

DWT와 GPS/INS융합 알고리즘을 이용한 수면이동체의 위치 인식

Localization of the surface vehicles using DWT and GPS/INS fusion algorithm

유한동¹, 이인욱², 최원석³, 이장명[†]

Han-Dong Yoo¹, In-Uk Lee², Won-Suck Choi², Jang-Myung Lee[†]

Abstract This paper proposes a study for accurate surface localization system using DWT(Discrete Wavelet Transform) and GPS/INS fusion algorithm. Because the propagation in the underwater is not passed by characteristics of the medium unlike the ground, the sonar system like DVL is used instead of GPS. But since these systems are installed on the seafloor and operated, a long time is required for installation and navigation systems are limited outside of the range area. And it is difficult to estimate position in a three-dimensional considering the depth in actual marine environment. In this paper, before the development of underwater localization system, precisely estimated position system is proposed in a two-dimensional by developing surface localization system using removing noise and disturbance with DWT and relatively inexpensive GPS and INS sensor.

Keywords: Discrete Wavelet, Kalman filter, Localization, Navigation, Sensor Fusion

1. 서론

무인잠수정은 수중 환경에서 운용되기 때문에 수중에서 자신의 위치를 파악할 수 있는 항법기술이 필수적으로 요구되며 특히 대한민국의 연근해와 같이 조류가 강한 곳에서는 중요성이 더욱더 크다. 그리고 수중으로 전파가 통과하지 못함으로 인해 GPS (Global Positioning System) 센서를 이용한 위치의 관측이 불가능하다. 이로 인해 무인잠수정에 직접 DVL (Dopler Velocity Log)을 탑재하거나 LBL (Long Base-Line), SBL (Short Base-Line), USBL (Ultra Short Base-Line) 등의 외부에서 위치를 인식할 수 있는 장비를

이용하게 된다. 하지만, 이 센서들은 시간이 지남에 따른 누적오차가 발생 하지 않지만, 고주파의 영향을 받고 수중에서 센서의 전달 특성 때문에 긴 시간의 간격의 주기를 가지게 된다. 일반적인 수중항법으로 LBL을 많이 이용되나, 해저 면에 Transponder를 설치하여 운영하기 때문에 설치 작업에 많은 시간이 소요되고 센서 설치 범위를 벗어난 영역에서의 항법이 곤란한 단점이 있고 USBL은 장비를 선박에 고정하거나 수중 인양 물체에 Transducer를 장착하여 사용하기 때문에 배가 움직일 수 없는 좁은 지역에서 사용할 수 없으며 인양비가 많이 소요된다. 또한, 설치 후 Transponder의 정확한 좌표를 파악해야 하므로 위치 추정이 중요한 요소로 작용한다^[1,2].

이처럼 수중 항법 시스템을 개발하는데 있어서 DVL과 같은 고가의 센서가 요구되거나 외부 초음파 시스템과 같은 여러 장비가 설치되어야만 가능하다. 그리고 실제 해양 환경에서 위치인식을 할 때 깊이까지 고려하여 실제 해양에서 3차원 상으로 위치를 추정하는 것은 많은 어려움이 따른다. 그리고 수중과는 달리 2차원상의 환경인 수면에서

Received : Aug. 15. 2014; Reviewed : Sep. 26. 2014; Accepted : Nov. 26. 2014
* This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant funded by the Korean Government (MSIP) (NRF-2013R1A1A2021174)
† Corresponding author: Electronic Engineering, Pusan National University, Jangjeon-Dong, Geumjeong-Gu, Busan, Korea (jmlee@pusan.ac.kr)
1 Electronic Engineering, Pusan National University (handong1696@pusan.ac.kr)
2 Electronic Engineering, Pusan National University (inuk1696@pusan.ac.kr)
3 Electronic Engineering, Pusan National University (wonsuck1696@pusan.ac.kr)

는 잔물결과 같은 수면의 파동이 위치인식에 사용되는 자세 값에 외란으로써 영향을 미칠 수 있다. 그렇기 때문에 수중 항법 시스템을 개발하기에 앞서 비교적 저렴한 GPS와 INS를 이용하여 항법시스템을 개발함으로써 2차원 상으로 위치 인식을 보다 더 정밀하게 향상시키는 작업이 필요하다^[3,4].

본 논문에서는 수중에서의 위치인식에 앞서 수중위치인식의 시작이 되고 기준이 되는 수면에서의 위치인식을 정밀하게 구현해보고자 한다. 그리고 INS 센서의 내부적 잡음과 수면에서의 외란의 영향을 줄이기 위해 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform)을 적용하여 INS의 Roll/Pitch값과 가속도 센서의 데이터를 보정한 뒤 GPS와의 결합을 위하여 칼만 필터(Kalman Filter)를 이용한 수면 위치 인식을 구현해보고자 한다.

2. DWT 및 칼만 필터

2.1 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이블릿 변환은 일반 웨이블릿 변환에 비해 계산 시간을 충분히 감소시키면서도 원신호를 분석하고 조합하는데 충분한 정보를 제공한다. 또한 level 과 threshold 값의 조절을 이용하여 능동적인 필터링을 구사 할 수 있으며 이러한 특징으로 이동 평균 필터나 저역 필터보다 원신호의 왜곡을 효과적으로 피할 수 있다.

그림 1과 같이 원 신호를 저주파 성분인 approximation과 고주파 성분인 detail로 분할할 수 있는데, 이러한 과정은 고역 필터와 저역 필터를 동시에 사용하는 2가지 필터링의 개념으로 확장될 수 있다^[5,6].

$$y_{LPF}(k) = \sum_n x(n) \bullet h_n(2k - n) \quad (1)$$

$$y_{HPF}(k) = \sum_n x(n) \bullet g_n(2k - n) \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 나타내는 h_n 와 g_n 는 저역 필터, 고역 필터로 h_n 와 g_n 의 관계는 식 (3)과 같다.

$$g_n(L-1-n) = (-1)^n h_n(n) \quad (3)$$

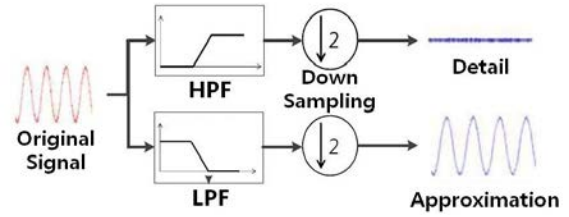


Fig. 1. Multi-resolution analysis of the discrete wavelet transform

여기서 L 은 필터의 길이이다. 두 개의 필터들은 홀수 인덱스로 서로 교차되는 역 버전이다. 저역 필터에서 고역 필터로의 전환은 $(-1)^n$ 에 의해 제공된다^[6,8].

한 단계(level)위의 스케일 함수는 한 단계 아래의 스케일 함수와 웨이블릿 함수의 합성(convolution)으로 표현할 수 있다. 이는 저주파영역을 다시 고주파영역과 저주파영역으로 분해할 수 있음을 의미한다. 원 신호에서 그렇게 뚜렷하지 않은 주파수 대역(예를 들면 잡음)들은 아주 작은 진폭을 가졌을 것이며, 이산 웨이블릿 변환을 통해 어떤 주요 정보의 데이터 손실 없이 필터링된다^[7].

본 연구에서는 정확한 위치인식을 위하여 원 데이터의 왜곡을 최소화 시키는 이산 웨이블릿 변환의 특성을 이용하여 INS센서의 내부적 잡음으로 인해 생기는 가속도 데이터의 잡음을 제거하고 잔물결과 같은 외란이 존재하는 수면에서 측정된 자세데이터를 효과적으로 보정한다.

2.2 칼만 필터

센서를 통해 획득한 정보는 매 측정마다 일정하게 유지되는 정규 오차와 확률적 특성을 가지는 불규칙 오차를 포함하고 있는데, 정규 오차의 원인으로는 바이어스 및 환산계수 오차 등이 있고, 이 오차들은 실험을 통해 추정치를 구하여 보상해주어야 한다. 그리고 불규칙 오차는 시간에 따라 불규칙하게 변하므로, 측정된 센서의 위치 정보로부터 측정이 불가능한 정보를 추정하여 재구성하는 상태 추정 기법이 필수적이다.

이처럼 동적 시스템에서 최적의 상태 변수를 추정하려면 실시간으로 처리할 수 있을 만큼 연산량이 많지 않으면서 실제 상태 값과 추정된 상태 값의 오차를 최소화할 수 있는 필터를 필요로 하는데, 이 조건을 만족하는 것이 바로 칼만 필터(Kalman filter)이다. 칼만 필터는 확률에 근

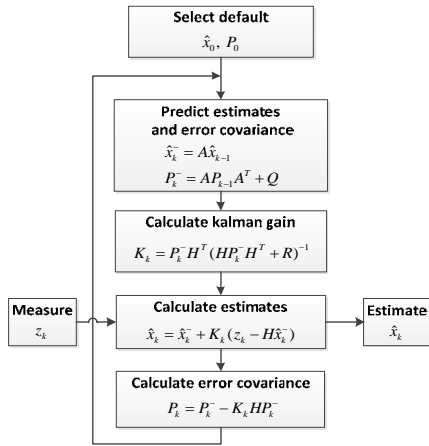


Fig. 2. The order of the Kalman filter algorithm

거한 방법으로써 상태변수로 이루어진 확률공간을 구성하고 시스템의 동적 특성과 측정 값을 이용하여 상태변수를 추정하는 근거가 되는 확률을 결정하는 방법으로서 위치 추정 분야에서 자주 이용되고 있다.

\hat{x}_k 는 칼만 필터를 통해 최적화하고자 하는 상태변수이고 A 는 이전 단계에서 다음 단계로 연결하는 변환 계수를 나타내고, P 는 오차 공분산 값으로 시스템 오차인 Q 와 이전 상태의 공분산 값으로 구할 수 있다.

실질적으로 칼만 이득 K_k 를 구하는 과정에서 시스템 방정식에서 구한 공분산 P 와 관측오차 R 을 통해서 칼만 이득을 구할 수 있다. 이렇게 구한 칼만 이득을 통해 예측된 상태변수 값으로 올바른 상태변수 값을 구할 수 있게 된다. 또한 한 번의 계산으로 끝나는 것이 아니라 이 칼만 이득으로 현재 상태의 P 값을 재조정함으로써 다음상태에 영향을 미치게 된다^{9,10,14}.

본 논문에서는 칼만 필터의 측정치로 GPS로부터 획득한 위치 정보를 이용하고, INS의 오차로 칼만 필터의 시스템 모델을 구성함으로써 위치추정을 구현하였다.

3. GPS/INS 융합 알고리즘

GPS와 INS의 센서융합을 이용한 위치 추정에서 INS는 절대위치와 상대위치를 동시에 추정할 수 있는 가속도 센서 (Accelerometer), 자이로 센서 (Gyroscope), 지자기 센서 (Magnetic Compass)로 구성되어 짧은 시간 동안 정밀한 위치 정보를 제공한다. GPS는 위성신호로부터 실시간으로

계속 신호를 수신 받아 위치를 보정 하므로 누적 오차를 가지지 않아 장시간의 안정적인 절대 위치 정보를 제공한다. 만약 이 두 가지 항법을 따로 사용한다면 INS 센서는 장시간 사용할 경우 누적 오차가 발생하게 되며 GPS는 짧은 시간에 대한 오차가 크고 GPS 신호를 수신 받지 못하는 환경에서 신호의 단절이 있을 수 있기 때문에 서로의 특성을 보완하여 사용해야 실외에서 정밀하게 위치추정을 할 수 있다^{4,10,13}.

INS에서 출력되는 가속도 데이터를 이중 적분하게 되면 현재위치를 추정할 수 있으나 시간이 지날수록 INS의 특성잡음이나 이동거리에 따른 누적오차가 발생하여서 목표 이동위치와 크게 차이나는 오차를 발생시킨다. 또한 GPS의 경우 항체의 위치정보를 위도 경도를 이용하여 절대위치 정보로 제공하지만 지형에 따른 오차가 크게 나타난다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 GPS위치정보와 INS에서 출력된 데이터를 가공한 위치정보를 칼만필터 알고리즘을 사용하여 융합된 항법 알고리즘을 사용한다^{11,12,17}.

칼만 필터의 적용을 용이하게 하기 위해서는 시스템 모델을 쿼터니언으로 변환하는 과정이 필요하다. 오일러 각에서 쿼터니언으로 변환시키는 공식은 식 (4)로 나타낼 수 있다⁹.

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\phi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{\psi}{2} + \sin \frac{\phi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\psi}{2} \\ \sin \frac{\phi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{\psi}{2} - \cos \frac{\phi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{\psi}{2} \\ \cos \frac{\phi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\psi}{2} + \sin \frac{\phi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\psi}{2} \\ \cos \frac{\phi}{2} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\psi}{2} - \sin \frac{\phi}{2} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\psi}{2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(4)의 $q_{1,2,3,4}$ 는 각각의 쿼터니언을 나타내고 이러한 과정으로 얻어낸 Roll/Pitch각과 INS에서 출력되는 지자기 x, y, z 를 사용하여 식(5)과 같은 공식을 이용해 오일러 각 Yaw를 얻을 수 있다¹⁵.

$$\begin{aligned} Yaw &= \arctan(Yh / Xh) \\ Xh &= X \cos \phi + Y \sin \theta - Z \cos \theta \sin \phi \\ Yh &= Y \cos \theta + Z \sin \theta \end{aligned} \quad (5)$$

이렇게 획득한 방향 값과 가속도 값을 이중 적분한 위치 값 x, y, z 를 통해 수중운동체가 이동한 거리를 산출하고, GPS 센서에서 얻은 출발지와 도착지의 위도, 경도를 거리

값으로 변환하여 보상하게 되면 실제 이동한 거리에 최대한 근접한 결과를 얻을 수 있게 된다^{[49],[11]}.

4. 시스템 구성

본 논문에서 제안된 시스템 구성은 그림 3과 같다.

INS에서 출력되는 각속도와 지자기 값을 이용하여 Roll/Pitch/Yaw를 뽑아낸다. 그리고 뽑아낸 Roll/Pitch 값과 가속도 값을 DWT 처리하여 Yaw값과 함께 GPS 데이터와 융합하기 위하여 칼만 필터 알고리즘에 넣는다. 그리고 GPS의 위치 데이터를 칼만 필터의 측정 값으로 입력하여 최종적으로 보정된 위치 추정 값을 얻는다.

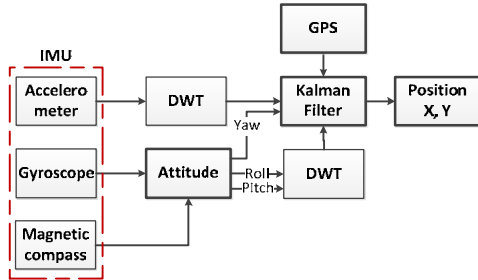


Fig. 3. Diagram of Localization of the surface vehicles

4.1 센서 및 MCU

실험에 사용된 센서로는 3축 자이로스코프, 3축 가속도 센서, 3축 지자기 센서가 내장된 E2BOX사의 EBIMU-9DOFV2를 사용하였으며, GPS모듈은 UIGOODS사의 UIGGUB01-R004를 사용하였다.

그리고 출력되는 가속도나 각속도 데이터의 경우 대부분 소수점자리가 포함되는 데이터이다. 이러한 점을 고려하여 실험에 사용된 MCU로는 부동소수점 연산에 좋은 성능을 보이는 TMS320F28335를 사용하였다.



Fig. 4. EBIMU-9DOFV2, UIGGUB01-R004, TMS320F28335

Table 1. Specifications of EBIMU-9DOFV2

Sort	Specification
Range of gyro	$\pm 300^\circ/\text{sec}$
Range of accelerometer	$\pm 2g/4g/8g$
Accuracy	$\pm 2^\circ$
Resolution	0.01°
Baud rate	9600bps

Table 2. Specifications of UIGGUB01-R004

Sort	Specification
Accuracy	2m
Operational Limit	515m/s
Baud rate	9600bps

4.2 이동체

수면 주행 실험은 소형 AUV를 이용하여 수행되었다. 실험에 사용된 AUV로는 수면에서 최고 속도 2.7km/h까지 낼 수 있는 Thundertiger사의 NEPTUNE-No.5220k사용하였다.



Fig. 5. NEPTUNE-No.5220k

Table 3. Specifications of NEPTUNE-No.5220k

Sort	Specification
Surface	7.0kg
Overall length	774mm
Beam	290mm
Draft	200mm
Height	285mm
Speed	2.7km/h

5. 실험 및 결과

본 논문에서는 실외에서 정확한 수면이동체의 위치 추정을 위해 칼만 필터를 이용하여 비교적 큰 오차를 가지는 저가형 GPS 위치 정보와 누적 오차를 가지는 INS 위치 정보를 결합하였다. 제안된 시스템을 검증하기 위한 수면 실험은 세로 약13m, 가로 약7m인 부산대학교 산학협력단

앞 호수에서 수행하였고 이동체의 속도는 약 2km/h의 상태에서 실험하였다.

5.1 가속도 잡음 제거

칼만 필터만으로는 누적되는 가속도데이터의 잡음을 제거하는 데는 한계가 있다. 그러므로 DWT를 이용하여 1차적으로 내부적 특성잡음을 제거하여 이중적분과정에서 생기는 누적오차를 최소화하기 위하여 정지상태의 INS센서의 가속도 데이터에 DWT를 적용하는 실험을 수행하였다.

그림 6은 INS에서 내부적 잡음이 가장 많이 나타나는 가속도 데이터를 DWT처리한 결과이다. 필터링된 데이터는 원 데이터에 대해 잡음이 약 60%정도 줄어들었음을 확인 할 수 있었다.

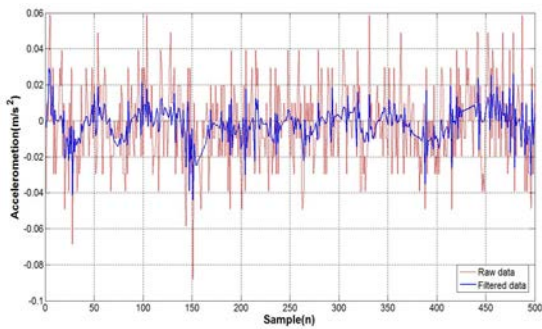


Fig. 6. Comparing raw acceleration data and filtered acceleration data in a stopped state

Table 4. Average error of raw and filtered accelerometer

Sort	Average Error (m/s ²)
Raw data	0.0178
Filtered data	0.0073

5.2 자세 값 외란 제거

수면에서의 위치인식은 지상과는 달리 Roll/Pitch값에 영향을 주는 잔물결과 같은 수면의 파동이 외란으로 작용하므로 시간이 지날수록 오차가 누적되어 최종위치 값에 큰 오류를 일으킨다. 이러한 외란으로 인한 오류를 최소화하기 위하여 DWT를 이용하여 Roll값을 필터링하는 실험을 하였다.

먼저 그림 7은 수면에서의 Roll 값과 지상에서의 Roll값을 비교한 그래프이다. 기준을 0° 로 두어 지상에서는 최대 약 ±4° 미만인 0° 에 가까운 Roll 값이 측정되었지만

지상에서와는 달리 수면 환경에서는 적게는 약 ±4.5° 에서 크게는 약 ±13.5° 의 Roll값이 측정되었다.

그림 8은 수면 파동이 포함된 Roll데이터를 DWT처리한 결과이다. 필터링 된 Roll의 변화 값이 크게는 약 ±5° 적게는 약 ±1° 미만으로 측정되었고 평균 Roll 값은 약 1/3로 크게 감소하여 지상에서의 Roll데이터와 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

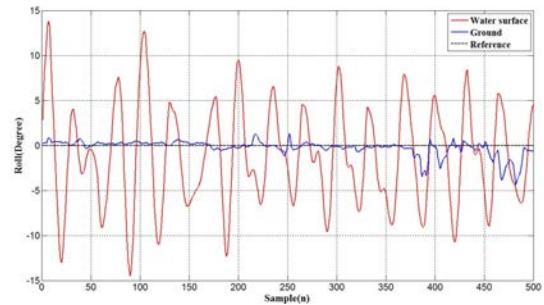


Fig. 7. Comparing roll data on ground and water surface

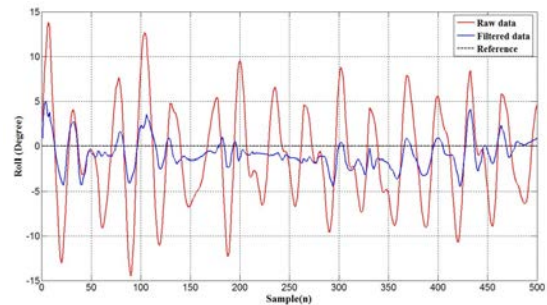


Fig. 8. Comparing raw roll data and filtered roll data on water surface

Table 5. Average data of raw and filtered roll

Sort	Average Roll (Degree)
Raw data	4.7585
Filtered data	1.5325

5.3 직선 주행 위치 측정

GPS/INS와 DWT를 적용시킨 수면이동체의 위치 인식 시스템을 검증하기 위해 부산대학교 산학협력관앞 호수에서 10m 수면 직선 주행 실험을 하였다. Reference는 그림 9와 같이 실제 호수의 길이를 측정하여 주행의 정확도를 위해 5m 지점에 way point와 10m 지점에 Finish point를 기준으로 하여 주행하였다. 그리고 Reference를 따라 주행한

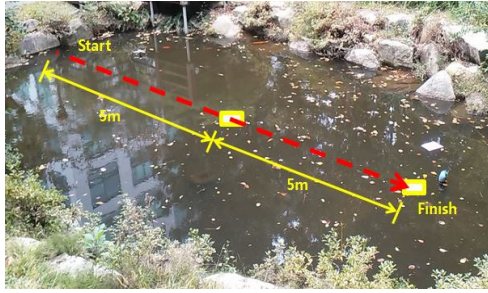


Fig. 9. Environment of straight running on surface

실제 수면이동체의 최종 위치와 Finish point사이의 거리를 측정하여 오차를 계산하였다.

그림 10은 수면에서 칼만 필터로 결합된 GPS/INS 시스템으로 추정된 직선주행 위치데이터이다. 그래프를 보면 초기에는 Reference와 비교하여 정확한 위치를 추정해주고 있지만 way point로 지정한 5m 지점을 지나면서 점점 방향에 대한 누적오차와 가속도에 대한 누적오차로 인해 Reference에서 벗어나는 것을 볼 수 있다.

그림 11은 수면에서 DWT를 이용하여 가속도의 잡음과 Roll/Pitch값의 외란을 완화시켜 위치를 추정한 값이다. 그림 10에서 나타난 결과와 달리 방향에 대한 누적오차와 가속도에 대한 누적오차가 줄어 비교적 Reference을 따라가는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 측정된 최종위치와 실제 Finish point 사이의 거리를 잰 최종 위치간의 오차는 표 6과 같다.

표 6은 직선 주행실험에서 수면이동체의 실제 최종위치와 측정된 최종위치간 오차 값을 정리한 것이다. DWT적용 후 위치인식 시스템이 적용 전 시스템 대비 약 45% 위치

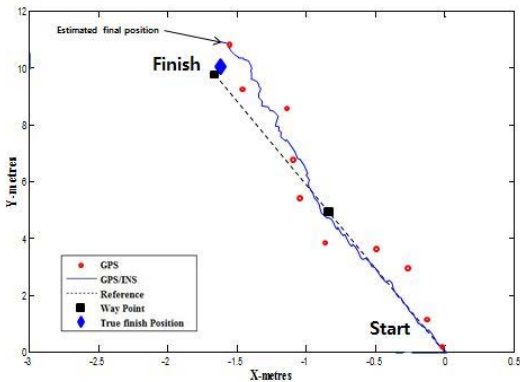


Fig. 10. Location of straight running on surface using GPS/INS fusion algorithm

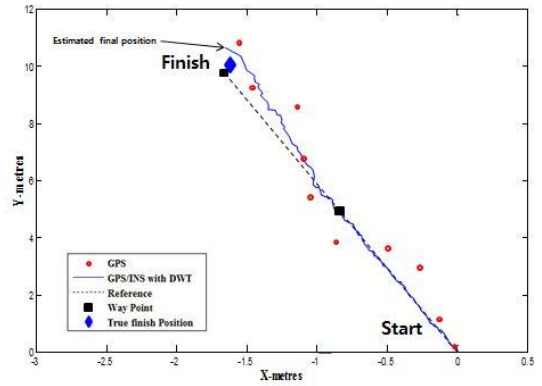


Fig. 11. Location of straight running on surface using GPS/INS fusion algorithm with DWT

Table 6. Location error of straight running on surface

Sort	Finish Location Error (m)
GPS/INS	0.4713
GPS/INS with DWT	0.2586

오차 개선율을 보여주었다.

5.4 곡선 주행 위치 측정

직선 주행에 이어 제안한 시스템의 성능 검증하기 위해 직선 주행을 실험한 동일한 호수에서 곡선 주행 실험을 실시 하였다. way point 설정은 그림 12와 같이Start point와 Finish Point, 그리고 중간지점에서 45° 에 해당하는 부분을 way point로 설정하여 궤적을 그리며 주행하였다.

그림 13은 수면에서 칼만 필터로 결합된 GPS/INS 시스템으로 추정된 곡선주행 위치데이터이다. 초기와는 달리 두 번째 way point를 지나면서 위치데이터가 방향에 대한 누적오차와 가속도에 대한 누적오차로 인해 Reference 궤적에 크게 벗어나는 것을 볼 수 있다.

그림 14는 DWT를 이용하여 가속도의 잡음과 Roll/Pitch

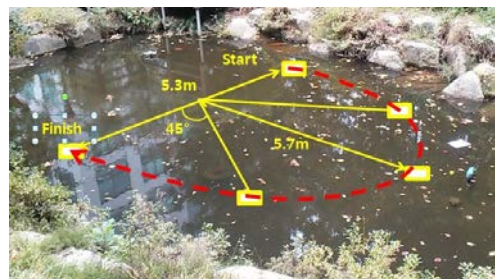


Fig. 12. Environment of curve running on surface

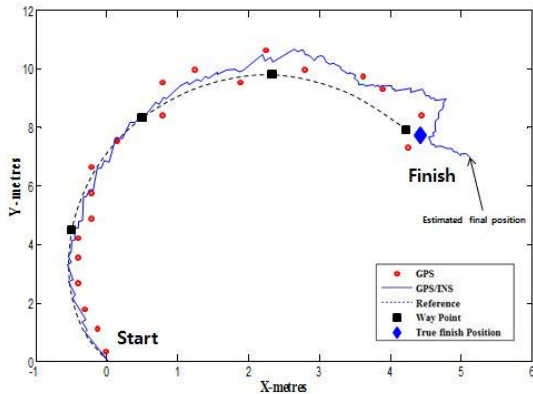


Fig. 13. Location of curve running on surface using GPS/INS fusion algorithm

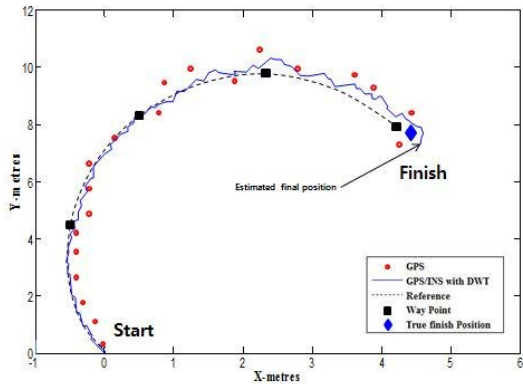


Fig. 14 Location of curve running on surface using GPS/INS fusion algorithm with DWT

Table 7. Location error of curve running on surface

Sort	Finish Location Error (m)
GPS/INS	1.2043
GPS/INS with DWT	0.5571

값의 외란을 완화시킨 곡선주행 위치추정 값이다. 그림 13에서 보여준 DWT적용 전 위치데이터와는 달리 방향에 대한 누적오차와 가속도에 대한 누적오차가 줄어 비교적 Reference 궤적을 정확히 추정해내는 결과를 보여준다.

표 7은 곡선 주행실험에서 수면이동체의 실제 최종위치와 측정된 최종위치간 오차 값을 정리한 것이다. 앞서 실험한 직선 주행실험보다 더 큰 위치오차를 확인할 수 있었으며, DWT적용 후 위치인식 시스템이 적용 전 위치인식 시스템 보다 약 54%의 향상된 오차감소율을 보여주었다.

6. 결 론

본 논문은 실제 해양에서 3차원 상으로 위치를 추정하는 것은 많은 어려움이 있기 때문에 수중 항법시스템을 개발하기에 앞서 2차원 환경인 수면에서의 이동체 위치인식 시스템을 정밀하게 하기 위해 칼만 필터를 이용한 GPS/INS융합 알고리즘을 제안하였다. 그리고 DWT를 이용하여 INS자체 고유 잡음을 완화 시킴으로써 위치크기 값에 절대적으로 영향을 주는 가속도 데이터의 정확성을 높였고, 지상과 달리 수면에서 자세값에 영향을 주는 파도와 같은 울렁이는 외란을 완화하여 위치 값의 정확도를 높이고자 하였다.

결과로는 GPS/INS융합 위치인식 시스템에서 DWT 적용 전과 적용 후의 최종위치오차가 크게 나타남을 볼 수 있었다. 그리고 직선주행 때보다 자세의 외란이 더욱 영향이 많이 미치는 곡선주행에서 위치오차는 더욱 크게 나타났고 DWT적용에 의한 오차개선을 또한 54% 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 관성센서의 오차는 수면뿐만 아니라 또 다른 환경인 수중에서도 발견될 것이라 예상된다. 그래서 다음 연구로는 GPS 위치 값 대신 수중에서 사용 가능한 DVL과 INS 센서의 융합을 이용하여 수면과 수중사이 센서 변환을 통한 위치인식과 오차개선에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] G. T. Schmidt, "INS/GPS technology trends," NATO Research and Technology Organization, pp.1-16, May 2009.
- [2] S. W. Byun, J. Y. Kim, Y. S. Joo, J. S. Woo, "Development of Underwater Position System using Short Base Line", Conference of Korea Unmanned Underwater Vehicle, May, 2008.
- [3] M. G. Kim and Y. D. Kim, "Multiple UAVs Nonlinear Guidance Laws for Stationary Target Observation with Waypoint Incidence Angle Constraint", Int'l J. of Aeronautical & Space Sci, Vol.14, No.1, pp.67-74, 2013
- [4] J. H. Lee, H. S. Kim, "A Study of High Precision Position Estimator Using GPS/INS Sensor Fusion", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49, No. 11, November 2012
- [5] Y. Xu et al., "Wavelet transform domain filters : A

- spatially selective noise filtration technique”, IEEE Trans. Image Processing, vol. 3, Nov.1994
- [6] S. H. Lee and D. H. Yoon, “Wavelet transform (Well Defined)”, 2nd Ed., JinHan Books (in Korean), 8984321109, 2003
 - [7] B. D. Yoon, H. N. Yoon, S. H. Choi, J. M. Lee, “Estimated Position of Sea-Surface Beacon Using DWT/UKF”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 19, No. 4, pp. 341-348, 2013.
 - [8] H. B. Kang, D. K. Kin, J. K. Seo, “Wavelet Theory and Its Applications”, DaeWoo 509 (in Korean), 2001.
 - [9] S. P. Kim., “Understanding of Kalman filter (Using MATLAB),” AhJin Books (in Korean), 978895761304, 2010
 - [10] J. H. Lim, C. U. Kang, "3-D Localization of an Autonomous Underwater Vehicle Using Extended Kalman Filter", Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 7, pp.130-743, October 2012
 - [11] S. H. Choi, Y. K. Kim, Y. S. Hwang, H. W. Kim and J. M. Lee, “EKF Based Outdoor Positioning System using Multiple GPS Receivers”, Journal of the Korea Robotics Society, Vol. 8, No. 2, pp.129-135, Jun 2013
 - [12] S. H. Park, J. H. Lee, S. W. Kim, J. H. Lim and J. Y. Ryu, "Moving Distance Measurement System using a Accelerometer Sensor", Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 16, no.6, pp.1300-1305, June, 2012.
 - [13] K. G. Kim, C. H. Park, M. J. Yu and Y. B. Park, "A Performance Comparison of Extended and Unscented Kalman Filter for INS/GPS Tightly Coupled Approach", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No. 8, pp.780-788 2006
 - [14] S. W. Noh, N. Y. Ko, and T. G. Kim, "Implementation of Bayesian Filter Method and Range Measurement Analysis for Underwater Robot Localization", Journal of the Korea Robotics Society, Vol. 9, No. 1, pp.28-38, Feb 2014
 - [15] J. W. Seo, H. H. Lee, J. G. Lee, and C.G. Park, “Lever Arm Compensation for GPS/INS/Odometer Integrated System”, IJCAS, Vol. 4, No. 2, pp.247-254, April 2006
 - [16] S. B. Chun, M. B. Heo, “Performance Improvement of Azimuth Estimation in Low Cost MEMS IMU based INS/GPS Integrated Navigation System”, The Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 16, No. 5, pp.738-743, January 1998
 - [17] I. S. Lee, J. Y. Kim, E. K. Jung, K. H. Jung, J. M. Kim, and S. S. Kim, "Sensitivity Optimization of MEMS Gyroscope for Magnet-gyro Guidance System", Journal of the Korea Robotics Society, Vol. 8, No. 1, pp.29-36, March 2013



유한동

2013 동아대학교 전자공학과 (공학사)
2013~현재 부산대학교 전자전기 컴퓨터공학과(공학석사)

관심분야 : 수중로봇, 노이즈 필터링, 위치인식



이인욱

2012 부산대학교 전자전기공학과 (공학사)
2013~현재 부산대학교 전자전기 컴퓨터공학과(공학석사)

관심분야 : 수중로봇, 센서융합, 위치인식



최원석

2013 동의대학교 정보통신공학과 (공학사)
2014~현재 부산대학교 전자전기 컴퓨터공학과 (공학석사)

관심분야 : 수중로봇, 마이크로 프로세서 응용



이장명

1980 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1982 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1990 USC 컴퓨터공학과 (공학 박사)

1992~현재 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 정교수
관심분야 : 지능로봇 시스템 설계 및 제어