

칼만필터를 이용한 해양선박의 위치제어에 대한 연구

† 이호 · 이승건*

† 부산대학교 대학원, *부산대학교 조선해양공학부 교수,

요 약 : 칼만이론 및 Unscented 변환 기반의 Unscented 칼만필터를 이용하여 동적위치제어시스템을 설계하였다. Unscented 칼만필터는 기존의 칼만필터처럼 비선형운동방정식을 선형화 할 필요없이 비선형운동방정식 그대로 사용할수 있다. Unscented 칼만필터를 이용하여 설계한 동적위치제어시스템을 MATLAB SIMULINK프로그램을 이용하여 해양선박에 대해 컴퓨터시뮬레이션을 진행하였다.

핵심용어 : 칼만필터, Unscented 변환, MATLAB SIMULINK,

1. 서 론

선박동적위치제어란 자체 추진작용만 이용하여 바람, 파랑, 조류 등 외부하중하에서 일정한 위치를 유지하거나 예정한 궤적에 따라 움직이는 것을 가리킨다. 근래에 들어와서 해양개발이 부단히 심해로 확장함에 따라 해양조사선, 드릴쉽, 해상보급선등 동적위치제어장치를 장착한 해양선박이 많이 늘고 있다. 동적위치제어시스템은 해양개발사업에서 없어서는 안될 시스템으로 그 중요성이 날로 부각되고 있다.

20세가 60년대초에 첫 동적위치시스템을 장착한 선박이 탄생했다. 선박의 항법기기들은 대부분 잡음을 포함한 선박의 위치와 자세정보를 제공하기에 선박의 위치정보를 필터링하여 나아가서 선박의 속도를 추정한다. 따라서 동적선박위치제어시스템에 있어서 필터설계는 매우 중요하다. 최초의 동적위치제어시스템은 PID제어기를 사용하였다. 20세기 70년대중엽 Balchen이 최적제어 및 칼만필터이론을 처음으로 동적위치제어 시스템에 도입하여 동적위치제어시스템에 큰 변화를 가져왔다. 하지만 칼만필터는 운동방정식을 선형화하여 선형화된 선박운동방정식에 대하여 실시간 추정을 진행한다. 실시간 변하는 해양환경이 작용하는 선박운동은 불확실성을 갖고 있는데 칼만필터는 선형화한 운동방정식으로 인한 제한성을 나타낸다. 최근에 들어 비선형제어이론의 지속적인 연구와 컴퓨터기술의 비약적인 발전에 따라 비선형이론을 적용한 공업시스템이 큰 인기를 얻고 있다. 따라서 비선형 이론을 동적제어시스템에 적용하는 연

구가 핫이슈로 떠오르고 있다. 본 논문에서는 Unscented 변환을 기반으로한 Unscented 칼만필터에 대해 소개하고 Unscented 칼만필터이론을 이용한 동적위치제어시스템을 구성하고 시뮬레이션 하였다.

2. 수학적모델

2.1 선박의 운동방정식

본 논문에서는 그림.1과 같이 지구고정좌표계(NED좌표)와 물체고정좌표계(b 좌표계) 2가지 좌표계를 사용하였다.[1]

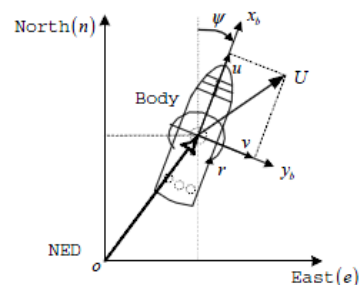


그림.1 지구고정좌표계 와 물체고정좌표계

동적위치제어시스템에서는 surge, sway, yaw등 3가지방향의 3 자유도운동만 고려한다. 위치벡터 $\eta = [n, e, \psi]^T$ 에서 (n, e) 는 물체고정좌표에서의 위치를 나타내고 ψ 는 선박의 선수각을

표시한다. 또한 속도벡터 $V = [u, v, r]^T$ 에서 (u, v)는 surge 와 sway방향의 속도를 나타내고 r은 선수각속도를 표시한다. 이때 $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ 가 선박의 속도를 나타낸다. 동적위치제어시스템에 사용될 수학적모델은 다음과 같다[2].

$$\dot{\eta} = R(\psi)^T V \quad (1)$$

$$(M_{RB} + M_A)\dot{V} + C_{RB}(V)V + D(V)V = \tau_c + \tau_e \quad (2)$$

$$\dot{b} = W_2 \quad (3)$$

$$\dot{\xi} = A_w \xi + E_w W_3 \quad (4)$$

$$Y = \eta + C_w \xi + v \quad (5)$$

여기서 $W_1, W_2, W_3 \in R^3$ 은 zero-mean Gaussian white noise 벡터, $b \in R^3$ 은 bias 벡터 항, $\xi \in R^6$ 은 고주파 상태 벡터, $A \in R^{6 \times 6}, E \in R^{6 \times 6}, C \in R^{6 \times 6}$ 은 상응한 고정매 트릭스, $v \in R^{3 \times 1}$ zero-mean Gaussian white noise 벡터이다. 식 (1)-(4)까지 다시 쓰면

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f(X) + Bu + Ew \\ Y &= HX + V \end{aligned} \quad (6)$$

3. 칼만필터 및 Unscented 칼만필터

3.1 칼만필터

20세기 70년대 노르웨이교수 balchen이 처음으로 칼만필터를 동적위치제어시스템에 도입하였다. 그는 논문에서 선박의 운동을 저주파수운동과 고주파수운동으로 나누고 칼만필터를 이용하여 선박운동에서 고주파수운동을 필터링해 내어 제거한 후 저주파수운동만 제어하는 방법을 제시하였다(그림.2). 이 방법은 동적위치제어시스템설계에서 전형적인 방법이 되었고 이후 30년간 많은 선박에 사용되었다. 하지만 칼만필터는 비선형운동방정식을 선형방정식으로 근사화하여 사용하여야 하기에 많은 제한성이 있다.

- 국부적으로 선형적이어야 한다는 가정이 성립되지 않으면 t 시스템이 불안정하다.
- 칼만필터는 비선형운동방정식을 선형운동방정식으로 변환하여 사용하여야 한다. 따라서 실시간으로 변화하는 해양환경에 완벽하게 대응하기 힘들다.
- 자코비안매트릭스 변환을 하여야 하기에 계산이 복잡하고 계산시간이 많이 필요하며 착오를 범하기 쉽다. 따라서 칼만필터의 이러한 제한성을 극복하기 위해 Unscented 칼만필터에 대해 소개하려 한다.

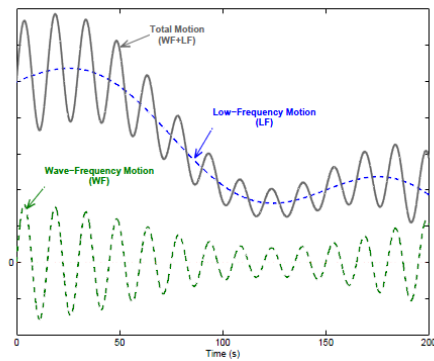


그림.2 선박운동은 저주파수운동(LF) 와 고주파수운동(WF)의 합으로 볼수있다

3.2 Unscented 칼만필터

Unscented 칼만필터의 알고리즘은 기본적으로 칼만필터와 동일하나 비선형 모델을 이용할 때 표본추출된 분산점(sampled sigma point)을 선정하여 비선형 방정식을 그대로 사용한다는 차이점이 있다. 이러한 과정이 unscented 변환이며 이를 통해 필요한 분산점 xi 는 다음과 같이 얻을수 있다[3].

$$\begin{aligned} x_i &= \bar{x} & i &= 0 \\ x_i &= \bar{x} + (\sqrt{(n+k)P_{xx}}) & i &= 1 \sim n \\ x_i &= \bar{x} - (\sqrt{(n+k)P_{xx}})_{i-n} & i &= n+1 \sim 2n \end{aligned} \quad (7)$$

이렇게 얻은 분산점들은 I에 따라 다음과 같은 비중(weight) W_i 를 가진다.

$$\begin{aligned} W_i &= k/(n+k) & i &= 0 \\ W_i &= 1/2(n+k) & i &= 1 \sim n \\ W_i &= 1/2(n+k) & i &= n+1 \sim 2n \end{aligned} \quad (8)$$

비선형 방정식 $y = h(x)$ 에서 우리가 추정하고자 하는 상태 벡터 x는, 평균이 \bar{x} , 공분산이 P_{xx} 이고 n개의 원소를 가지며, k는 분산점의 크기조절의 방향을 나타내는 크기조정 매개 변수이다. 그리고 $(\sqrt{(n+k)P_{xx}})$ 는 그림. 3의 σ_i 에 해당한다. 여기에 식(6)에서 얻은 분산점 xi를 비선형방정식 $y = h(x)$ 에 대입하여 다음과 같은식 (8)을 얻는다.

$$Z_i = h(x_i) \quad i = 0 \sim 2n \quad (9)$$

이렇게 얻은 총 $(2n + 1)$ 개의 Z_i 에 대해 비중 W_i 를 각각 곱하여 y의 추정값 (\bar{Y}, P_{xx}) 을 구할수 있다. 이렇게 얻은 값을 기

존의 칼만필터에 적용한 것이 unscented 칼만필터로서 칼만필터와 unscented 변환의 장점을 결합한 형태이다. 칼만필터의 경우 선형화를 거치면서 테일러급수 전개시 1차항만 고려하므로 비선형성이 클 경우 끝자름 오차가 크게 발생하지만, unscented 칼만필터는 최소 2차항까지 보장하여 비선형성에 강하다. 또한 선형화에 필요한 복잡한 편미분 행렬들의 계산이 불필요한 장점이 있다[4].

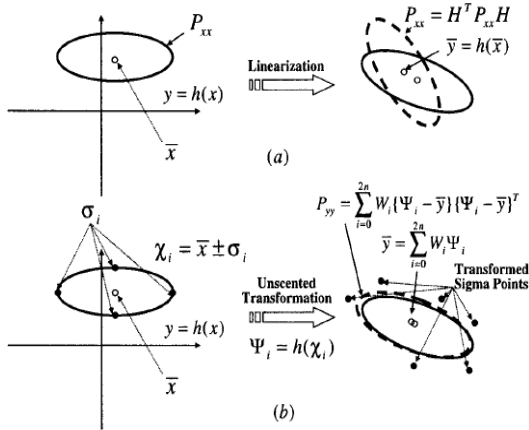


그림. 3 선형변환 과 Unscented 변환. (a) 선형변환 (b) Unscented 변환.

4. 시뮬레이션

시뮬레이션 실험은 MATLAB SIMULINK 프로그램을 이용하여 진행하였다. 실험대상 선박은 Cybership 2 이다. 실험시나리오는 선박이 초기위치 $\eta = [0, 0, 0]^T$ 에서 $\eta = [5, 5, 0]^T$ 로 이동하고 선박에 작용하는 파고는 0.5m, 파랑주파수는 0.8rad/s 이다. sample time = 200초 .

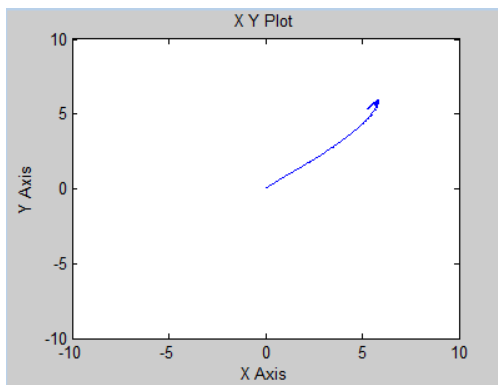


그림. 4 지구고정좌표계에서의 선박의 이동궤적.

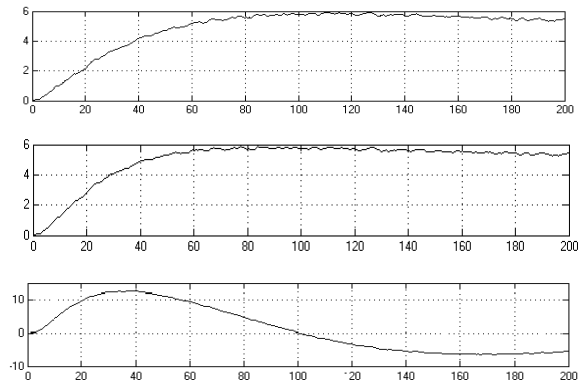


그림.5 선박의 위치 및 선수각. 위로부터 x-position, y-position, heading angle.

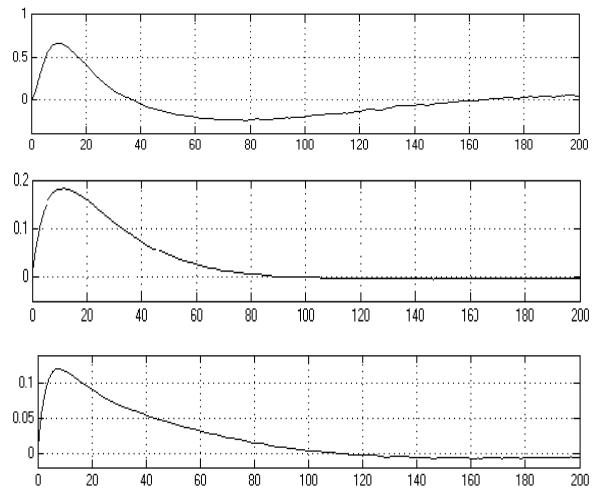


그림.6 선박의 surge, sway, yaw.

5. 결 론

본 논문에서는 Unscented 칼만필터를 이용하여 동적위치제어 시스템을 설계하였다 MATLAB SIMULINK를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 진행하였다. 실험결과를 보면 선박이 빠른 시간내에 지정된 위치에 이동하였으며 이동후 안정적으로 위치를 유지하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이승건 (2010), 선박의 내항성과 조종성
- [2] Thor I. Fossen (2011), Handbook of Marine Craft Hydrodynamic and Motion Control
- [3] Lee, D. & Alfriend, K. T. (2003), AAS, in spaceflight Mechanics 2003, ed. D. J. Scheere(Ponce: American Astronautical Society), p.1853
- [4] Julier, S. J & Uhlmann, J. K. (1997), in Proceedings of Aerosense: The 11th International Symposium on AerospaceDefense Sensing, Simulation and Controls (Orlando: Aerosense), p.182