

최소자승법과 Kalman Filter 를 이용한 AUV 의 DGPS 기반 Localization 의 위치 오차 감소

Reduction of Relative Position Error for DGPS Based Localization of AUV using LSM and Kalman Filter

엄현섭¹, 김지연¹, 백준영¹, 이민철^{2,✉}
Hyeon Seob Eom¹, Ji Yen Kim¹, Jun Young Baek¹ and Min Cheol Lee^{2,✉}

¹ 부산대학교 대학원 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Graduate School, Pusan National Univ.)

² 부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.)

✉ Corresponding author: mcleee@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2439

Manuscript received: 2010.5.20 / Revised: 2010.7.23 / Accepted: 2010.7.26

It is generally important to get a precise position information for autonomous unmanned vehicle(AUV) to run safely. For getting the position of AUV, the GPS has been using to navigation in a vehicle. Though it is useful to finding a position, it is difficult to precisely control a trajectory of the AUV due to large measuring error which may reach over 10 meters. Therefore to apply AUV it needs to compensate for the error. This paper proposes a method to more precisely localize AUV using three low-cost differential global positioning systems (DGPS). The distance errors between each DGPS are minimized as using the least square method (LSM) and the Kalman filter to eliminate a Gaussian white noise. The selected DGPS is cheaper and easier to set up than the RTK-GPS. It is also more precise than the general GPS. The proposed method can compensate the relatively position error according to stationary and moving distance of the AUV. For evaluating the algorithm by simulation, the DGPS signal with the Gaussian white noise to any points is generated by the AR model and compared with the measurement signal. It is confirmed that the proposed method can effectively compensate the position error as comparing with the measurement signal. The compensated position signal can be used to localize and control the AUV in the road.

Key Words: Global Positioning System (GPS, 위성항법장치), Autonomous Unmanned Vehicle (AUV, 무인자율주행차량), Least Square Method (최소자승법), Kalman Filter (칼만 필터)

1. 서론

인간의 도움없이 차량의 주행을 제어하여 원하는 목적지에 도착하는 무인자율주행차량의 제어를 위해서는 다양한 센서를 이용하여 현재의 위치를 추정 및 경로 탐색, 주변 환경 인식, 그리고 이를 통합하는 주행 제어에 대한 기술이 필요하다. 자

율 주행을 위한 첫 번째는 현재 위치를 정확히 추정하는 것이다. 부정확한 위치 추정은 Fig. 1 과 같이 잘못된 경로 생성의 원인이 되며, 향후 차량의 자율주행의 안전을 보장할 수 없게 된다. 특히, 위치 추정을 위하여 무인자율주행차량의 현재 위치를 파악하고 목적지에 대한 정보를 얻기 위하여 참조점과 관련하여 차량 위치 또는 좌표를 결정하

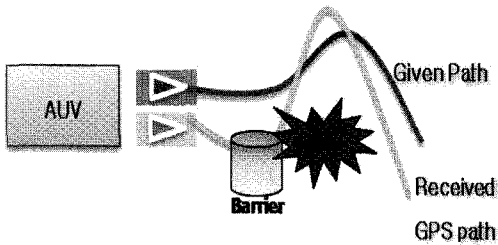


Fig. 1 The necessary of the position error compensation

는 추측 항법(Dead Reckoning)과 위성항법장치인 GPS 등이 이용된다.¹ 추측 항법은 2D 평면 공간에서 출발 위치 또는 알려진 위치로부터 차량 위치를 추정하는 방법으로 각종 센서를 통해 획득한 정보를 이용한다.² GPS는 미국 국방부가 효율적인 지상 공격을 위하여 지상에 있는 물체를 측정하기 위한 목적으로 개발되었다.³ 현재 군사적 목적 이외에도 항공, 선박을 비롯하여 차량의 항법 장치로도 널리 이용되고 있다.

일반 GPS는 수신기와 안테나, 지역적, 신호 지연과 같은 다양한 오차를 가지고 있다. 일반적으로 정밀 위치 인식을 위해 GPS와 관성항법시스템(INS: Inertial Navigation System) 또는 CDMA(Code Division Multiple Access)를 융합하여 오차를 보정한다. 토지 측량에서는 정밀 측정을 위해 수 cm의 오차를 가지는 RTK-GPS(Real time kinematics-GPS)를 이용한다. 그러나 RTK-GPS는 Base와 Rover로 이루어진 고가의 송수신 장비를 이용하기 때문에 측정 거리에 한계가 있다. 이에 비해 기준국의 보정 정보를 이용하여 이동에 대한 제약이 적은 DGPS(Differential GPS)는 일반 GPS에 비해 5m 이내의 정밀도를 가지는 장점이 있어 AUV에 적합하다.

본 논문에서는 속도 60km/h에서 폭이 3.0m로 설계되는 한국의 도로교통법에 따라 중형차를 기준으로 전폭이 1.8m인 AUV의 안전한 자율 주행을 위해 0.6m 이내의 오차를 가진 위치를 얻고자 한다. 오차 보정을 위해 3개의 저가형 DGPS와 최소자승법(LSM) 그리고 센서의 가우시안 화이트 노이즈를 제거하기 위해 Kalman Filtering 기법을 이용하였다. 이에 대한 검증은 계산이 간단하고 가우시안 화이트 노이즈에 대하여 쉽게 적용이 가능한 AR 모델을 이용하여 시뮬레이션 및 측정을 통해 관측값과 보정값의 오차를 비교하였다.

2. DGPS 원리

GPS는 3개 이상의 위성으로부터 시간과 거리를 측정하여 GPS 이용자와 위성 간의 각기 다른 거리를 삼각측량법으로 위치를 계산한다. 우주 공간을 통해 전달되는 오차 종류와 범위는 Table 1과 같다.⁴ 미국방성의 비인가 사용자의 정확도를 저하시키기 위해 의도적으로 부과하는 S/A(Selective Availability) 오차가 제거된 후 가장 큰 오차 요인은 이온화에 따른 오차이며, 현재 GPS의 오차는 일반적으로 약 10m이다. GPS보다 정밀한 위치 정보를 얻기 위하여 DGPS가 개발되었다. DGPS는 Fig. 2와 같이 정확한 위치를 알고 있는 기준국에서 GPS의 보정정보(위성시계, 위성궤도, 전리층, 대류층 오차)를 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service) 코드를 이용하여 이용자에게 전송한다. 이것을 이용자의 GPS 위치 정보에 보정하여 정확한 위치를 얻게 되는 원리이다.

Table 1 GPS errors for the standard positioning system

	Error(m)	
	With S/A	Without S/A
S/A	24	0
Troposphere	0.2	0.2
Ionosphere	7.0	7.0
Ephemeris and clock	2.3	2.3
Receiver noise	0.6	0.6
Multipath	1.5	1.5
Overall accuracy	35.6	11.6

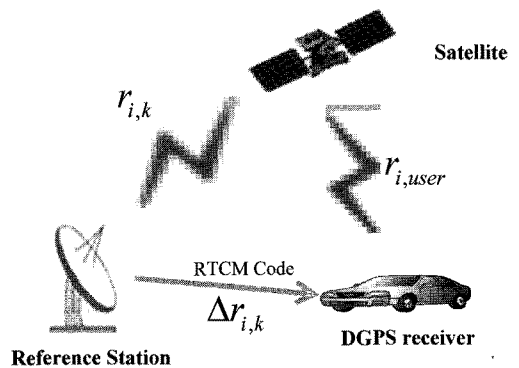


Fig. 2 DGPS System

DGPS 는 식(1)~(6)에 의해 기준국에서 보내는 신호를 이용하여 이용자의 위치를 보정한다.⁴ 기준국에서 위성까지의 거리를 측정하는 의사거리 (pseudo range) $r_{i,k}$ 는 식(1)과 같다.

$$r_{i,k} = D_{i,k} + e_k + o_k \quad (1)$$

여기서, $D_{i,k}$ 는 k 기준국과 i 위성 간의 거리, e_k 는 기준국 GPS 시스템 오차, o_k 는 시스템 시간과 기준국의 시간 간의 시계 오차를 나타낸다. 따라서 보정오차 $\Delta r_{i,k}$ 는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta r_{i,k} = e_k + o_k = r_{i,k} - D_{i,k} \quad (2)$$

이용자의 위치에서 위성까지의 거리를 측정하는 의사거리 $r_{i,user}$ 는 이용자와 i 위성 간의 거리 $D_{i,user}$, 이용자에서 얻게 되는 GPS 시스템 오차 e_{user} , 시스템 시간과 기준국간의 시계 오차 o_{user} 을 이용하여 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$r_{i,user} = D_{i,user} + e_{user} + o_{user} \quad (3)$$

이용자와 기준국의 거리가 근접해 있고, 같은 GPS 위치 정보를 얻는다고 가정하면, 공통 오차를 보정한 이용자의 의사거리 $R_{i,user}$ 는 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} R_{i,user} &= r_{i,user} - \Delta r_{i,k} \\ &= D_{i,user} + e_{resi} + o_{comb} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $D_{i,user}$ 는 이용자와 i 위성 간의 거리, e_{resi} 는 보정되지 않은 이용자 DGPS 의 시스템 오차, o_{comb} 는 보정되지 않은 시계 오차를 나타낸다. t_j 시간에서의 보정 오차 $\Delta r_{i,k}(t_j)$ 는 식(5)와 같다.

$$\Delta r_{i,k}(t_j) = \Delta r_{i,k}(\tau_j) + C_{i,k}(\tau_j)(t_j - \tau_j) \quad (5)$$

여기서 기준국에서 의사 거리 보정 오차를 계산하는 시간 τ_j 동안에 기준국에서 보내는 시간 보정치 $C_{i,k}(\tau_j)$ 를 포함한다. 식(5)에 의해 보정된 오차를 식(4)에 대입하여 t 시간에 보정된 이용자의 의

사거리 $R_{i,user}(t)$ 는 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$R_{i,user}(t) = r_{i,user}(t) - \Delta r_{i,k}(t) \quad (6)$$

DGPS 위치 정보는 GPS 신호에 나타나는 오차에서 공통 오차에 해당하는 부분을 보정하게 되므로 정밀도를 높일 수 있다.

3. AUV 의 Localization 위치오차 감소알고리즘

3.1 최소자승법을 이용한 오차 보정

2 차원 평면에서 오차를 포함하는 점들의 집합인 X 좌표(x_i)와 Y 좌표(y_i)는 식(7)의 관계식으로 나타낼 수 있다.⁵

$$y_i = \alpha x_i + \beta + \varepsilon_i \quad (7)$$

식(7)의 오차 ε_i 가 최소가 되는 직선 방정식의 기울기 α 와 절편 β 을 일반적인 LSM 을 이용하여 구한다. 식(8)~(10)은 일반적인 LSM 과정이다.

$$S(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha x_i - \beta)^2 \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} S(\alpha, \beta) = 0 \text{ and } \frac{\partial}{\partial \alpha} S(\alpha, \beta) = 0 \quad (9)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \alpha + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \beta = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (10)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \alpha + n\beta = \sum_{i=1}^n y_i$$

식(10)을 연립하면 α 와 β 을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 3 개의 DGPS 를 Fig. 3 과 같이 DGPS 수신기의 안테나를 직선의 세 점에 나란히 정렬하였다. 즉, 일반적인 LSM 을 이용하여 3 개의 DGPS 관측 경도 $x_{m,i}$ 와 위도 $y_{m,i}$ 을 $\hat{\alpha}$ 와 $\hat{\beta}$ 로 추정되는 식(11)과 같이 오차가 보정된 직선 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$y_{m,i} = \hat{\alpha} x_{m,i} + \hat{\beta} \quad (11)$$

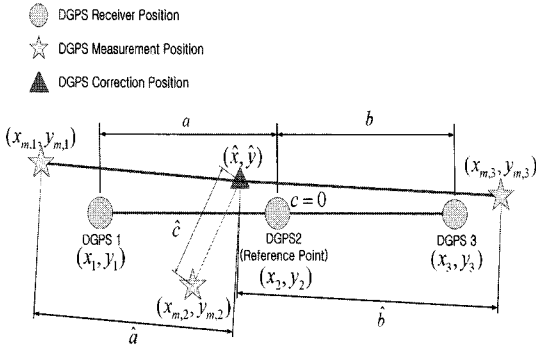


Fig. 3 Measuring method of DGPS using LSM

그러나 일반적인 LSM 은 흔히 Y 좌표에 대해서만 오차를 보정하기 때문에 X 좌표에 대한 오차는 여전히 포함하고 있다. X, Y 좌표에 대한 보정을 위하여 DGPS 수신 안테나 간의 측정 오차가 최소가 되도록 LSM 을 구성하였다. DGPS 간에 측정된 거리 오차 $\epsilon_{d,i}$ 는 DGPS 간의 실제 거리 a, b, c 와 추정위치와 측정 위치사이의 거리인 $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}$ 의 차로 나타낼 수 있으며 식(12)와 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{d,a} &= a - \hat{a} \\ \epsilon_{d,b} &= b - \hat{b} \\ \epsilon_{d,c} &= c - \hat{c} = \hat{c} \end{aligned} \quad (12)$$

이 때, DGPS 1 과 기준점의 수신 안테나의 거리를 a 라 하고, DGPS 3 과 기준점의 거리를 b , DGPS 2 와 기준점의 거리를 c 로 정의한다. 이 때 DGPS 2 와 기준점은 동일 지점이므로 0 이 된다.

기준점 추정 위치와 측정 위치 사이의 거리 $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}$ 는 추정 위치 \hat{x}, \hat{y} 와 관측 위치 $x_{m,i}, y_{m,i}$ 사이의 거리로 정의되고, 이것을 이용하여 식(12)를 식(13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{d,a} &= a - \sqrt{(\hat{x} - x_{m,1})^2 + (\hat{y} - y_{m,1})^2} \\ \epsilon_{d,b} &= b - \sqrt{(x_{m,3} - \hat{x})^2 + (y_{m,3} - \hat{y})^2} \\ \epsilon_{d,c} &= \sqrt{(\hat{x} - x_{m,2})^2 + (\hat{y} - y_{m,2})^2} \end{aligned} \quad (13)$$

DGPS 수신기의 안테나를 직선으로 설치하였기 때문에 추정한 위치 \hat{x}, \hat{y} 와 관측 위치 $x_{m,i}, y_{m,i}$ 는

식(11)의 직선 방정식을 이용하여 식(14)와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{d,a} &= a - \sqrt{(\hat{x} - x_{m,1})^2 + \hat{\alpha}^2 (\hat{x} - x_{m,1})^2} \\ \epsilon_{d,b} &= b - \sqrt{(x_{m,3} - \hat{x})^2 + \hat{\alpha}^2 (x_{m,3} - \hat{x})^2} \\ \epsilon_{d,c} &= \sqrt{(\hat{x} - x_{m,2})^2 + \hat{\alpha}^2 (\hat{x} - x_{m,2})^2} \end{aligned} \quad (14)$$

그리고 식 (14)를 식(15)~(16)과 같이 LSM 을 이용하여,

$$S(\hat{x}) = \sum_{i=1}^n \epsilon_{d,i}^2 = \epsilon_{d,a}^2 + \epsilon_{d,b}^2 + \epsilon_{d,c}^2 \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \hat{x}} S(\hat{x}) &= -a + (\hat{x} - x_{m,1})\sqrt{1 + \hat{\alpha}^2} \\ &\quad + b - (x_{m,2} - \hat{x})\sqrt{1 + \hat{\alpha}^2} \\ &\quad + (\hat{x} - x_{m,1})\sqrt{1 + \hat{\alpha}^2} = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

측정된 거리 오차 $\epsilon_{d,i}$ 의 제곱의 합 $S(\hat{x})$ 가 최소인 X 좌표 추정 위치 \hat{x} 에 대해 편미분한 식으로 나타낸다. 여기서, $\partial S(\hat{x}) / \partial \hat{x} = 0$ 가 되는 \hat{x} 가 추정 위치가 되며, 식(17)과 같다.

$$\hat{x} = \frac{a - b}{\sqrt{1 + \hat{\alpha}^2}} + \frac{x_{m,1} + x_{m,2} + x_{m,3}}{3} \quad (17)$$

Y 좌표 추정 위치 \hat{y} 는 식(11)의 직선의 방정식에 \hat{x} 를 대입하여 얻을 수 있다.

3.2 Kalman Filter 에 의한 가우시안 화이트 노이즈 제거

가우시안 화이트 노이즈를 포함하는 DGPS 시스템에서 노이즈를 제거하기 위해 Kalman filter 를 이용하였다. Kalman filter 는 상태에 대한 정확한 동역학식 또는 랜덤 프로세스를 요구하지 않으며 상태 변수 추정 성능이 효율적이다.^{6,7} 본 논문에서는 최소자승법에 의해 보정된 위치에 포함된 가우시안 화이트 노이즈를 제거하기 위하여 Kalman filter

를 이용하고자 한다. 일반적인 선형 확률적 시스템은 식(18)~(19)로 모델링이 가능하다.

$$x_{k+1} = Fx_k + Bu_k + \omega_k \quad (18)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (19)$$

여기서 x_k, u_k, z_k 는 각각 시간 k 에서의 상태 벡터, 입력 벡터, 관측 벡터를 나타내고, F, B, H 는 상태 천이 행렬, 입력 행렬, 출력 행렬을 나타낸다. 그리고, ω_k, v_k 는 각각 정규분포를 가지는 평균이 0 이고 분산이 Q_k, R_k 인 가우시안 화이트 노이즈를 나타내며, 서로 독립이다.

Kalman filter 의 연산 과정은 식(20)~(21)과 같이 정규 분포를 가지는 상태 변수 x_k 의 확률밀도함수를 추적하여 해를 구한다.

Predict

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+1|k} &= F_k \hat{x}_{k|k} + B_k u_k \\ P_{k+1|k} &= F_k P_{k|k} F_k^T + Q_{k-1} \end{aligned} \quad (20)$$

Update

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= P_{k+1|k} H^T [HP_{k+1} H^T + R_{k+1}]^{-1} \\ \hat{x}_{k+1|k+1} &= \hat{x}_{k+1|k} + K_{k+1} (z_{k+1} - H\hat{x}_{k+1|k}) \\ P_{k+1|k+1} &= (I - K_{k+1} H) P_{k+1|k} \end{aligned} \quad (21)$$

즉, 시간 k 에서의 측정값 z_k 에 따라 사전 확률밀도함수(prior probability density) $p(x_{k+1}|Z^k)$ 와 사후 확률밀도함수(posteriori probability density) $p(x_{k+1}|Z^{k+1})$ 를 추정치의 평균 $\hat{x}_{k+1|k}, \hat{x}_{k+1|k+1}$ 과 공분산 $P_{k+1|k}, P_{k+1|k+1}$ 으로 나타나게 된다.⁷ 그리고 $k=0$ 부터 순차적으로 칼만게인 K_{k+1} 과 사후 관측값 z_{k+1} 에 의한 사후 확률밀도함수의 평균과 공분산을 갱신(update)하여 식(20)을 이용하여 최종 상태 변수를 추정하게 된다.

DGPS 의 위치 정보는 위치, 속도, 가속도 성분으로 나타낼 수 있다. 상태 벡터 $x_k = [x, \dot{x}]$ 는 위치, 속도 변수로 정의하고, 시스템 노이즈를 가속도

성분으로 정의한다. 그리고 위치와 속도 성분으로서 상대천이행렬(F), 위치 제어에 대한 입력행렬(B), 관측값 위치에 대한 출력행렬(H)을 식(22)로 표현한다.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

시스템 노이즈의 분산 Q_k 는 x_k 에 대한 가속도를 위치로 변환하는 행렬 A 와 시스템 노이즈 a_k 로 식(23)과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} \Delta t^2 \\ 2 \\ \Delta t \end{bmatrix}, \quad Q_k = \text{cov}(Aa_k) = \sigma_a^2 AA^T \quad (23)$$

여기서 σ_a^2 는 가속도로 표현되는 가우시안 화이트 노이즈의 분산이다. DGPS 수신기에서 관측되는 노이즈의 분산 $R_k = E[v_k v_k^T] = \sigma_z^2$ 으로서 관측값 z_k 의 분산 σ_z^2 에 의해 정의된다.

4. Localization 위치오차 감소 평가 시뮬레이션

4.1 AR 모델을 이용한 의사 DGPS 신호생성

DGPS 는 동일한 위치에 대해 다양한 오차에 의한 가우시안 화이트 노이즈를 포함한다. 이러한 가우시안 화이트 노이즈에 대해 AR 모델을 이용하여 DGPS 신호를 분석하고 모델식을 도출하여 시뮬레이션을 하였다.

AR 모델은 식(24)~(25)와 같이 나타내며,

$$z_t = f(z_{t-1}, z_{t-2}, \dots) + \varepsilon_t \quad (24)$$

과거의 관측값(z_{t-p})과 가우시안 화이트 노이즈(ε_t)의 선형 함수형태로 현재 관측값(z_t)을 표현한다.^{8,9} 평균이 μ 인 AR(p)과정은 식(25)와 같으며, AR(p)는 p 차 AR 모델을 의미한다.

$$\begin{aligned} z_t - \mu &= \phi_1(z_{t-1} - \mu) + \phi_2(z_{t-2} - \mu) \\ &+ \dots + \phi_p(z_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (25)$$

AR 모델의 파라미터 $\phi, \phi_2, \dots, \phi_p, \epsilon_t$ 는 LSM 을 이용하여 최종 모델식을 구할 수 있다.

4.2 의사 DGPS 신호 생성 검증

AR 모델의 차수와 계수를 결정하기 위하여 DGPS 수신기를 이용하여 실제 DGPS 신호를 분석하였다. 측정에 사용된 DGPS 수신기는 U-blox 사의 EVK-5H 이며 사양은 Table 2 와 같다.¹⁰

DGPS 신호는 Fig. 4 에서와 같이 2 차 계수 이후의 계수가 0 에 근사화 되어 나타남으로써 1 차 모델로 식(26)과 같이 정의하였으며,

$$z_t = \phi z_{t-1} + \epsilon_t \quad (26)$$

AR(1)모델의 계수(ϕ)와 화이트 노이즈 ϵ_t 는 DGPS 신호를 반복 측정하여 분석한 값의 평균값으로서 Table 3 에 나타내었다. 실제 측정된 DGPS 신호와 AR(1) 모델에 의해 생성된 DGPS 신호는 Fig. 5 와 같이 유사성을 가지고 있다.

Table 2 EVK-5H DGPS Receiver specification

Parameter	Specification
Receiver Type	50Channels GPS L1 frequency, C/A Code GALILEO Open Service
Sensitivity	Tracking & Navigation -160 dBm Acquisition -160 dBm
Horizontal Position Accuracy	Autonomous < 2.5m

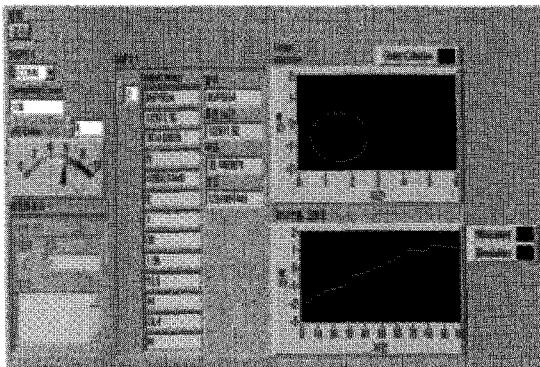


Fig. 4 AR Model Order Decision

Table 3 AR Model Coefficient and Noise Variance

Latitude		Longitude	
Coefficient (ϕ)	Variance of Noise (ϵ_t)	Coefficient (ϕ)	Variance of Noise (ϵ_t)
0.986044	0.184273	0.9794161	0.18405

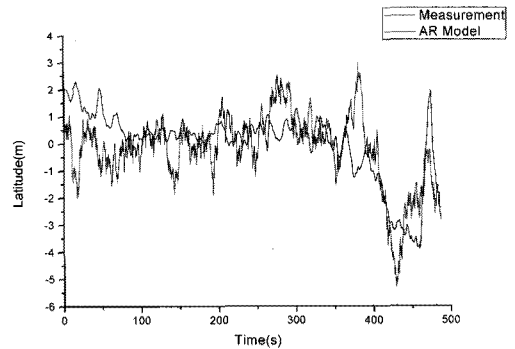


Fig. 5 DGPS signal and AR model signal

4.3 AR 모델을 이용한 보정 알고리즘 검증

실제 측정과 유사한 환경을 재고하기 위해서 독립적인 DGPS 3 개의 신호를 AR(1)모델을 이용하여 기준점을 기준으로 0.5m 의 간격으로 정해지지 않은 임의의 방향이 되도록 생성하였다. AR(1)모델에 의해 생성된 의사 DGPS 신호를 이용하여 오차 보정에 대한 알고리즘을 시뮬레이션에 의해 정지와 이동 상태에 대한 검증을 하였다.

첫 번째, 정지 상태에서의 DGPS 신호는 Fig. 6 과 같이 기준점(0,0)에서 약 3m 의 오차를 보여주고 있다. DGPS 1 과 2, 2 와 3 각각의 수신기의 위치 간격은 0.5m 이며, 기준점(Base)은 DGPS 2 수신기 위치이다. 생성된 신호에 대해 오차 보정 결과는 Fig. 7 에서 관측값(Measurement)과 LSM, LSM+Kalman 에 의한 보정값, 기준점(Base)을 나타내고 있다.

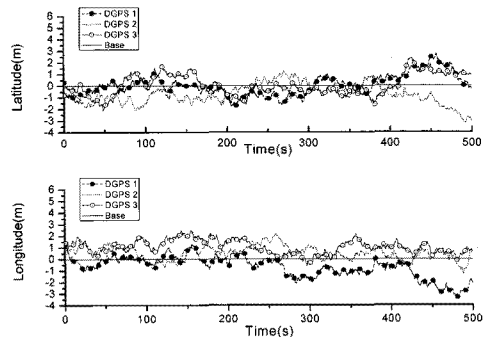


Fig. 6 DGPS Signal to AR model

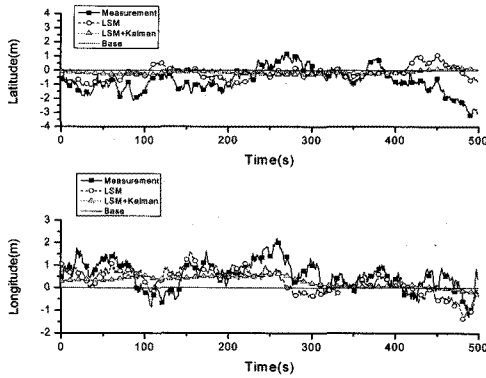


Fig. 7 Compensated DGPS signal to AR model

Table 4 Comparison between Pseudo DGPS signal values and its compensated values in fixed position

		Average position	Standard deviation
Pseudo measurement	Latitude	0.73 m	0.87 m
	Longitude	0.56 m	0.62 m
	Distance	0.92 m	1.06 m
Corrected value	Latitude	0.16 m	0.13 m
	Longitude	0.28 m	0.22 m
	Distance	0.32 m	0.26 m

Table 5 Simulation condition for compensation of pseudo DGPS signal in moving state

DGPS	Velocity	Time	Goal Pos.	
Distance	v	Δt	Latitude	Longitude
0.5 m	1 km/h	250 ms	10 m	10 m

Table 4 는 Fig. 7 을 가우시안 화이트 노이즈를 포함한 의사 DGPS 측정값과 LSM, Kalman Filter 를 동시에 적용하여 보정한 관측값을 비교한 결과이다. 기준점(0,0)에서 관측값의 평균 위치는 0.92m 에서 0.32m 로 65% 보정이 되었고, 표준 편차도 1.06m 에서 0.26m 로 75%로 안정되는 것을 검증하였다.

두 번째, 이동 상태에 대한 DGPS 신호로서 가상의 직선 주행 경로에 대한 의사 DGPS 신호를 생성하였다. 이동좌표에 대한 DGPS 신호 S_t 는 식 (27)과 같이 나타내었다.

$$S_t = z_t + (x_0 + vt) \quad (27)$$

Table 6 Comparison between Pseudo DGPS signal values and its compensated values in moving state

		Std. deviation
Measurement	Latitude	0.89 m
	Longitude	0.41 m
	Distance	0.98 m
Correction	Latitude	0.47 m
	Longitude	0.23 m
	Distance	0.52 m

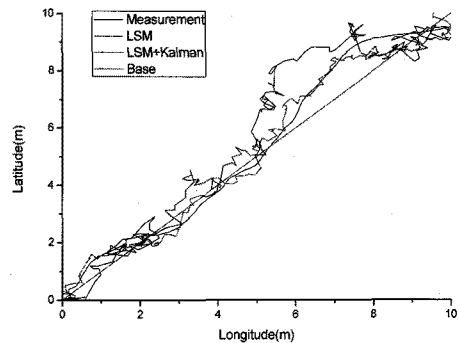


Fig. 8 Compensation of Moving DGPS signal to Simulation

초기 위치(x_0)에서 이동 속도(v)와 시간(t_s)에 의한 주행 경로와 AR(1) 모델에 의한 의사 DGPS 신호(z_t)로서 정의하였다. 이동 좌표에 대한 시뮬레이션 조건은 Table 5 과 같다. 보정 결과는 Fig. 8 과 같이 관측값(Measurement), LSM, LSM+Kalman 그리고 기준이 되는 경로(Base)로 나타내고 있으며, 차량이 일정한 속도로 이동하면서 관측된 DGPS 신호는 Table 6 에서 보여주듯이 표준 편차가 0.98m 에서 0.52m 로 47%정도 보정되었다.

5. 측정 평가 시스템 구성 및 측정결과

DGPS 측정 검증은 부산 407 삼각점(triangulation point)에서 하였다. 삼각점은 삼각측량을 통해 이미 위치를 알고 있는 국가기준점으로 경도와 위도, 높이, 평면직각좌표, 방향각 등의 성과를 제공함으로써 측량의 평면위치결정을 위한 기준자료로 활용되고 있다. 부산 407 삼각점의 위치는 Table 7 과 같이 위도 35°11'37.8569, 경도 129°04'38.0182 이며, Fig. 9 와 같이 DGPS 수신기를 설치하였다.¹¹

Table 7 Position information of DGPS set in Busan 407

Latitude		Longitude	
DD'MM'SS	DD.DD	DD'MM'SS	DD.DD
35°11'37.86	35.193849	129°04'38.02	129.077227

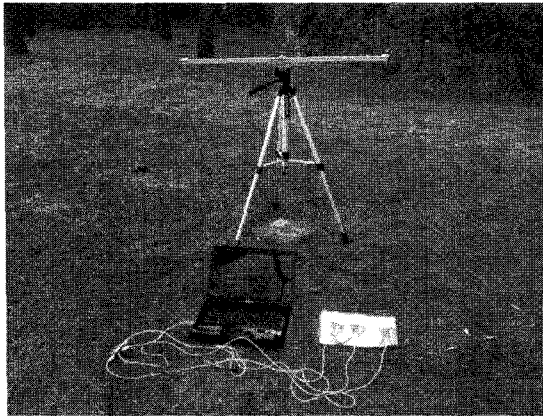


Fig. 9 Measurement of triangulation point in Busan 407

LSM 과 Kalman Filter 를 이용하여 보정된 위치 오차는 Table 8 과 같이 삼각점 좌표에서 2.2m 의 측정 오차가 0.48m 가 되었다. 또한 관측 위치 정보의 표준편차도 2.63m 에서 0.93m 의 보정이 되었다. 즉, DGPS 에 의한 관측값이 기준점이 되는 삼각점에 대해 78%로 위치 오차가 보정되고, 관측값의 표준 편차가 65%로 감소하게 된다. Fig. 10 에서 Table 8 의 결과를 관측값 (Measurement), LSM, LSM + Kalman 를 기준점(Base)을 기준으로 비교하였다. LSM 에 의한 보정값은 관측값에 비해 기준점에 근접하고, Kalman Filter 에 의해 가우시안 화이트 노이즈가 제거되는 것을 확인할 수 있다.

Table 8 Comparison between measured DGPS signal and its compensated signal in fixed point

		Average Position	Standard deviation
Measurement	Latitude	1.53 m	2.17 m
	Longitude	1.58 m	1.48 m
	Distance	2.20 m	2.63 m
Correction	Latitude	0.43 m	0.35 m
	Longitude	0.21 m	0.86 m
	Distance	0.48 m	0.93 m

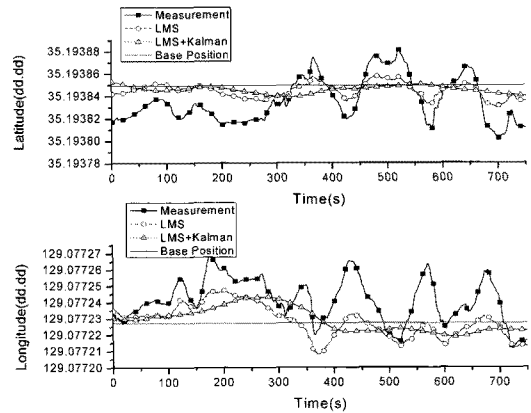


Fig. 10 Measurement result in stationary state

이동에 따른 DGPS 위치 오차를 측정하기 위해 일반 차량에 수신기를 장착하였다. 측정 결과는 Fig. 11 과 같이 관측값(Measurement), LSM, LSM + Kalman, 기준이 되는 경로(Base)로 표현하였으며, LSM 및 LSM+Kalman 에 의한 보정 경로가 기준 경로에 관측값보다 근접하였다. 기준 경로에 대한 오차는 표준편차로서 Table 9 에 정리하였다. 이동 경로에 따라서 DGPS 위치의 표준 편차가 0.8m 에서 0.45m 로 약 44%만큼 오차가 보정되었다.

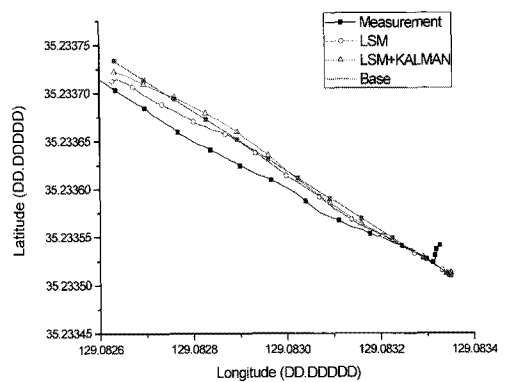


Fig. 11 Measurement result in moving state

Table 9 Comparison between DGPS measurement value and corrected value in moving state

	Std. deviation
Measurement	0.80 m
Correction	0.45 m

6. 결론

정확한 기준점과 위치에 대한 정보가 부족한 실외 환경에서 위치 정보를 보정하여 무인 자율 주행 차량의 주행 안정성을 높이는데 기여하고자 하였다. 이를 위해 차량의 Localization 에 필요한 위치정보를 일반적으로 사용되는 GPS 가 아닌 저가의 DGPS 를 이용하여 정밀도를 높일 수 있었으며, 고정밀도의 측정 장치인 RTK-GPS 에 비해 이동성을 높일 수 있었다. 또한 DGPS 장치에 본 논문에서 제안한 LSM 과 Kalman Filter 를 이용하여 AUV 가 도로주행을 위한 기준이 될 수 있는 0.6m 이하의 위치 오차를 얻을 수 있었다. 이것을 AR 모델을 이용한 정지 및 이동 상태에 대한 시뮬레이션 실험을 통해 검증할 수 있었고, 정지 및 이동 상태에서의 실험과 비교한 결과 유사성이 있음을 확인 하였다. 향후 본 연구를 발전시켜 AUV 에 적용하여 경로계획을 통한 차량 주행 제어에 대한 연구를 계속하고자 한다.

후 기

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 특수환경 Navigation/Localization 기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2010-(C7000-1001-0004))

참고문헌

- Chung, B. M., Seok, J. W., Cho, C. S. and Lee, J. W., “Autonomous Tracking Control of Intelligent Vehicle using GPS Information,” Journal of KSPE, Vol. 25, No. 10, pp. 58-66, 10, 2008.
- Zhao, Y., “Vehicle Location and Navigation Systems,” Artech House, Inc., pp. 43-46, 1997.
- Yeoun, H. B., Kang, Y. W. and Lee, K. D., “A Low-Cost Precise Position Information Service System Using the DGPS Mechanism,” KIPS Transactions: Part C, Vol. 13-C, No. 1, pp. 221-225, 1995.
- Ramjee, P. and Marina, R., “Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems,” Artech House, Inc., pp. 53-70, 2005.
- Dennis, G. and Michael, R., “Advanced Engineering Mathematics, 2nd Edition,” Jones and Bartlett Publishers, pp. 589-592, 2001.
- Monhinder, S. G. and Angus, P. A., “Kalman Filtering Theory and Practic,” Prentice Hall, Inc., 1993.
- Hwang, I. H., “State variable Estimate Method of Dynamic systems (II)- Apprehension and Applied of Discrete Kalman filter,” Journal of ICROS, Vol. 15, No. 3, pp. 47-51, 2009.
- George, E. P. B., Gwilym, M. J. and Gregory, C. R., “Time Series Analysis - Forecasting and Control 3rd edition,” Prentice Hall, Inc., pp. 1-18, 1994.
- Jo, S. S. and Son, Y. S., “Time series analysis,” Yulgok Publishers, pp. 175-187, 237-238, 1999.
- U-blox AG, “LEA-5H, LEA-5S, LEA-5A, u-blox 5 GPS and GALILEO Modules-Datasheet,” pp. 3-7, 2007.
- National Geographic Information Institute(MLTM in South Korea), <http://nbns.ngii.go.kr/gcp2/jsp/main/main.jsp>