ &= R_u + (ION_r + TROP_r - \widehat{ION}_r - \widehat{TROP}_r) \\ &\quad - (ION_u + TROP_u - \widehat{ION}_u - \widehat{TROP}_u) + \delta PR_u \end{aligned} \quad (13)$$

기준국과 사용자 사이의 거리가 근접하여 있을 때는 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} ION_u &\approx ION_r \\ TROP_u &\approx TROP_r \\ \frac{ION_u}{TROP_u} &\approx \frac{ION_r}{TROP_r} \end{aligned} \quad (14)$$

기준국에서 보정된 사용자의 의사거리는 (15)와 같다.

$$PR_{cor, u} \approx R_u + \delta PR_u \quad (15)$$

즉, 기준국에서 측정된 사용자 의사거리의 추정치가 갖는 오차가 Inverted DGPS의 주요한 오차 요인이 된다. 그러나 100 km 이상 떨어진 곳에서는 기준국과 사용자 사이의 전리층과 대류권 오차가 많이 다르게 된다. 이때는 전리층과 대류권 오차를 사용자와 기준국 수신기에서 각각 보정하게 되는 Inverted DGPS 보정이 일반적인 DGPS에서의 보정보다 효과적인 보정이 될 수도 있다.

$$\begin{aligned} &| (ION_r + TROP_r) - (ION_u + TROP_u) | \\ &\geq | (ION_r + TROP_r - \widehat{ION}_r - \widehat{TROP}_r) \\ &\quad - (ION_u + TROP_u - \widehat{ION}_u - \widehat{TROP}_u) | \end{aligned} \quad (16)$$

2 DGPS와 Inverted DGPS의 사용방식 비교

DGPS와 Inverted DGPS의 차이점을 표 1에 나타내었다.

DGPS는 기준국에서 사용자 방향으로 통신이 이루어 지지만 Inverted DGPS는 그 반대이다. 보정의 주체는 DGPS의 경우는 사용자이고 Inverted DGPS의 경우 관제국이 된다. DGPS는 RTCM SC-104라는 통신규약이 있지만 Inverted DGPS는 아직 정해진 규약이 없다.

표 1. DGPS와 Inverted DGPS의 비교.

Table 1. The comparison with DGPS and invert DGPS.

	DGPS	Inverted DGPS
통신 방향	기준국-->사용자	사용자-->관제국
보정 주체	사용자	관제국
보정영역	의사거리 영역	항법해 영역
추천안	RTCM SC-104	없음
통신대상	사용자 다수	관제국
응용분야	CNS등	차량관제

V. Inverted DGPS 시스템 구현

Inverted DGPS의 구성도는 그림 3에 나타내었고, 시스템 구현도는 그림 4에 나타내었다.

사용자의 GPS수신기에서는 사용자의 위치, GPS시간, 위치 계산에 사용된 위성에 관한 정보를 무선망을 이용해 관제국(기준국)으로 전송한다. 관제국(기준국)에서는 사용자가 보낸 정보와 관제국에서 계산된 보정치를 이용하여 보정된 사용자의 위치해를 계산한다.

관제국에서 관제할 수 있는 차량의 대수는 관제국과 차량사이의 통신속도에 의해서 결정된다. 일반적으로 9600

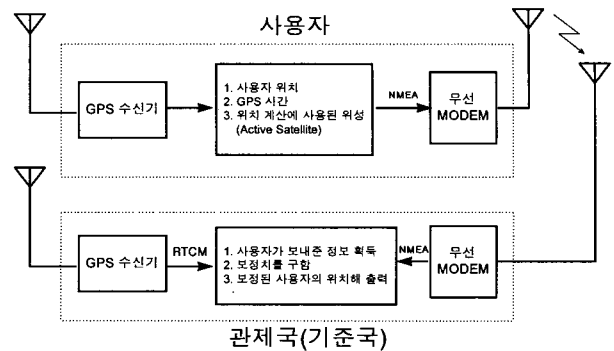


그림 3. Inverted DGPS 구성도.
Fig. 3. The structure of inverted DGPS.

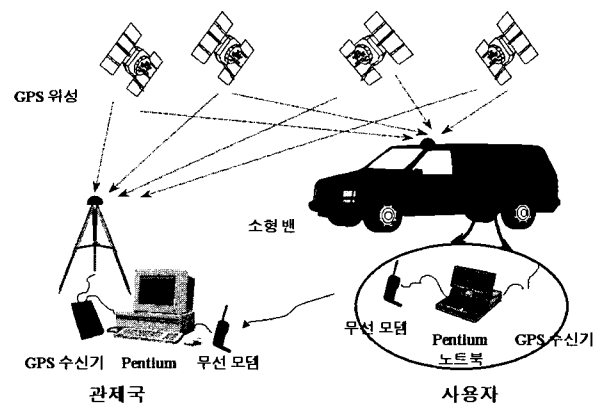


그림 4. Inverted DGPS 구현도.
Fig. 4. The realization of inverted DGPS.

bps의 통신속도를 가정하고 약 100 byte 팩킷 단위의 관제정보를 전송한다고 가정한 경우 초당 10대의 차량 관제할 수 있다. 따라서 관제국에서의 계산량은 관제국과 차량간의 통신속도와 관계하게 되고 이 정도의 계산량은 실제 시스템 구현시 크게 문제되지 않는다.

VI. 실험 방법 및 결과

1. 통신 지연의 효과
관제국에서 사용자의 위치 정보를 받게되는 순간과 사용자의 위치를 계산한 순간과는 통신지연에 의하여 시간차가 생기게 된다.

이때 관제국에서는 현재의 의사거리보정항과 의사거리 변화율 보정항을 이용하여 사용자가 위치해를 구한 순간에서의 보정항을 계산하게 된다. 따라서 통신지연에 의하여 사용자의 위치해에는 오차가 생기게 되며 통신지연 시간이 길어지면 위치해의 오차가 커지게 된다.

Inverted DGPS와 DGPS의 정확도를 비교하기 위해 38 m 길이를 갖는 기저선에 각각 안테나를 설치하였고, 수신기는 양쪽 모두 캐나다 NovAtel사의 3151R 수신기를 사용하였다. 실시간 적용때에 생기는 통신지연의 효과를 알아보기 위해 일부러 지연을 시켜 그 효과를 알아보았다. 실험은 시간지연이 없을 때, 5초, 10초, 30초, 45초, 60초, 100초 등의 시간 지연이 있을 때의 DGPS와 Inverted DGPS의 정확도를 비교하였다.

지연이 있을 경우 보정은 전의 항법해를 그 지연 만큼 후에 보정하는 것을 뜻한다. 지연이 없을 경우 2 dRMS 가 DGPS는 3.3799[m]이고, Inverted DGPS는 3.3894[m]이다.

그림 5에서 그림 11까지의 그림에서 DGPS는 ○로 표시하였고 Inverted DGPS는 +로 나타내었다. 그림에서

2dRMS는 DGPS/Inverted DGPS의 순서로 나타냈다.

그림을 보면 시간 지연이 클수록 오차가 커지는 것을 볼 수 있다. 30초 지연까지는 의사거리 보정항(Pseudo-range rate correction: PRC)를 사용하여 선형적으로 거리 변화율 보정항(Range-Rate Correction:RRC)을 만들어도 크게 오차가 증가하지 않는 것을 볼 수 있다.

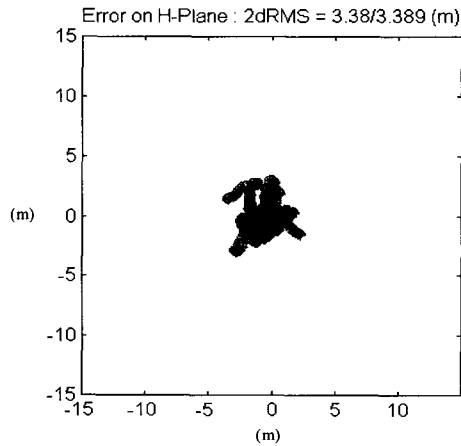


그림 5. 지연 없음.
Fig. 5. No delay.

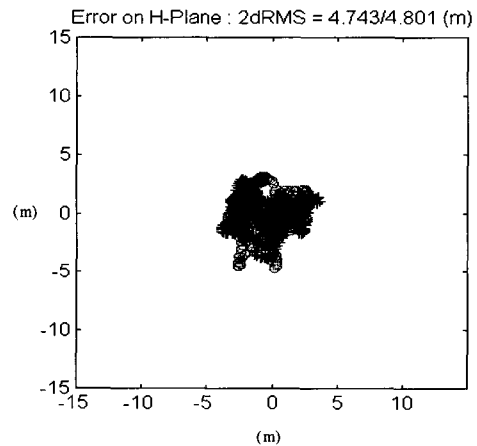


그림 8. 30초 지연.
Fig. 8. 30 seconds delay.

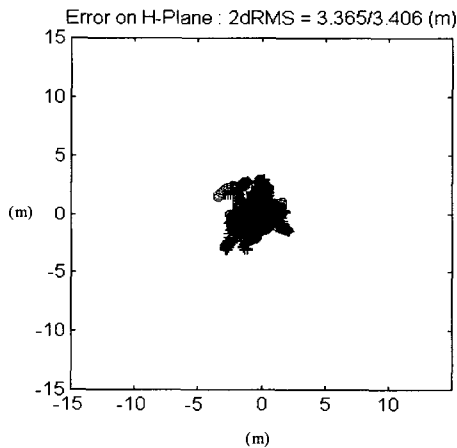


그림 6. 5초 지연.
Fig. 6. 5 seconds delay.

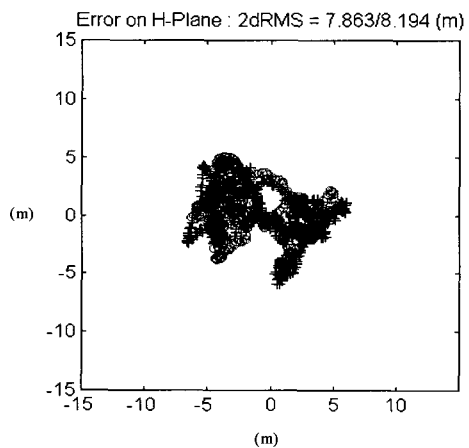


그림 9. 45초 지연.
Fig. 9. 45 seconds delay.

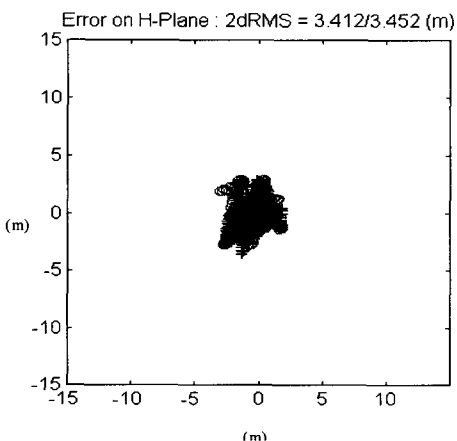


그림 7. 10초 지연.
Fig. 7. 10 seconds delay.

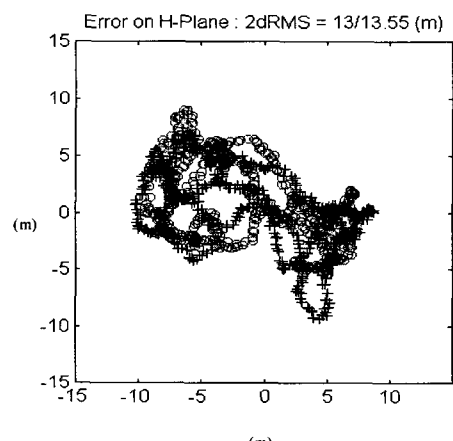


그림 10. 60초 지연.
Fig. 10. 60 seconds delay.

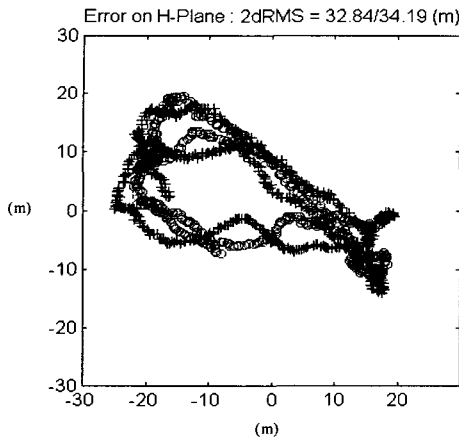


그림 11. 100초 지연.
Fig. 11. 100 seconds delay.

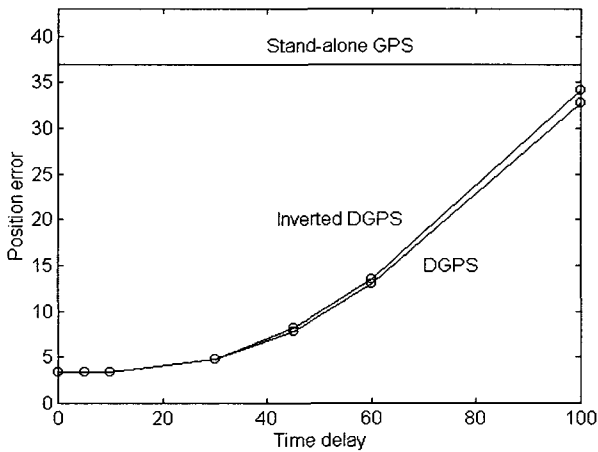


그림 12. 시간 지연과 위치 오차와의 관계.
Fig. 12. Relation between time delay and position error.

2 전리층, 대류권 지연 오차 보정 방법차이에 의한 효과
전리층, 대류권 지연 오차 보정에 있어서 오차를 기준국과 사용자를 동일시하여 보정하는 DGPS방법과 오차를 각각의 수신기에서 보정하는 Inverted DGPS방법을 비교한 실험이다. 데이터는 다중 기준국 실험에 쓰일 데이터를 사용했다. 이때 기준국은 단일 기준국을 사용하였다.

표 1. DGPS 위치오차(2dRMS).
Table 1. Position error with DGPS correction.

단위: [m]

사용자 기준국	서 울	부 산	광 주	동 해
서 울	-	6.1875	6.6179	4.6048
부 산	4.4215	-	3.3997	4.9016
광 주	6.3221	4.0400	-	7.1875
동 해	4.4440	6.2256	6.5923	-

표 2. Inverted DGPS 위치오차(2dRMS).
Table 2. Position error with Inverted DGPS correction.

단위: [m]

사용자 기준국	서 울	부 산	광 주	동 해
서 울	-	4.1461	3.6102	3.5633
부 산	3.6977	-	2.7589	3.1534
광 주	3.6615	3.2434	-	3.2012
동 해	3.2847	3.2494	2.9035	-

표 3. 단일 기준국으로 보정된 데이터 수.
Table 3. The number of corrected data with the single reference.

사용자 기준국	서 울	부 산	광 주	동 해
서 울	-	(928)	(942)	(858)
부 산	(433)	-	(404)	(472)
광 주	(1004)	(1032)	-	(784)
동 해	(886)	(1087)	(772)	-

표 1과 표 2를 보면 Inverted DGPS 보정이 DGPS 보정에 비해 전체적으로 좋음을 알 수 있다. 서울, 부산, 광주, 동해는 각각의 거리가 모두 100 km 이상이다. 그러므로 전리층, 대류권의 오차를 서로 같게 보기가 힘들어진다. 그러나 Inverted DGPS에서는 사용자와 기준국의 전리층, 대류권에 의한 오차를 각각 보정하여 사용하므로 이 설정의 경우 거리의 영향을 적게 받는다. 특히, 광주지역의 경우 다른 지역에 비하여 오차가 줄어든 것은 전리층, 대류권 보정이 다른 지역에 비하여 정확했기 때문이라고 판단된다.

표 3은 사용자의 보정된 데이터 수를 나타내었다. 전체의 데이터는 1231개이다. 전체 데이터량을 모두 보정한 경우는 12개의 경우중 하나도 나오지 않았다. 기준국이 사용자에서 사용된 위성을 가지고 있지 않는 경우는 강제로 보정을 하지 않았기 때문이다. Inverted DGPS에서는 사용자와 기준국의 사용 위성이 일치하지 않는 경우 오차가 더 커질 수 있는 부분적인 보정은 하지 않는다.

3 다중 기준국 실험

다중 기준국 실험을 위해 서울, 동해, 광주, 부산에서 동시에 데이터를 수신했다. 그때 사용된 수신기는 네곳 모두 NovAtel 3151R이다. 데이터는 15초 간격으로 3시간씩 총 5회를 받았으며 실험장소는 서울 건국대, 동해 기상대, 광주 조선대, 부산 부산대에서 같은 시간 동시에 받았다. 위의 4곳은 모두 기준국으로 사용해야 하므로 정확한 위치를 알아야 한다. 건국대 측지점은 이미 정확히(2 drms: 수 mm 이내) 측지된 점을 사용하였고 동해, 광주, 부산 측지점은 Trimble 사의 4000 SSi 모델을 이용해 수신한 데이터와 같은 시간에 수신된 대전 천문대

표 4. 다중기준국으로 보정된 데이터 수와 위치 오차

Table 4. The number of corrected data and position error(2drms) with the multi-reference.

(): 데이터 갯수, 단위: [m]

	서울	부산	광주	동해
다중 기준국	2.2007	2.5049	1.7236	1.8510
보정 데이터수	(1231)	(1231)	(1231)	(1231)

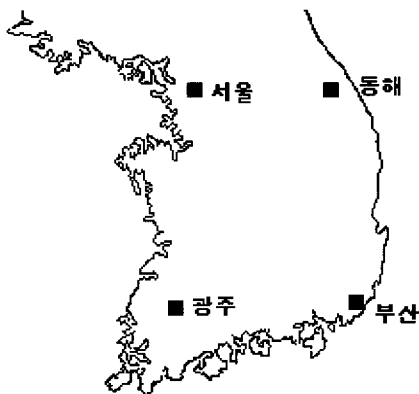


그림 13. 데이터 수신 지역.
Fig. 13. The area of the data receiving.

의 데이터를 이용해 이중 차분법을 이용한 반송파 위상(carrier phase)으로 측정된 점을 사용하였다. 이들 측치는 모두 위치 오차가 수 mm 이내로 기준국으로의 사용이 충분히 가능하다.

다중 기준국 실험은 사용자가 정해지면 나머지 세곳이 기준국이 되는 식으로 해서 실험을 하였다. 예를 들어 서울이 사용자이면 나머지 세곳, 부산, 광주, 동해가 기준국이 되는 식이다.

표 4는 사용자의 위치오차와 보정된 데이터 개수이다. 표에서 보면 알 수 있듯이 다중기준국으로 했을 때 위치 오차가 단일 기준국과 비교해서 더 좋은 성능을 나타내었다. 또한 모든 데이터가 보정된 것을 볼 수 있다.

4 도로 주행 실험

GPS수신기와 Pentium 노트북 컴퓨터를 탑재한 소형 밴을 이용하여 잠실지역 주행실험을 하였다. 수신기는 차량, 기준국 모두 캐나다 NovAtel사의 3151R 수신기를 사용하였다. 데이터는 1초 간격으로 약 30분 정도 데이터를 받았으며, 총 2007개의 데이터셋을 수신하였다. 프로세싱은 실시간으로 하지않고 후 처리방식(post-processing)을 취하였다.

그림 14는 수신기가 제공한 항법해 값이고, 그림 15는 DGPS 보정한 결과이다. 그림 16은 수신기에서 제공한 항법해를 Inverted DGPS한 경우이고 그림 17은 수신기에서 제공한 의사거리 측정값을 최소자승법을 이용하여

해를 구한 후 Inverted DGPS 보정을 한 것이다. 그림 16의 경우는 수신기의 필터링 효과가 보정후에 오차로 작용한 것이다. 그림 17은 그림 16의 경우와 같이 항법해를 보정한 것이지만 필터링 효과를 없애기 위해 사용자의 해를 직접 구하여 보정한 것이다. 수신기가 필터링을 하지 않은 최소자승법의 항법해를 제공한다면 Inverted DGPS사용하여 보정한 것도 DGPS사용하여 보정한 것과 거의 동일한 위치보정 성능을 보여준다.

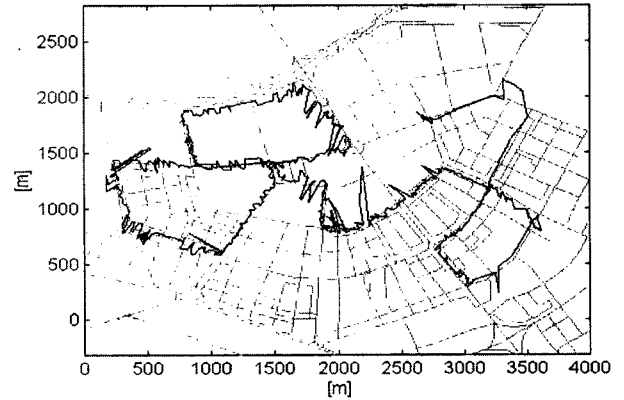


그림 14. GPS만을 사용한 주행.
Fig. 14. Driving using stand-alone GPS.

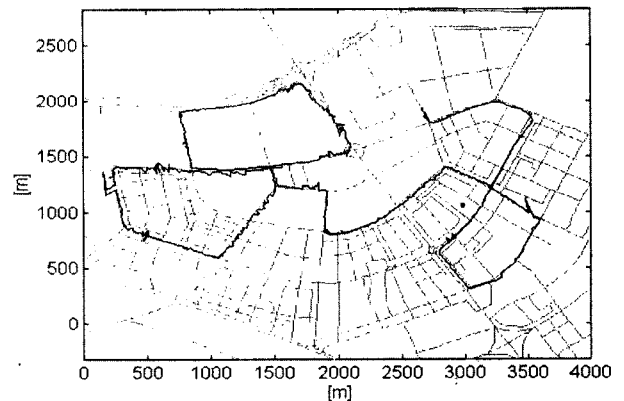


그림 15. DGPS를 사용한 주행.
Fig. 15. Driving using DGPS.

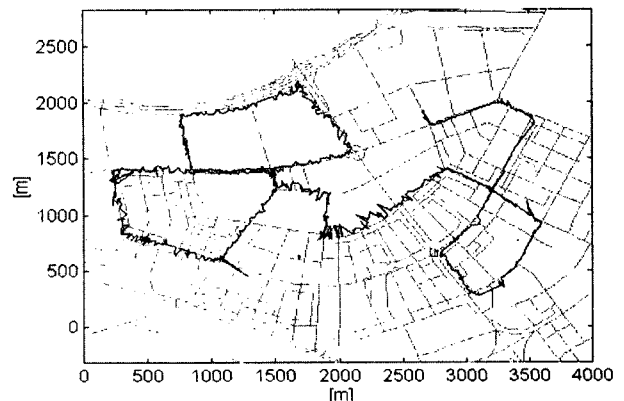


그림 16. Inverted DGPS를 사용한 주행(1).
Fig. 16. Driving using inverted DGPS(1).

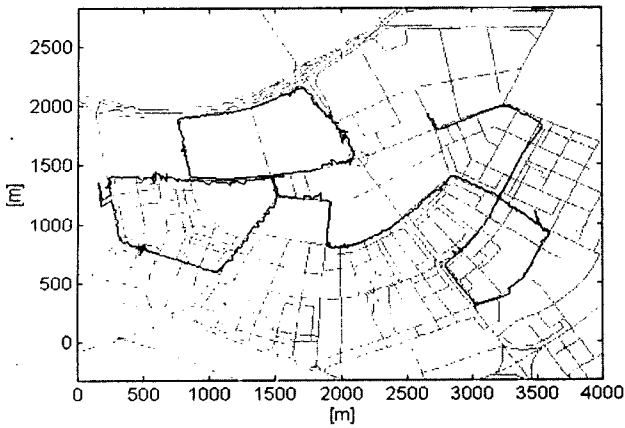


그림 17. Inverted DGPS를 이용한 주행(2).
Fig. 17. Driving using inverted DGPS(2).

VII. 결론

차량관제 시스템등에 효율적인 Inverted DGPS 구현하였다. 보다 정확한 위치해와 넓은 범위를 관제하기 위한 다중 기준국 알고리즘을 제안하였다. 사용자는 항법 해를 구할 수 있는 일반 GPS수신기를 사용하면 되고 기준국은 DGPS RTCM과 위성궤도 파라미터(raw ephemeris)를 주는 수신기를 사용하면 된다. 데이터는 후처리(post processing)를 통하여 처리하였다. Inverted DGPS와 DGPS를 비교했을 때 거의 동일한 성능을 나타내었고 실시간 전송때에는 30초정도 까지의 시간지연에도 큰

오차없이 보정할 수 있음을 확인하였다. 차량관제를 위해 DGPS를 사용하면 양방향 통신이 필수적이지만 Inverted DGPS는 차량관제 시스템에 이용할 때 단일 방향 통신으로 가능하다. 비용면에서도 단일 방향의 통신을 이용한 Inverted DGPS는 양방향 통신의 DGPS에 비해 경비를 절감할 수 있고 성능면에서도 DGPS와 거의 동일한 성능을 나타냄을 확인하였다. 또한 다중 기준국을 이용하여 단일 기준국일 때 생길 수 있는 문제를 해결하고 정확도에 있어서도 더 나은 성능을 가지는 것을 살펴보았다. 시스템의 간편성과 저가의 가격이지만 높은 오차 보정 능력으로 인해, Inverted DGPS는 차량관제 시스템이나 물류망 시스템 등에 효과적으로 사용될 수 있다.

참고문헌

- [1] 홍진석, 한승재, 지규인, 이영재, 이장규, 오종택, 염병렬, "차량관제시스템을 위한 Inverted DGPS 시스템," 제 3회 GPS Workshop 논문집, 서울, 1996.
- [2] 홍진석, "무선통신망을 이용한 실시간 DGPS 시스템 구축," 석사 학위 논문, 건국대학교 1996.
- [3] 이장규, 지규인, 이영재, 김덕년 외, "차량관제시스템 개발을 위한 GPS 및 위성 데이터 통신 기술 실용화 연구," '96 정보통신기초 연구과제 최종보고서, 한국통신 연구개발본부, 1996.
- [4] 오병주, "한국 지역에서 다중 기준국 DGPS를 이용한 위치 측정," 석사학위 논문, 건국대학교 1997.

홍진석

1970년생 9월 5일생. 1994년 건국대 전자공학과 졸업. 1996년 동대학원 석사, 1996년-현재 건국대학교 전자정보통신공학과 박사과정.



한승재

1974년생 2월 28일생. 1996년 건국대 전자공학과 졸업. 1998년 동대학원 석사, 현재 기흥전자 기업부설연구소 연구원.



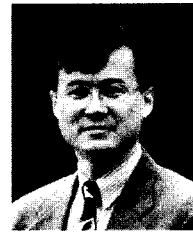
지규인

1959년 11월 24일생. 1982년 서울대 공대 제어계측공학과 졸업. 1984년 서울대 대학원 제어계측공학과 석사. 1989년 Case Western Reserve University 시스템공학과 박사. 1990년 Rensselaer Polytechnic Institute 연구원. 1990년 9월-1992년 2월 강원대학교 제어계측공학과 전임강사. 1992년 3월-현재 건국대학교 전자정보통신공학과 부교수.



이영재

1958년 8월 31일생. 1982년 서울대 공대 항공우주공학과 학사. 1985년 서울대 항공우주공학과 석사. 1990년 University of Texas, Austin 항공우주공학과 박사. 1990년-1992년 University of Texas, Austin 항공우주공학과 연구원, 1992년 3월-현재 건국대학교 항공우주공학과 부교수.



이 장 규

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제4권, 제5호, 참조.



최 홍 석

1967년 7월 17일생. 1993년 경희대 수학과 졸업. 1995년 뉴욕주립대 (SUNY at STONY BROOK) 응용수학과 석사. 1996년 동 대학교 박사과정 수료. 1996년 7월-현재 한국통신 무선통신연구소 근무.