

화기제어를 위한 선체운동 추정

Ship Motion Estimation for Fire Control

이 장 규*
지 규 인
정 학 영

서울대학교 공과대학
제어계측공학과

1. 서론

현대 해상 화기시스템은 그 효율성을 높이기 위해 수동 제어장치와 병행으로 자동제어가 가능하도록 설계되어 있으며, 이러한 화기제어시스템에 선체의 운동량 추정치가 입력으로 필요하게 되며 추정치의 정확도가 화기시스템 전체의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 이 연구에서는 선체운동의 추정을 위한 센서 시스템 구성과 필터 이론을 도입하여 센서들로부터 측정된 데이터를 효과적으로 처리함으로써 해상화기시스템에 적절한 추정자(Estimator)를 개발하는데 그 목적이 있다. 이러한 추정자는 장시간 사용에도 추정오차가 발산하지 않고 일정 오차한계를 유지해야 할 것이며 추평면과 같은 보편적인 기준좌표계에서의 운동량을 나타내어야 하고 또한 하드웨어로 실현하는 경우 값이 저렴해야 할 것이다.

해상화기제어 시스템에 필요한 정보는 선체의 횡동요(Roll), 종동요(Pitch) 그리고 선수동요(Yaw)와 같은 선체자세로 이들은 주로 자이로스코프(Gyroscope)를 써서 얻게 되고 흔히 횡동요와 종동요 값을 동시에 측정하는 수직자이로(Vertical Gyro)와 횡동요와 선수동요를 동시에 측정하는 방향자이로(Directional Gyro)가 사용된다.(1,2) 이러한 자이로스코프 이외에도 각속도변위를 측정하는 레이트 자이로(Rate Gyro)가 사용될 수 있으며 서로 다른 자이로스코프들을 함께 쓰는 센서 시스템을 구성할 수도 있다. 이 연구에서는 위에 열거한 자이로스코프들을 사용하여 몇가지 센서 시스템을 구성하고 추정자를 사용하여 그들의 성능을 비교한 후 해상화기제어시스템에 가장 적절한 센서시스템을 선정한다.

2. 추정자 설계

해상화기제어시스템에 사용될 추정자는 자이로스코프들로 구성된 센서시스템으로부터 선체운동의 측정치를 입력으로 받아 선체의 횡동요, 종동요 그리고 선수동요와 같은 선체자세의 정보를 출력으로 연속 공급하게 된다. 이 연구에서는 수정된 칼만필터 이론을 중심으로 추정자를 설계하였으며 이때 추정자의 일부로 선체운동모델과 센서시스템 모델이 포함된다. 선체운동모델은 현재 사용중인 고속정의 데이터를 서울대학교 조선공과대학에서 개발한 선체운동성능 계산 프로그램에 입력시켜 그 함정의 운동스펙트럼을 계산한 후 스펙트럼으로부터 2차 또는 4차식을 갖는 선체운동모델을 설정하였다.(3) 센서시스템모델은 수직자이로와 레이트 자이로를 단독으로 사용하거나 또는 복합적으로 사용한 센서시스템의 오차특성을 나타내는 오차모델을 설정하여 추정자에 이용하였다. 추정자의 자세한 설계과정은 저자들이 최근 발표한 연구보고서에 수록되어 있다.(4)

이와같이 설계된 추정자는 선체자세의 추정치 계산 이외에도 부수적으로 추정자 자체의 성능을 판단할 수 있는 상모분산을 계산하므로 여러가지 선체운동모델과 센서시스템모델을 복합적으로 사용한 추정자를 상호 비교하여 해상화기제어 시스템에 가장 적합한 추정자를 얻어낼 수 있다. 그러한 목적을 위하여 선체의 가상적인 실제모델을 설정한 후 그것에 추정자를 연결하도록 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 개발하여 여러가지 다른 추정자 설계를 시도해 보았다. 추정자 설계는 크게 세가지 유형으로 나누어 조사하였으며 그것은 : 1) 선체운동변수를 상태변수로 하여 그것을 직접 추정하는 경우(필터A)와, 2) 측정오차를 상태변

수로 하여 오차를 추정하고 그것을 추정치로부터 빼주어 간접적으로 추정하는 경우 (필터B), 3) 선체운동식물 센서시스템 모델식으로부터 유도하여 선체운동을 추정하는 경우 (필터C) 등이다.

3. 추정자의 성능분석

주어진 선체의 속도, 해상상태등에서 선체운동을 측정하기 위하여 추정자를 사용하지 않고 센서로부터 그 값을 직접 얻는 것과 추정자를 사용하여 얻는 것과의 차이를 비교하기 위하여 측정잡음 분산이 $(0.5\text{deg})^2$ 이고 부유오차(Drift Error) 분산이 $(60\text{deg/hr})^2$ 인 수직자이로 한 개를 써서 선체의 종동요(pitch)를 측정할 시뮬레이션 결과를 표1에 실었다. 이 표에 나타난 결과로 알 수 있는 것은 (1) 추정자를 사용하지 않는 경우 측정오차는 시간에 따라 계속 증가하여 1시간이 경과하면 표준편차 50° 가량의 측정오차를 갖게 된다. (2) 추정자에 선체운동모델을 사용하지 않는 필터 C의 경우 측정오차는 약간 적은 폭을 갖지만 역시 시간에 따라 계속 증가한다. (3) 추정자에 선체운동모델이 포함된 필터 A와 필터B의 경우 300-350초 후에 추정오차의 표준편차가 정상상태에 도달하여 일정한 값을 유지한다. 즉, 추정오차가 일정한 오차한계를 벗어나지 않게 된다.

표1. 추정자를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 종동요 측정오차의 표준편차(σ)

시간	추정자를 사용하지 않았을 때 σ (deg)	추정자를 사용했을 때 σ (deg)		
		필터A	필터B	필터C*
100초	14.3242	0.4275	0.5166	10.1437
1000초	15.9806	0.4281	0.5178	12.9752
2000초	30.4917	0.4281	0.5178	23.7338
3000초	43.9232	0.4281	0.5178	33.4802
4000초	56.3421	0.4281	0.5178	42.4575

* 필터C의 경우는 선체운동모델을 대신하기 위하여 레이트 자이로가 필요하게 되므로 측정잡음 분산이 $(0.5\text{deg/sec})^2$ 이고 부유오차 분산이 $(60\text{deg/hr})^2$ 인 레이트 자이로를 사용한 경우의 시뮬레이션 결과이다.

다음은 추정자 설계변화 또는 설계오차에 따른 결과를 얻기 위하여 표1과 같이 수직자이로 한 개를 사용하고 필터모델과 실제모델이 일치하는 경우 (가)와, 역시 수직자이로 한 개를 사용하나 필터

모델과 실제모델이 서로 다른 경우 (나, 다), 수직자이로 두 개를 사용하고 필터모델과 실제모델은 일치하는 경우 (라), 수직자이로 한 개와 레이트 자이로 한 개를 사용하는 경우 (마), 그리고 측정잡음 분산이 $(0.05\text{deg})^2$ 이고 부유오차 분산이 $(6\text{deg/hr})^2$ 인 수직자이로 한 개를 사용한 경우 (바)에 대하여 필터 A와 필터 B의 추정오차값을 표2에 수록하였다. 앞에서 언급한 것과 같이 필터 A와 필터 B는 정상상태에 도달하게 되면 오차의 한계가 고정되므로 정상상태 값을 표에 나타내었다. 표에 나타난 결과로 알 수 있는 것은

- (1) 추정자에 사용된 선체운동모델이 실제와 다를 경우 오차를 추정하여 측정치로부터 선체운동 추정값을 구하는 필터 B가 선체운동을 직접 추정하는 필터 A보다 덜 민감하다.
- (2) 다중센서를 사용하는 것이 단일센서를 사용하는 것보다 추정오차를 줄일 수 있다. 그러나 개선할 수 있는 범위는 제한이 되어 있으며 오차를 대폭 줄이려면 고급센서를 사용하여야 한다.
- (3) 각도만을 측정하는 경우 수직자이로 2개를 사용하는 것이 수직자이로 1개와 레이트 자이로 1개를 사용하는 것보다 좋은 결과를 나타낸다. 그러나 각도와 각속도를 동시에 측정하여야 하는 경우 전자보다 후자가 더 나은 결과를 갖게 된다.

표2. 추정자 설계변화에 따른 필터 A와 필터 B의 추정오차

구분	사용된 센서	필터모델과 실제모델	필터A 추정 오차 σ (deg)	필터B 추정 오차 σ (deg)
가	저급 수직 자이로 1개	같음	0.4821	0.5178
나	"	다름	0.5099	0.5183
다	"	"	0.7738	0.5188
라	저급 수직 자이로 2개	같음	0.3341	0.5148
마	저급 수직 자이로 1개와 레이트 자이로 1개	같음	0.4032	0.5177
바	고급 수직 자이로 1개	같음	0.0781	0.0785

이와같이, 수정된 칼만필터를 사용함으로써 암상화기제어시스템에 필요한 선체운동추정이 효과적으로 얻어질 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인되었으므로 마이크로프로세서를 써서 실현해 보았다. 16비트 마이크로프로세서 Z-8000을 사용하였으며 연산프로세서(Arithmetic Processor)를 따로 사용하지 않았다. 이때 칼만이득을 구하는 한 주기에 소요되는 시간이 170msec이었고, 화기제어 시스템에 사용하기 위하여는 이와 같은 계산시간을 줄이는 것이 중요한 과제가 될 것이다. 그것을 실현하기 위해서는 좀 더 계산시간이 빠른 프로세서, 예를 들어 4MHz 시속을 갖는 Z-8000 대신 8MHz 시속을 갖는 것으로 대체할 수 있을 것이다. 또한 연산프로세서를 사용함으로써 연산시간을 줄일 수 있을 것이고 필터 알고리즘을 개선하여 계산시간을 줄여야 할 것이다.

- (3) 황종홍, 이기표, "알주영 고속정의 횡파중역의 순항시의 운동성능 계산 프로그램의 개발," 서울대학교 공과대학 조선공학과, 1979.
- (4) 이장규익, "화기제어를 위한 선체운동추정," 서울대학교 공과대학 부설 생산기술연구소 연구보고서, 1984.5

4. 결론

암상화기제어 시스템에 필요한 선체운동추정을 위하여 수직자이로와 레이트자이로를 병행하는 것과 같이 다중센서 시스템을 구성하고 선체운동모델을 포함하는 필터를 설계함으로써 추정오차가 발산하는 것을 방지하고 정확도를 개선시킬 수 있다. 센서의 선정은 특정한 화기제어 시스템이 요구하는 정확도에 따라 결정되어야 할 것이며 일단 센서가 선정되면 반복적인 실험에 의하여 매개변수값을 얻어 정확한 센서모델을 얻어야 할 것이다. 화기제어 시스템에서 통상 요구하는 20 msec-50msec간격의 추정치 계산은 전용 마이크로프로세서 시스템을 설계하면 가능할 것으로 믿어나 외부조건외 변화에 따라 선체운동모델을 바꾸어 나가는 적응필터의 이용은 좀 더 성능이 좋은 프로세서가 개발된 후에 가능할 것이다. 적응필터를 사용하지 않는 경우 선체운동모델에 덜 민감한 필터방법을 채택하여 실제오차가 발산하는 것을 방지하는 것이 좋을 것이다.

5. 참고문헌

- (1) "MK 29 Heading and Attitude Unit Operation and Service Manual," Sperry Rand Corporation, March 1976.
- (2) "General Description of the LR-80 Marine Gyrocompass," Litton Systems, Inc., Document No. 16880, July 1983.