

1. 서론

최근 근대 제어 이론과 전자 공업은 방위 산업 발달에 큰 역할을 담당하고 있으며 특히 CI(Comand, Control, Communication & Intel-ligence) 개념은 국가 방위를 위하여 활발히 연구 되고 있다. [1,2]

대형 컴퓨터와 통신 기술의 급진적인 진보에 따라 C³I는 군사 계획에 있어 그 임무 완수를 위한 최적의 요소로서 이용되는 전략적 개념이다. 중앙 집중적으로 자료 처리를 가능하게 만든 대형 전자 계산기의 이용으로 최근 항공, 해상, 육상, 해저등에서 접근하고 있는 표적의 추적을 위한 방위 체제 문제들은 보유하고 있는 적절한 센서를 통하여 표적의 위치, 속도, 가속도등의 탐색, 이동중인 표적의 수, 책략중인 대상들을 감지하여 적절한 상황전개를 수반하여야만 한다. 방위 체제문제제들의 개념적 구조는 다음의 3가지로 분류할 수 있는데 센서를 사용하여 수집된 자료 처리와 방위 체제 능력내에서 수용할 용량에 따른 정보의 재분류를 취급할 추정(Estimation), 통신 시설에 관한 제한된 설비내에서 센서와 프로세스들 사이에서 정보 전송을 취급하는 통신, 그리고 센서의 위치 방향등과 화기 통제(Fire Control)을 위한 표적에대한 배치등을 포함한 제어등을 들수 있다.

방위 체제 시스템의 연구에 있어서 문제의 구조가 결정되면 실시간 자료 감소(Real Time Data Reduction)가 필수적으로 요구되며 연구 방향에 영향을 미치는 것으로, 형이 다른 다중 표적, 형이 다른 다중 센서, 연결, 대역폭, 지연등의 제한을 받는 한정된 통신 설비, 저 신호대 잡음비(SNR) 등의 요소들을 고려해야만 한다. 미니 C³I 개념하에서 통신, 데이터 베이스, 무기의 배치 및 화기 통제를 위하여 통제학적 다이나믹 시스템으로 접근을 시도 하고자 한다.

2. 포탑포(Turret Gun)의 최적설계

필터링 문제가 포함하고 있는 물리적 현상등을 고려하여 복귀가 장비하고 있는 전투기, 미사일, 함정등과 같은 다이나믹 시스템은 6자유도를 가진 운동 방정식으로 기술할수 있으며 적 표적의 위치, 속도, 방향등은 잡음과 혼합된 정보로 임의의 시간마다 레이다나 센서에 수신되어 상태 평가의 최적적방법을 이용하여 해석할 수가 있다(3). 항해(Navigation)하고 있는 목표물의 트래킹

성능 평가(Tracking Performance Evaluation)을 하기에 앞서 다음의 포탑포(Turret Gun)의 제어 문제를 고려한다.

그림 1과 같이 1차원의 포탑포류의 각 위치를 제어하는 단순한 시스템을 생각하자. 포탑포류의 명령 신호 θ_c 와 감지된 실제 신호 θ 에 의하여 오차 신호 $\theta_e = \theta_c - \theta$ 를 계산하고, 오차가 0으로 감소할 때까지 플랜트를 작동시켜 나아 가도록 하는 것을 그림 2에 보이고 있다.

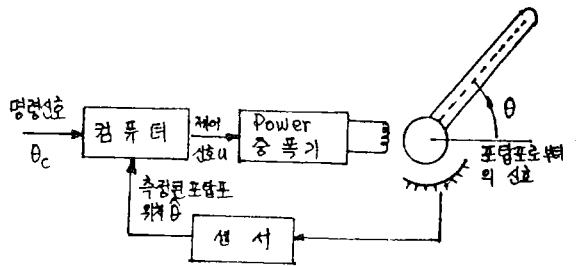


그림 1. 단일축에 대한 포탑포를 제어하는 단순시스템

모든 피드백 제어 시스템은 다음 3가지의 부 시스템(Subsystem)을 포함하고 있어야만 한다.

- (1) 플랜트의 상태를 측정할 센서
- (2) 플랜트를 추진시키는 액츄에이트(Actuator)
- (3) θ_c 와 θ 를 비교하고, 액츄에이트에 얼마만한 추진력을 인가해야 할것인가를 결정하는 제어용 컴퓨터.

아주 단순한 제어 시스템 일지라도 컴퓨터는 매우 중요한 역할을 수행한다. 포탑포의 각 위치를 제어하는 시스템에서, 컴퓨터는 순간 순간마다 얼마 만큼 올리고 내려야 하는가를 결정하여 다음에 예견되는 동작을 할 수 있도록 θ 와 $\dot{\theta}$ 의 값을 감지하여야 한다.

다른 한편으로 제어기(Controller)는 신호 θ 와 이에 포함된 잡음만 취급하게 될 것이다. 이때 제어기는 잡음을 아마도 필터링해야 할 것이며, 또 신속한 제어효과를 얻기 위하여 θ 의 최근 값에서 $\dot{\theta}$ 를 추론하여 다음 단계를 예측해야 한다.

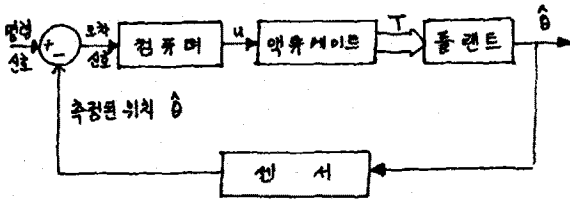


그림 2. 그림 1에 대한 블록선도

관측기, 마사일과 같이 많은 자유도를 가진 복잡한 시스템들의 트래킹을 위한 또 다른 컴퓨터는 표적들의 이동 변화를 추정(Estimation)할 트래킹 센서에 수집된 정보를 정리하여, 순간 순간마다 몇개의 상태 변수들을 지휘 통제 하면서 포탑모에 명령 신호를 전달 해야 한다.

그림 1에 대한 다이내믹 모델은

$$J\dot{\theta} + b\theta = T \quad (1)$$

로 주어지며, 여기서 J는 관성, b는 댐핑계수, T는 인가 토크이다.

(1)식에 대해 잡음의 영향을 고려한 다이내믹 상태 방정식은

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + G(t)w^1(t)$$

$$w^1(t) = N(0, 1) \quad (2)$$

이때, 이때 플랜트 상태 변수를 센서로 측정한 방정식은 다음과 같이 주어지며

$$y(t) = C(t)x(t) + H(t)w^2(t)$$

$$w^2(t) = N(0, 1) \quad (3)$$

$w^1(t)$ 와 $w^2(t)$ 는 서로 독립인 Gaussian 잡음이라 가정한다. 이때 다이내믹 방정식(2)와 (3)에 의하여 그림 3과 같이 주어지는 Kalman 필터를 구현할 수 있다.

그림 3에 주어진 포탑모 제어 시스템에서 Kalman 필터를 이용하여

$$\hat{x}(t) = E[x(t) | y(t)]$$

을 구하며, 이 경우 최적제어를 수행하는데 있어 실제 상태 변수 $x(t)$ 대신에 $\hat{x}(t)$ 를 사용하여 최적인 Controller를 설계한다.

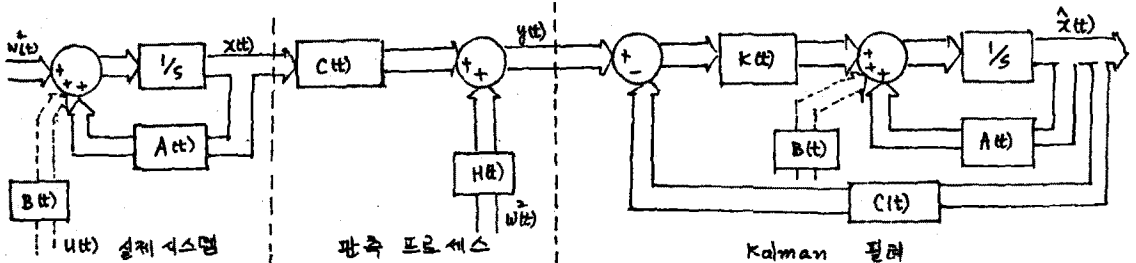


그림 3 포탑모 제어를 위한 Kalman Filter

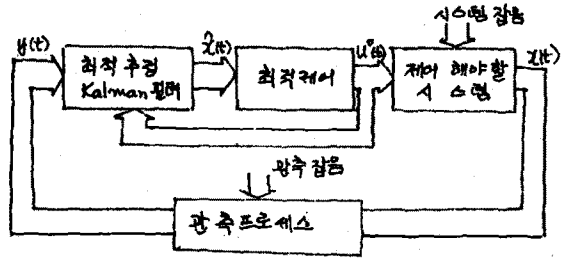


그림 4. 포탑모 제어를 위한 필터와 최적제어와의 관계 포탑모의 Actuator 입력 신호 $u(t)$ 를 최적화 하기 위해서는 오차에 대한 시간 적분과 동작 수행에 사용된 rms(Root Mean Square) 제어 입력 $u(t)$ 의 시간 적분의 합으로 평가(Performance) 함수를 기술할 수 있다. 이 경우 평가 함수는

$$J = \min_{dt} E \left[\int_0^T (Q(t) \bar{x}(t) + R(t) \bar{u}(t)) \right] \quad (4)$$

포탑모 Fire Control에 있어서 적 표적을 파괴하고 나면 (4)식의 둘째항은 제어가 완료 되었음을 의미한다. 지금까지 기술된 내용은 적 표적을 추적한 다음, 포탑모에서 공격을 시작하여 적 표적을 파괴할 수 있는 장비의 최적설계에 관한 내용이라 할 수 있다.

3. 적 표적 트래킹

비행중이거나 이동중인 표적은 다음의 추계학적인 다이내믹 방정식으로 기술할 수가 있다.

$$\dot{z}(t) = a(t)z(t) + b(t)v(t) + g(t)w^1(t)$$

$$m(t) = c(t)z(t) + h(t)w^1(t)$$

여기서 $z(t)$ 는 상태 벡터로 관측할 수 없으며 (Un-observable), $m(t)$ 백파를 통하여서만 정보를 얻을 수 있다. 또 $w^1(t)$ 와 $w^2(t)$ 는 상호 독립인 Gaussian 프로세스로 정의한다. 이때 입력 벡터 $v(t)$ 는 일정한 속도와 방향에서는 상수로 주어지나, 표적이 전략적 행동을 동반할 시는 불확실한 랜덤한 것으로 생각한다. 특히 전략적인 행동을 하는 경우라면 Semi-Markov 프로세스로 주는 것이 적합하다. 이동 표적에 행적이 없다면 이의 추적이나 탐색에 Kalman 필터를 적용할 수 있고, 전략적 행적이 일어나

트래킹에 실패 할 경우에 입력벡터 $v(t)$ 를 semi-Markov로 기술하여, 적응필터 개념을 도입해야 한다. 추계학적 미분방정식(4)에서 전략적 책략이 존재할 때 불확실한 입력항 $v(t)$ 는 바이아스(Bias)의 벡터이므로 최적 바이아스 추정자(Estimator),

$$\hat{v}(t) = E[v(t) | m(t), 0 < t < T]$$

를 구할 수 있어야 한다. 여기서 기호 E는 수학적 기대값(Expectation)을 나타낸다. 만약 $v(t)$ 가 조건부 Gaussian으로 분포되어 있을 경우에는 $v(t)$ 에 대한 최적인 필터(Optimal Filter)가 존재한다(5,6). 이때 최적 바이아스 추정 방정식은

$$\begin{aligned} \dot{\hat{v}}(t) = & -p(t)b(t)\langle k(t)k(t)\rangle\langle \\ & \hat{z}(t) - (a(t)z(t) + b(t)v(t)) \rangle. \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\begin{aligned} \dot{p}(t) = & -p(t)b(t)\langle k(t)k(t)\rangle \\ & b(t)p(t). \end{aligned} \quad (6)$$

에서 $p(t)$ 는 이득 행렬이고, $k(t)$ 는 필터에서 구해지는 Innovation 프로세스의 평방 편차이며, $\hat{z}(t) = E\{z(t) | m(t), 0 < t < T\}$ 이다. 방정식(5)와(6)의 오프-라인 해법은 다음과 같이 고려할 수 있을 것이다

$$\begin{aligned} \hat{v}(t) = & (I + p(0) \int_0^t b(s)\langle k(s) \\ & k(s)\rangle b(s) ds) \langle v(0) + \\ & p(0) \int_0^t b(s)k(s)\langle k(s) \\ & \hat{z}(s) - (a(s)z(s) + b(s)v(s)) \rangle ds \end{aligned} \quad (7)$$

또

$$p(t) = I + p(0) \int_0^t b(s)\langle k(s)k(s)\rangle b(s) ds \quad p(0) \quad (8)$$

여기서 $p(0)$ 는 초기이득 행렬, $\hat{v}(0)$ 는 $v(t)$ 에 대한

초기 추측 입력이다.

$\hat{v}(t)$ 를 얻게되면 용이하게 $E\{z(t) | m(t), v(t), 0 < t < T\}$ 를 구할 수 있으리라 사료된다.

4. 결 론

본 연구의 결과는 복귀의 빈번한 도발에 직면하고 있는 우리의 실정에 적합하고 경제적인 극산 군사장비의 개발에 그 목적이 있다. 적 표적물의 위치, 속도, 방향등을 추적 탐색하여, 포함모에 명령신호를 전달해서 접근하고 있는 표적을 최대로 파괴하기 위한 방법을 제시하여 줄 것이다.

Mini-C³ 문제를 시작하여 최적인 C³ 시스템으로 전환해 나가야 할 우리의 실정에 비추어볼때 이와 같은 연구의 자금 효과는 지대하리라 사료된다. 산업적인 자금

효과로서는 Robotics의 Manipulator의 추정과 최적 제어자 설계, 레이더의 방향제어, 철단, 용접등의 자동화 장치, 해저 탐사나 석유 시추등에서 불확실한 매개변수들의 산정법 까지 응용이 가능하게 해주리라 생각한다. 그리고 Kalman 필터의 산업적 응용과 잡음의 영향하에 있는 다이내믹 시스템의 효율적 운용에 대한 방법론을 제시하여 줄 것이다.

5. 참 고 문 헌

1. M Athans, W. B. Davenport, Jr., E. R. Ducot, and R. R. Tenney, Surveillance and Target Tracking, Proceeding of the fourth MIT/ONR Workshop on Command-Control-Communication(C) Problems October 1981.
2. 이 만영, "CI와 스토캐스틱 콘트롤에 관하여," 대한전기학회지, Vol. 33, No 1, 1984, pp. 14-25.
3. P. Garnell, Guided Weapon Control System, Second Edition, Pergamon Press, Oxford, New York, 1982.
4. R. A. Howard, "System Analysis of Semi-Markov Processes," IEEE Trans. Military Electronics, Vol. MIL8, 1964, pp. 114-124.
5. T. U. Hawawani, "An Optimal Approximation for a Certain Class of Nonlinear Filtering Problems, Ph.D. Dissertation, Oregon State University, Corvallis OR, March 1983.
6. R. S. Lipster, and A. N. Shiriyayev, statistics of Random Processes II Applications, Spring-Verlag New York 1978.

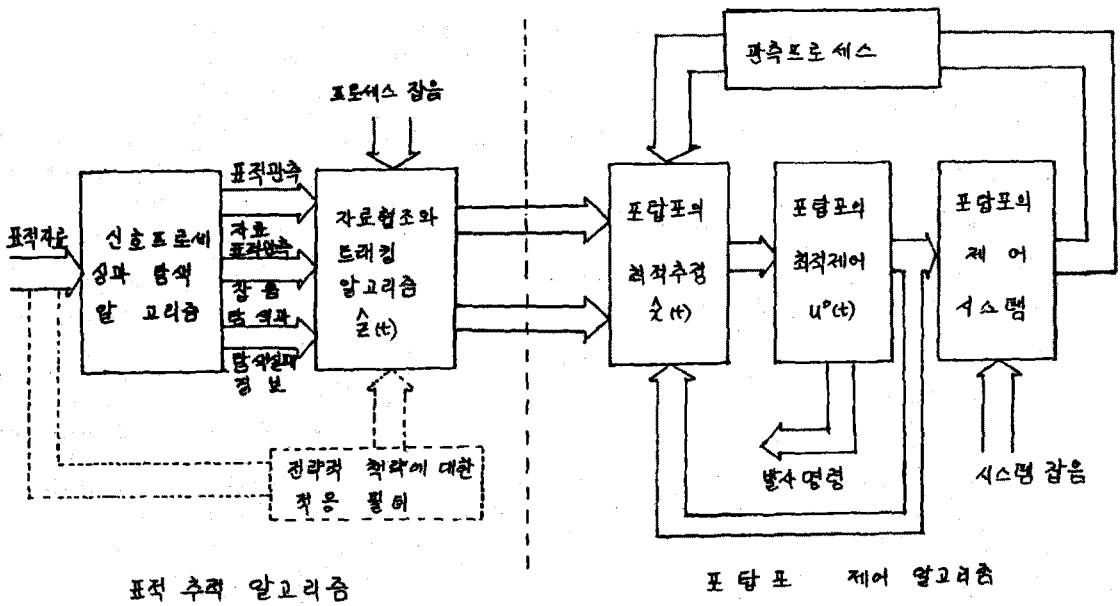


그림 5. 표적 트래킹과 포탑포 제어 발사 시스템