

C³I와 推計學的 制御 (Stochastic Control)의 應用

李 萬 炯

(부산대학교 정밀기계공학과)

1. 序 論

電子工業은 防衛産業發達에 획기적인 역할을 담당하고 있으며, 특히 戰略的 C³I (Comm - and, Control, Communication, and Intelligence) 概念을 도입하여, 國家防衛를 위한 研究가 美國의 여러 大學들과 國防省 傘下 연구기관에서 활발히 進行되고 있다. [1-6]

이 글에서는 C³I에 대한 개략적인 概念을 소개하고, 推計學的 (Stochastic) 관점에서 C³I가 實戰을 위해 어떻게 應用되고 있는가를 고찰하기 위하여 최근에 發表되고 있는 非線型 필터링 (Nonlinear Filtering), 適應필터링 (Adaptive Filtering) 最適制御 문제들을 소개하고자 한다.

最近 컴퓨터와 通信技術의 급진적인 진보에 따라 C³I는 軍事計劃에 있어 그 임무완수를 위한 最適의 要素로서 이용되는 戰略的 개념이다.

C³I는 中央集中 데이터 處理를 위한 超大型 컴퓨터의 효용에 기반을 두고 1960年度에 美國에서 시작되었다. 이러한 中央集中處理 裝置는 통신시설과 직접 相互連結되어 디지털 데이터를 命令指揮所 사이에 電送함으로써 그 운용 효율을 極大化시킬 수 있도록 하였다.

中央集中의 資料處理를 가능하게 만든 컴퓨터의 출현은 陸上, 航空, 海上, 海低 등에 이동중인 표적 (Moving Target)의 追跡을 위해 推計學에 바탕을 둔 Kalman-Buchy 필터 [7], 확장된 (Extended) Kalman 필터 [8,9] 그리고 여러가지의 非線型 推定 (Nonlinear Estimation) 알고리즘 [10,11,12,13], 最適化 (Optimization) 理論, 확정 (Identification) 등을 가능하도록 해주고 있다.

먼저 推計學이 C³I에 應用되는 것을 다루기 전에 C³I에 대한 검토를 한 후, 制御工學 分野中에서 推計學的의 역할 그리고 C³I와의 관계를 檢討해 보기로 한다.

2. C³I의 紹介

가. C³I의 定義

C³I에 대하여 여러가지로 定義되고 있으나 가장 적합한 定義를 내리기는 극히 어려운 일이다. C³I는 情報와 指示의 습득, 수집, 프로세싱, 평가 再配給등을 통한 航空, 陸上, 바다에 있는 我軍의 人的資源 및 施設들을 적시에 最適의 판단결정을 수반함으로써 그 利用의 효율성을 높여주는 수단으로 단순히 定義하고자 한다.

네가지 要素로 이루어진 C³I는 서로 相關關係를 가지고 유지되고 있으며 그 各各의 특성은 다음과 같이 分類할 수 있을 것이다.

- 命令 (Command) : 目的한 바를 수행하기 위하여 任務를 부여할 대상과 결정
- 統制 (Control) : 割當된 임무, 목적들에 대한 各參加者, 裝備들의 관리
- 통신 (Communication) : 모든 參加者들 사이에서 서로 情報의 교환
- 知能 (Intelligence) : 敵의 상태 (State)와 目的의 추정 (Estimation)

C³I의 이 네가지 構成要素에 있어서 공통된 要素는 情報處理로서 이것은 다음의 두가지 目的을 수반한다.

첫째, 그들이 解決할 수 있으며, 가장 重要하다고 사료되는 문제에 대해 利用할 수 있는 參加者, 장비의 선정,

둘째로, 각 임무를 띤 要素들이 그 할당된 目的과 만나게 될 確率을 최대로 해주는 것이다.

C³I 는 종종 軍事力증강기 (Force Multiplier) 라고도 불리우는데 이는 좋은 C³I 가 현재 保有하고 있는 능력보다 效率的으로 부여된 任務를 수행할 수 있기 때문이다.

예로 AWACS (Airborn Warning and Control System) 는 C³I 의 한 構成成分으로서 對空防衛에 있어 戰鬥機와 地對空미사일들의 作戰을 지원하는 체제로 가장 效率的으로 주어진 여건하에 情報를 수집하여 指揮官에게 적절한 任務를 수행할 수 있도록 도와주는 最新의 裝備이다.

또 다른 例로서는 英國의 아르헨티나 戰爭에서, 英國의 Mini-C³I 体制은 수적으로 열세인 英國軍에게 효율적인 戰鬥를 수행할 資料들을 공급하여 주었고, 각 交戰에서 최대의 作戰效果를 갖도록 유도하여 勝利를 안겨 주었다.

C³I 에서 相互關係 (Relationship) 概念은 C³I 의 主 目的이 作戰任務를 수행하는 중에 다른 要素들을 支援해 준다는 것을 의미한다.

戰爭狀況下에서 중요한 任務要素 (Mission Element) 는 敵威脅을 제거할 수 있는 戰鬥員들과 軍事裝備라 할 수 있다. 따라서 C³I 는 그들의 效用性 (Effectiveness) 과 生存 (Survivability) 을 최대화하기 위하여 사용된다.

그러나 C³I 要素들에 있어서 技術的 (Technical) 인 것과 作戰的 (Operational) 인 관계는 사람의 觀點에 따라 조금씩 다르게 기술된다.

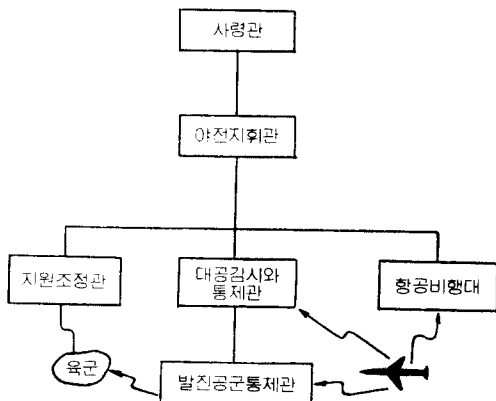


그림 1. 사령관의 통제 시스템

司令官에게 그의 戰鬥資產 (例, 보유장비, 구성전투요원들) 등을 관리할 수 있는 資料를 공급해 주며, 다른 한편으로는 그러한 資產들에게 作戰指揮者는 司令官으로부터 하달된 그들의 임무를 부여하고, 그 임무수행에 필요한 情報를 준비하는 人力源 (Source) 으로써 C³I 를 평가할 것이다.

그림 1 은 命令의 일반적인 組織과 空中 (Air) / 陸上 (Ground) 戰의 결합에서 戰術 空中作戰을 위한 統制要素들을 개괄적으로 보여 줌으로써 司令官과 각 地域參加者들의 역할을 보여 주고 있다.

이 그림의 각 블록은 C³I 시스템과 參加者들과 함께 C³I 의 構成要因들을 보여주고 있다.

예로 戰略爆擊機는 空軍單位部隊 지휘관뿐만 아니라 陸軍野戰지휘관을 통한 사령관에서 전투에 직접 참여하고 있는 統制要素의 세 가지 유형까지 權限 (Authority) 의 上下委任 (Top Down Delegation) 에 입각한 C³I 要素들의 집합체에 의해 관리되어지는 것으로 다음 事項들이 고려되어야만 한다.

- 空中監視体制과 制御要素들 (상황실)
- 空軍과 空軍命令사이의 無線연락을 지원할 支援조정관
- 戰鬥飛行團과 비행대대가 군사행동을 취하는 戰術空軍基地에서의 명령조직

C³I 應用을 고려할 때 戰略的 (Strategic) 對 戰術的 (Tactical) 과 民 (Civil) 對 軍 (Military) 의 구별이 2次元的으로 주로 해석되어진다.

戰略的과 戰術的 C³I 에 대한 定義는 아래에서 설명하듯 이 職權의 수준 (Level) 과 계획작성의 時間限界에 기초를 두고 있다.

- 戰略的 C³I : 임무의 目的들이 國家의 수준에서 결정되어지고 進歩的으로 계획 (비록 그것의 전모가 실행될 때 周邊環境에 맞도록 변경될 수도 있지만) 된 임무를 지원한다.
- 戰術的 C³I : 임무의 특정目的과 細部的인 계획이 상황의 전개에 따라 (국가 수준의 指針과 일반目的에 의해 制限되지만) 그 상황들에 대응하여 결정되어진다.

C³I 에 대한 任務強調는 軍事的이지만 民間航空機의 交通統制 (Air Traffic Control)

도 이와 똑같은 구별을 가지고 있다.

美國의 民間航空機 統制는 空港들 사이의 飛行統制와 같은 戰略的인 요소들과 각 空航에서 착륙, 이륙과 같은 경우에 행하는 戰略的 統制要素를 포함하는 경우로 구분되기도 한다.

命令시스템 (Command System) 개발은 요즘 上部 (Higher Authority) 에 軍事狀況의 보고와 國家의 전지역과 命令階級組織社會내의 하부에 까지 命令전달을 지원할 대규모 容量의 컴퓨터와 資料通信시스템을 應用하도록 유도하고 있다.

美國의 경우에는 다음 3 가지의 탁월한 開發 프로그램을 配置하여 運用하고 있다.

- WIS : The World Wide Military Command and Control System(WWMCCS) Information System, 보다 나은 技術이 개발되고 作動上의 向上에 따라 10여 년전의 WWMCCS 基本라인으로 부터 컴퓨터 하아드웨어, 소프트웨어 패키지 通信을 개량한 多重서비스 프로그램 軍事要素가 그들의 상황을 上部에 報告할 수 있게 하고, 上部로 부터 命令을 받고 그리고 中間수준에서 주어진 상황과 命令情報를 프로세스할 수가 있는 시스템이다.
- E-4B : The Advanced Airbone Command Post, 通信과 統制協助能力을 갖고 있도록 특별히 개조된 보잉 747 로 核爆發 후 國家的 統制要員들과 空軍 통제실의 總司令官에게 生存命令센터 (Survivable Command Center) 를 제공해 준다.
- TFCC : The Tactical Flag Command Center, 情報프로세싱과 狀況전시(Display)에 의해 海軍機動艦隊 (Naval Task Group) 의 기함 司令官을 지원하는 시스템이다.

統制시스템은 任務要素들의 방향에 대해 Closed Loop 관계를 포함하고 있기 때문에 그것들은 傳統的으로 센서에 기초를 둔 시스템이다.

統制시스템에 대한 다음의 開發프로그램은 주로 防空網, 地對標의 攻擊 (Ground-Target Attack), 그리고 Antiship 파괴와 같은 특별한 오퍼레이션 任務를 지원하는 데 필요한 多重센서에 의해 영향을 받는다.

- AWACS : E-3A Airbone Warning and Control Surveillance 와 統制要素, 對空防衛에 있어서 전투기와 地對空 미사일을

지원하며, 장거리 探知用레이다, 畫面콘솔 (console)을 장비하고 友軍 飛行機와 敵軍 飛行機의 追跡探索과 동시에 여러곳에서 전개되는 交戰의 統制를 지원하는 통신장비를 가지고 활동하고 있다.

- PMES : The pave Move Engagement System, AWACS에 대응되는 地對空 시스템으로 突擊軍隊의 2次 編成地域에서의 탱크中隊行列과 같은 아주 중요한 標的들에 대해 實施 標的情報 (Real-Time Target Information)를 제공한다. 攻擊阻止軍 (Assault Breaker) 프로그램의 한 부분으로 불리워지는 PMES 레이다와 그것에 관련된 컴퓨터의 畫面이 개발된 우수한 裝備를 장착하고 있다.
- MATCALs : The Marine Air Traffic Control and Landing System, 개량된 3세대 民間ATC 시스템과 비슷한 自動誘導 着陸制御를 합하여 수행한다. 作戰의 極한 상황중에서도 作戰的 對空 오퍼레이션을 지휘할 수 있도록 設計되어 있다.

通信 (Communication) 시스템은 전자 (電磁, Electromagnetic) 적 威脅과 직접적인 攻擊으로부터의 符號가 C³I의 通信要素에서 아주 심각하게 대두되고 있는 문제이다.

最近의 발달된 通信시스템들은 새로운 C³I 와 軍事武器시스템에 의해 필요한 곳과 연결하고, 資料分配를 신속 원활히 하기 위하여 큰 情報容量과 새로운 能力을 가지고 있어야 하며, 美軍은 아래의 대표적인 裝備를 배치하려 하고 있다.

- Secure AJ Voice : 敵의 妨害電波로 부터 我軍의 裝備를 방호하여 원활한 通信體制를 구축하기 위해 航空에서 사용하는 경우에는 UHF, 地上에선 VHF의 대역폭에서 通達가능한 시스템들로 전환하려 한다.
- TRI-TAC : 디지털型으로 원거리 通信을 제공할 地上에서 다른 地上으로 通信可能한 장비를 개발중에 있다.
- JTIDS : The Joint Tactical Information Distribution System, 任務要素와 Interface 할 C³I 요소 사이에 冑(jam) 抵抗用 安全디지털 通信을 제공할 장비를 말한다.

C³I의 知能 (Intelligence) 시스템 成分으로서는 그것의 分類하는 방법에 따라 여러가지로 해석될 수 있기에 討論은 쉽지 않다.

일반적으로 開發에 力點을 두고 있는 것은 다음 세가지 문제에다 焦點을 두고 있다. 즉 敵軍에 관한 Raw-Data를 얻기 위한 센서(Sensor)와 수집 프로세싱, 敵軍의 상태와 의도(예, 전쟁순서, 공격목표 등)를 결정하기 위한 情報프로세싱, 軍指揮官들이 作戰計劃을 수립하는 데 필요한 수집된 情報의 신속한 分配와 그 處理로 구분할 수 있다.

나. C³I에 필요한 技術

1970年度에 디지털通信의 발달은 超大型 컴퓨터와 함께 C³I의 領域을 더욱 확대시켜 주었다. 지금까지 수집되어 貯藏되어 있는 情報와 衛星通信은 거대한 컴퓨터連結網과 함께 C³I의 중추가 되며, 미래에 展開될 명령과 방위 체계에 대해 핵심적인 역할을 담당하게 될 것이다.

現代 C³I의 컴퓨터連結網은 서로 局部的으로 설치된 컴퓨터들로 구성되어 있으며, 有事時 商業的인 시스템 역시 이 전체의連結網을 위해 存續하도록 대처해야만 할 것이다.

현재의 技術開發은 기존 C³I를 持續시키면서 훨씬 많은 양의 資料를 취급할 수 있도록 分布된 소프트웨어(分布된 자료처리와 데이터베이스)의 開發이 강조되고 있다.

컴퓨터와 컴퓨터 通信網은 그 連結이 복잡하다. 단, 각 컴퓨터에 공급되는 업무에 대한 우선순위의 부여 및 그 統制 또한 앞으로 研究開發되어야 할 것이다.

오늘날 이 시스템은 같은 종류의 共通된 命命언어를 가지고 資料를 교환하면서 그 복잡성을 解決하고 있으나 시스템 相互間的 協力을 보다 높은 수준까지 達成시키기 위해서 中央集中式으로 一元화된 資料處理方式을 선택하여야 할 것이다.

또 주어진 데이터를 근거로 하여 下達된 命命과 統制가 지속되면서 공격을 가하고 공격후 軍事力을 再編成하기 위해 분포되어있는 데이터를 재수집하고 이를 바탕으로 한 새로운 命命과 通信網의 구축이 요구될 것이다.

비록 現代의 디지털 技術은 정보를 처리하고 記憶시키고, 전달하는 能力은 크게 증가시켰지만 "데이터 홍수"를 處理하지는 못하고 있다.

開發된 센서와 信號處理裝置는 보다 많은 데이터를 처리하도록 設計되어야 할 것이며, 컴퓨

터들도 보다 빠른 速度로 처리하여 기억시켜 나가도록 해야한다.

결과적으로 情報運營시스템에서 보다 정확한 技術的 프로그램을 製作하기 위해서, 近代統計學, OR, 意思決定理論을 이용한 최적인 意思決定시스템을 개발하고 있다.

이 시스템裝置들은 문제에 대해 직접 情報를 최소로 줄이고 그 代案을 만들어 意思決定者가 적극적으로 그 裝置에 적응해 나가도록 해 주는 것이다.

最近 흥미있게 대두되는 것은 Knowledge - Based 시스템인데 이는 可能한 應答의 가지수가 너무 많아 人間이 빨리 處理할 수 없는 狀況에서는 매우 성공적으로 結論을 얻을 수 있을 것이다.

戰略上으로 이러한 시스템은 政治的, 軍事的 그리고 經濟的 여건에 기초를 둔 중요한 應答에 대한 意見을 제시해 주는 데 사용될 수 있을 것이다.

새도하는 데이터를 처리하기 위한 다른 重要한 分野 즉 人間과 機械사이의 Interface문제인데, 비록 相互關聯되어 전개되는 터미날은 어떻게 設計해야 하는지 알고 있으나 데이터가 無限히 많은 경우에는 人間과 機械사이의 Interface 문제를 잘 이해하지 못한다.

自動的으로 판단에 도움이 될 이 시스템의 用送가 증가함에 따라 使用者는 선택을 위한 기계와의 相互作用을 주시해야 하므로, 지금 발달하지 못한 人間과 機械사이의 관계를 규명짓는 소프트 科學에 많은 研究投資가 병행되어져야만 한다.

다. C³I 오퍼레이션과 시뮬레이션

불행하게도 C³I 概念은 아주 빠른 속도로 進歩되어가는 경향때문에 상황의 변동에 適應시켜 나가기 위해서는 막대한 經費의 支出이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 수행하는 데 있어 비용이 거의 들지 않고 실제 作戰下에서 展開될 위험부담이 없도록 해줄 수 있는 강건한 시스템으로 發展시켜 나갈 수 있는 方法들이 개발되어야만 한다.

本節에서는 C³I 시스템들의 效率增大를 위한 요구사항들과 그 測定法을 알아 보고 시스템과 그들 요소의 발전과정과 評價를 할 수 있게 하는 시뮬레이션 接近法을 고찰해 보기로 한다.

超大型 컴퓨터에 입각한 시뮬레이션方法 역시 費用이 소요되며 그것의 開發과 オペ레이션의 運用 또한 결코 쉬운일은 아니다.

C³I에 要求되는 것으로 “指揮者는 무엇을 아는 것이 必要한가?”라고 하는 간단한 擬問의 여지가 없는 이 質問에 대하여 만족할 만한 答辨은 어렵다. 왜냐하면 그것은 다른 것들 가운데서 어떤 水準의 命숨이 포함되어 있으며 紛爭狀況이 무엇에 관한 것이며, 얼마나 많은 經驗을 指揮官이 가지고 있으며, 그의 選擇권 그에 소속된 兵力 및 軍事裝備, 그가 가진 知性에 따라 위의 質問에 대한 答이 좌우된다.

超精密度를 갖는 센서와 빠른 通信은 적당하게 변화하는 정도의 局部的 전개상황에 대해서 指揮者가 새로운 入力을 넣어 주지 않아도 컴퓨터가 직접 意思決定을 할 수 있도록 해 주었다.

C³I의 센서体制는 要求된 情報과 데이터가 適時에 필요한 장소에서 이용할 수 있도록 擴散시켜 주는 것이 강조 되어야만 한다.

意思決定裝置를 가진 시뮬레이션이 C³I 시스템 수행에 있어서 決定的으로 必要한 大量의 情報員으로 알려져 있다.

시뮬레이션하는데 要求되는 形態는 아직 자세히 파악되어 있지 않지만 그러나 일반적 定義에 의하면 그것은 다음의 事項들을 취급해 주어야 하므로 그 領域은 광범위하다.

- 命숨의 重要事項들과 命숨의 수준
- 多重通信과 그 특성
- 情報센서와 자동화된 데이터 프로세싱
- 原爆과 관련된 데이터 機能
- 實狀況과 戰爭시나리오
- 人間과 機械와의 Interface

시뮬레이션은 命令과 監督의 의를 피고 시스템 遂行特性和 연관되어 있지 않으면 안된다. 다시말하면 시간지연, 정도, 결정, 해결과 같은 手段들이 命令과 監督의 실제유통, 즉 標的의 파괴, 破損과 살상, 陸上 혹은 海上의 監示, 戰鬪 혹은 危機의 출현과 관련을 갖지 않으면 안된다.

成功 또는 失敗에 대한 절대적이고 만능적인 指標가 없기 때문에 시뮬레이션은 주어진 條件下에서 最적인 모델과 命令裝置를 사용함으로써 比較評價를 行하여야만 한다.

命令裝置는 戰爭과 危機에 영향을 미칠 그

환경과 시나리오와의 相互作用을 염두에 두고 行하여야 한다. 따라서 兩陣營의 戰爭게임의 시뮬레이션은 要求하는 많은 단계를 거쳐 施行되어져야 한다.

그림 2는 최근 要求條件에 대한 시뮬레이션 模擬概念을 간략하게 보여주고 있다. 이것은 필수적으로 自動操作되는 兩陣營의 戰爭게임을 나타내고 있다.

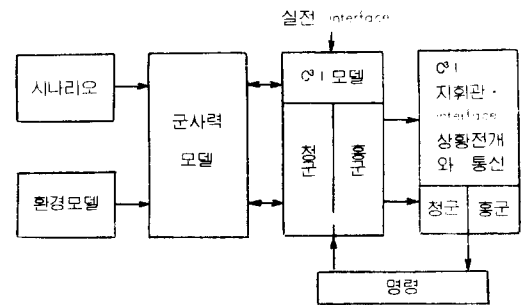


그림 2. 일반적 C³I 시뮬레이션

重要한 要素들로서는 軍事力모델, C³I모델 命令狀況展開와 命令綜合入力 루우프로 구성 되어 있다.

軍事力의 모델은 시나리오에 의한 일련의 디지털 戰鬪모델과 衝突레벨들을 推定하는데 참고가 된다. 地形, 날씨 그리고 또다른 환경 요소는 시나리오를 적합하도록 해 줄 水準에서 모델化하는 것이 필요하다.

두번째 중요한 成分인 C³I部分의 소프트웨어 구성요소들은 知能센서, 통신의 상호연결 展開된 상황운영, 原爆과 自動프로세스를 위해 개발되어야 할 것이다.

戰爭에서 C³I를 통한 데이터交通은 情報를 제공해 주며, 그 시스템은 指揮官에 전달되도록 해 준다. 指揮官은 그래프 狀況度를 보며 情報를 계속 수집하여 주어진 상황에 적절한 상황관란을 내린다.

戰鬪에 참가한 軍事力에 대한 指揮官의 명령은 모델化된 通信組織을 통하여 다시 下達되고 軍事力은 그들이 상황하에서 지닌 여건에 따라 재운용된다.

靑軍의 管理가 강조되고 있는 동안에 靑軍의 지휘관은 靑軍作戰에 대해 적절히 대처해 나갈 소프트웨어를 확인하여 管理하는 것이 필요하

다.

指揮官들을 훈련시키는 장치로서 시뮬레이션 模擬實驗의 그 잠재적 價値는 과대평가되어 지 않는다. 시뮬레이션과 실제 狀況練習은 다음과 같이 비교할 수가 있다.

시뮬레이션은 시스템과 그 변화를 評價하는데 빠르고 값싼 수단이며, 실제 狀況練習은 시뮬레이션의 程度를 높여주고 補充해 주는 수단으로서, 또 궁극적인 調查方法으로 필요한 것이다. 마지막으로 시뮬레이션 技法은 局地的인 紛爭에서 뿐만 아니라 실제로 있을지 모르는 대규모의 全面戰과 같은 경우까지 사용 가능하다.

현재 C³I의 技術水準은 여기서 언급하고 있는 것과 같이 정밀한 模擬實驗으로 유지되어야 하고 시뮬레이션을 위한 필요한 裝備와 충분히 우수한 人的 資源, 研究와 經費가 뒷받침되어야 이를 수행하여야 한다.

3. C³I에 應用되는 最近制御理論

現代科學의 기술적 진보는 防禦命令, 감독 및 통신등에 있어서 一大 革新的인 역할을 담당하고 있다. 戰鬪能力을 향상시킬 수행능력, 용량, 종합적 機能들을 가진 C³I 시스템을 運用하는데 있어 상호 연관된 일반적인 시스템을 開發製作 이용하고자 할 때 여러 전문적인 분야가 포함되어 있다.

效率的인 C³I 体制을 오퍼레이션하는 데 있어 우수한 施設과 兵器가 요구되어 있으며, 이들 대부분이 最新制御理論, 近代數學, OR, 意思決定理論이 응용되고 있다. 여기서 局部的으로 制御工學分野가 실제 어떻게 이용되고 있는지를 檢討해 보고자 한다.

모든 誘導兵器制御와 誘導시스템들은 古典的 制御理論으로 설계 제작되어 왔었다. 1868年 조속기에 관한 Maxwell의 研究에서 시작하여 1930年代 벨研究所의 Nyquist와 Bode 등의 성공적 연구기여에 까지 지속되었다.

世界 2次大戰동안 레이다와 銃砲의 높은 정확도의 필요에 따라 이 古典的 技法들은 전쟁이 끝날 때까지 技術者와 科學者들에 의해서 응용되어 왔다. 아직도 많은 分野에서 이 古典的 技術은 制御기술자들의 기초적인 技法으로 신뢰되고 있다.

古典的 方法으로 制御시스템 設計의 필수적

특성은 安全度, 잡음, 혹은 非線型的의 각 영향을 分離하여 고려해 주고 적절한 절충에 도달할 때까지 계속하여 設計節次를 행하는 접근법이다.

誘導미사일 루우프를 생각해 보자. 이 때 목적은 비록 遮斷阻止地域에서 실패할 率을 최소화되도록 해주는 것이지만, 이것은 실제 設計過程에서 거의 고려해 주지 않는다.

특별한 誘導루우프 대신 模型이 선택되어지며 충분히 큰 루우프利得을 갖도록 하여 安定狀態에서 요구된 정확도를 만족시키는 것으로 설계를 하게 된다. 루우프는 Nyquist선도가 적합한 이득과 位相여유에 도달할 때까지 보상回路를 사용하여 安定化시킨다.

시스템의 遂行에 있어서 雜音의 영향은 計算 혹은 시뮬레이션에 의하여 求하여지며, 만약 어떤 要素들이 큰 誤差를 가지거나 포화될 가능성이 있음이 發見될 시는 필터링을 하거나 혹은 루우프利得을 감소시켜 주어야 한다. 이때 失敗간격, 雜音특성, 安定度, 정상상태, 誤差 등도 함께 고려되어야만 한다. 여기서 가장 適合한 이득과 位相여유는 무엇이며, 雜音성능과 安定度사이의 절충은 무엇인가하는 문제가 대두된다.

古典的 制御理論에 대해 近代制御理論은 실패간격과 같은 媒介變數들을 명백하게 最適化하는 데까지 관심을 기울이며, 古典的 技法사용에 필요한 특별한 設計節次를 통하지 않고 目的한 바를 달성할 수 있도록 하고 있다.

물론 近代制御理論은 Wiener 필터의 개발로 2次大戰에서 시작되어 오늘에 왔으나 40년전의 技術者들도 최적화 문제를 고려해 주고 있었다. 비록 Wiener 필터의 실질적 사용은 誘導武器시스템들에 응용하는데 있어 다소 制限이 있으나 Wiener 필터 개발은 近代制御의 아이디어를 도입시켰고 상태추정과 最適制御의 近代概念까지 연결시켜 주는 역사적 重要性을 가지고 있다.

가. Wiener 필터

1940年代 엔지니어들이 直面하였던 근본적인 문제는 最少誤差로서 잡음이 존재하는 표적을 追跡해야 하는 레이다를 어떻게 設計할 것인가 하는 것이었다.

追跡區間동안 瞬時誤差를 최소로 하기위하여 誤差의 절대 값을 積分함으로써 이를 극복할수

있었는데 이를 性能指標라 부르고 오늘날까지 자주 사용되고 있는 技法中の 하나이다.

그 다음의 문제는 標的과 雜音의 거동을 定義하는 것이었다. 잡음이 시간의 函數로 定義된다면 문제는 간단하나 그들이 시간의 랜덤 函數이므로 문제가 야기된다.

標的의 운동신호는 戰略機가 큰 慣性때문에 한 위치에서 다른 위치로 신속히 움직이는 것은 불가능하므로 低周波에 밀집되어 있다고 생각한다.

標的의 運動信號 θ_T 와 雜音信號 θ_N 는 그들의 統計學的 特性이 시간에 따라 變化하지 않으므로 Stationary이며, 그림 3의 (a)에서 보여주는 것과 같이 Power Spectrum을 고려하여 Wiener 필터를 設計하는 것이 필요하다.

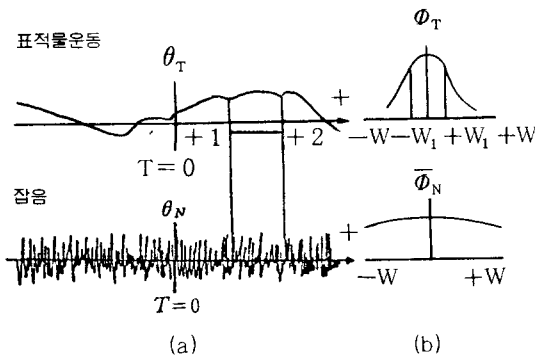


그림 3. 표적운동과 잡음특성

回轉 벡터의 水平투사에 기인한 正弦波를 고려할 때 量의 周波數는 反時計 방향의 회전을 만들며, 音의 周波數는 시계방향의 회전을 나타낸다.

초기의 필터概念에 있어서 Wiener는 θ_T 와 θ_N 의 Auto-Correlation 函數를 이용했고, 만약 θ_N 가 標的의 運動에 의하여 발생한 雜音이라면 그 순간에 θ_T 와 θ_N 사이에 Correlation이 없다고 가정한다면 두 信號의 Power Spectrum을 이용한 Bode와 Shannon에 의한 Wiener 필터가 유도된다.

여기서 우리는 誘導兵器시스템에 관한 문제를 따지고 있으므로 필터의 요구되는 出力을 그림 4에서 보여주는 미사일의 各位置를 θ_M 이라고 생각한다.

施行錯誤法과 표적운동의 雜音 Power Spectrum Φ_T 와 Φ_N 의 情報를 이용할 수 있다

고 가정하게 되면 필터에 대한 入力은 θ_T 와 θ_N 이다. 구하고자 하는 필터 F는 入力 θ_T 와 θ_N 에 대한 θ_M 에 關係된 폐루우프 시스템을 發見하는 것인데 이 때 性能指標는 다음 式으로 주어진다.

$$\int_0^T (\theta_M - \theta_T)^2 dt \dots\dots\dots (3-1)$$

여기서 T는 비행시간이다.

그림 4는 미사일의 飛行時間동안 最小제곱 誤差로서 표적행로에 關係하여 미사일이 追跡하도록 해주는 시스템이다.

Power spectrum Φ_T 와 Φ_N 의 즉각적인 조사로부터 低域通過필터를 설계하는 것이 당연하다고 느껴진다. 다른 대역폭을 가진 여러가지 低域通過 필터들을 시도하는 대신에 우리의 目的은 性能指標를 最小로 하는 것과 近代의 接近法에 필수적인 數學的 개념에서 유도된 最適 필터의 설계에 있다.

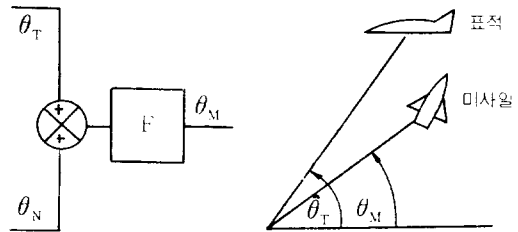


그림 4. 필터 F

1800年代에 Gauss는 랜덤변수들을 다루기 위하여 데이터 프로세싱方法으로 Deterministic Least-Square 방법을 고안하여 軌道測定問題에 응용하였고, 그 후 Fisher는 연속 시스템을 周波數領域에서 고려하고 設計節次가 統計的 Stationary 프로세스에 限定되었으며, 주어진 최적 상태는 단지 정상상태인 領域內에서만 추정되었다.

그 후 Kolmogorov가 Discrete한 문제를 다루었으나 이 推定 (Estimation) 技法은 Nonstationary와 Multiport 시스템들을 취급할 때는 그 計算이 아주 어렵고 복잡하다.

나. 近代化 制御理論

앞 節에서 언급한 것과 같이 制御시스템 설

계에 대한 接近法の 필수적인 사항은 性能指標의 최소화에 집중되어 있다. 그러나 비록 Wiener 필터의 목적이 性能指標를 최소로 해주는 것이나 과거 20年 동안 발달되었던 近代技法들은 아직 진실한 標本을 구하지 못하고 있다.

周波數 領域에서 해석하고 있는 古典的 制御法에 비교하여 近代制御理論의 대표적인 특징은 시간영역내에서 신호들의 표현과 操作을 취급하는 데 있다. 각 周波數 性분에 의한 신호를 記述해 준 古典的 理論은 중첩의 원리를 단순히 응용하기 위하여 선형성과 시불변이라는 큰 제한을 주어야 한다.

時間領域에서 시스템을 기술하는 微分方程式을 狀態方程式으로 치환함으로써 위의 제한을 무시하도록 해 준다. 사실 1950年代 중에 이용할 수 없었던 컴퓨터는 미분방정식의 解를 數值的으로 쉽게 얻도록 해 주었다. 超大型 컴퓨터의 개발로 近世에 制御理論은 눈부신 成長을 하였음을 부인할 수가 없다.

近代制御理論에서 다른 중요한 개념은 역시 시스템 狀態에 관한 아이디어이다. 그림 5와 같은 포인트 質量미사일과 같은 간단한 시스템을 생각해 보자.

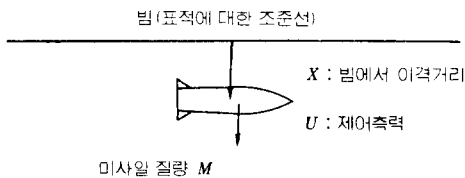


그림 5. 간단한 미사일 시스템

制御추력 u , 미사일의 質量 m 을 가진 그림 5의 간단한 미사일 시스템은 다음과 같은 微分方程式으로 기술할 수 있다.

$$u = m\ddot{x} \dots\dots\dots (3-2)$$

만약 모든 순간 순간에 位置 x 와 速度 \dot{x} 를 알고 있다면 2次 시스템은 완전하게 결정할 수가 있다. 변수 x 와 \dot{x} 은 시스템 狀態變數이다.

일반적으로 n 차 線型시스템은 다음의 벡터行列式으로 나타낼 수가 있다.

$$\dot{\underline{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\underline{x}(t) + \mathbf{B}(t)\underline{u}(t) \dots (3-3)$$

여기서 $\mathbf{A}(t)$ 와 $\mathbf{B}(t)$ 는 時間에 따라 變化하는 要素이고 \underline{u} 는 多重入力, \underline{x} 의 n 개의 性分은 시스템의 出力으로 간주할 수 있을 것이다. 이 식은 또한 古典的 制御와 近代의 制御理論 사이의 필연적 차이를 보여주고 있다.

古典的 制御理論은 단지 單一入出力인 경우로 한정된 반면, 狀態空間概念에 따라 보다 자연스럽게 多變數 入出力으로 시스템을 해석할 技法이 近代制御理論이라 할 수가 있다.

우리의 궁극적 목적은 Wiener 필터 技法에서도 말했던 것과 같이 近代制御理論을 사용하여 다음의 性能指標를 최소로 해주는 것이다.

$$\int_0^T \{ (\theta_M - \theta_T)^2 + \lambda \theta_M^2 \} dt \dots (3-4)$$

여기서 θ_T 는 雜音 θ_N 가 섞인 測定값으로 랜덤 函數이고, λ 는 Weighting 要素이다. 그러나 θ_T 에 雜音이 포함되어 있지 않다면 쉽게 最適制御를 구할 수가 있다. 狀態變數 다음 값은 랜덤 函數에 종속되고 있으므로 쉽게 定義될 수 없으며, 性能指標를 최소화하는 문제는 최적 推計學的 制御시스템 (Optimal Stochastic Control System)의 설계문제까지 비약되어야 함을 알 수 있다.

4. 推計學的 制御시스템

1960年代 Kalman 필터 技法은 美國의 宇宙計劃에 맞추어 적절한 時期에 발표되었고 컴퓨터의 발달과 더불어 近代多重 센서 시스템에서 데이터 處理를 위한 유용한 수단으로 이용되어지고 있다.

가. Wiener 프로세스와 推計學的 微分 方程式

시스템의 特性을 記述하는데 있어 일반적으로 다음 式으로 나타내어 진다.

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(t, x(t), u(t)) \dots (4-1)$$

여기서 $x(t)$ 는 時間 t 에서 시스템의 狀態變數이고 $u(t)$ 는 어떤 제한하에서 入力を 나타내고 있다.

그러나 많은 시스템들은 랜덤이 完全히 알 수 없는 외란에 종속되고 있으므로 이 경우 推計學的 모델은 어떤 推計學的 프로세스 x_t 에 따라 展開되는 시스템의 상태로 나타내는 것이 가장 적합하다. 이와같이 推計學的 프로세스는 외란의 영향을 意味하는 $g(t, x_t)v_t$ 項을 포함한 식으로 표현한 시스템에 대한 解를 가지고 시스템을 解析하는 것이 보다 자연스러운 接近 法일 것이다.

$$\frac{dx_t}{dt} = f(t, x_t, u_t) + g(t, x_t)v_t \dots\dots\dots (4-2)$$

여기서 v_t 는 數學的으로는 定義되지만 실제 프로세스에서는 存在하지 않는 白色雜音 (White noise)이다. v_t 는 統計學的 성질들이 잘 알려져 있는 物理的 法則으로 이해되어질 수 있다.

自然的인 확산(Diffusion)에 있어서 점분자 (Point particle)의 랜덤 運動은 종종 Brownian 運動 혹은 Wiener 프로세스라 부른다.

白色雜音의 외란에 의해 驅動되는 Brownian 특성을 고려한 간단한 物理계의 모델에 있어서 (4-2)의 공식적인 解는

$$\left. \begin{aligned} x_t &= x_0 + \int_0^t f(s, x_s, u_s) ds + \int_0^t g(s, x_s) \cdot v_s ds \\ x_0 &= x(0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-3)$$

이 때 Brownian 運動 w_t 는 $v_s = \frac{dw_s}{ds}$ 되도록 하는 다음의 식을 만족한다.

$$w_t = \int_0^t v_s ds$$

그러나 v_t 는 어느 곳에서 微分 불가능하므로 w_s 는 函數가 아니다. 工學的인 觀點에서 Brownian 運動의 공식적인 유도도 다음과 같은 近似的인 표현을 사용하기로 한다.

$$v_t \approx \frac{dw_t}{dt} \dots\dots\dots (4-4)$$

여기서 方程式 (4-2) 는 단지 공식적으로 다음의 微分形과 等價라고 생각한다.

$$dx_t = f(t, x_t, u_t)dt + g(t, x_t)dw_t \dots\dots\dots (4-5)$$

또 方程式 (4-5) 는 다음의 積分式으로 나타낼 수 있을 경우에만 그 의미를 가진다. 즉,

$$x_t = x_0 + \int_0^t (s, x_s, u_s) ds + \int_0^t g(s, x_s) \dots\dots\dots (4-6)$$

方程式 (4-6)은 마지막 項의 積分이 보통 Lebsque-Stieljes 의미로서 定義할 수가 없기 때문에 어떤 의미를 나타내지 않는다.

그러므로 먼저 推計學的 積分定義를 하여야만 한다. 여기서 우리는 推計學的 積分을 It_0 [14] 혹은 Stratonovich [15]의 Mean Square Sense 로써 定義할 수 있을 것이다.

It_0 積分은 Brownian 運動에 대해 단순히 函數的으로 定義되며 Stratonovich 積分은 Brownian 運動의 명백한 函數로만 표현된다. 따라서 Stratonovich 積分보다 사용하기 편리한 性質 때문에 方程式 (4-6)의 마지막 項을 推計學的 積分 혹은 It_0 積分이라 부르고자 한다.

Stratonovich 積分은 그 數學的 제한 때문에 非線型 필터링에 응용할 수 없으므로 앞으로 推計學的 積分을 It_0 積分이라 생각하기로 한다.

推計學的 制御와 필터링 理論에서 대부분의 결과들은 주어진 프로세스가 線型 推計學的 微分方程式을 만족한다는 가정 하에서 구하여졌다. 線型 推計學的 方程式의 초기치와 그 구조에 대하여 적당한 가정을 부여하게 되면 그 프로세스는 Gaussian 으로 만들 수 있고 이것은 필터方程式이 有限한 次元을 갖도록 하는 중요한 性質이라고 사료된다.

나. Kalman 필터

앞에서 보였던 간단한 미사일의 시스템에서 표적의 각 位置 θ_T 는 雜音 θ_N 와 混合되어 있으므로 미사일 位置 θ_M 에 의한 測定置 $\theta_T + \theta_N$ 을 가지고 實際의 필터를 설계해야만 한다.

그림 6은 3-나節에서 설명했던 實際 미사일 시스템의 數學的 모델을 나타내고 있다. 만약 等價인 物理的 모델을 시뮬레이터 (Simulator)의 어떤 形態로 구성할 수 있다면 원래 시스템에 대해 參考가 없어도 시뮬레이션 모델에 의하여 주어지는 θ_T 와 θ_M 의 값들이 용하는 것이 가능해진다.

시뮬레이터 모델이 올바른 初期狀態에서 출발되었다면 實際시스템 거동에 잘 推定해 나갈 것이다. 이와같은 경우는 理想的인 경우일 뿐으로 實際시스템 모델構造, 媒介變數값, 初

期條件들을 알고 있다 하더라도 랜덤函數의 정확한 入力 W 는 시뮬레이터 모델內에서 다시 算出해 낼 수 없다.

入力 W 는 實際시스템에 대한 우리의 知識으로는 불확실하게 나타나진다. 물론 시스템들에 대한 測定置는 測定프로세스가 항상 誤差를 수반하고 있기 때문에 정확하다고 할 수 없으므로 여기서 우리는 θ_T 에 대한 雜音 θ_N 을 白色 雜音이라고 가정하고 Kalman 필터를 구하여 보기로 한다.

부 피이드백 시스템으로써 遂行될 필터 F_p 에 要求되는 θ_M 의 測定置가 완전하다고 가정하면 제루우프 追跡시스템은 θ_T 와 θ_M 을 分離하여 測定하는 것이 아니고 $\theta_T - \theta_M$ 의 값으로 구현 가능하다.

그림 7에서 이 경우를 보여주고 있는데 y 는 測定값을 나타내고 v 는 測定置 y 로서 상

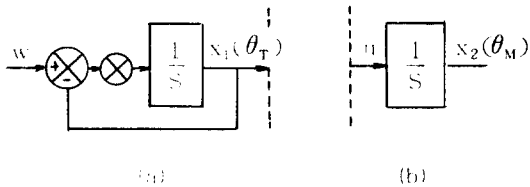


그림 6. a: 표적운동을 나타낸 부분
b: 제어하기 위한 미사일 부분

대變數 x_1 과 x_2 에 最적인 推定자(Estimator)를 구하고자 하는 것이다.

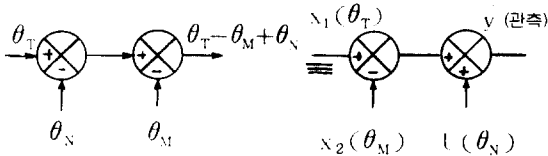


그림 7. 잡음 v 에 따른 측정치 v

앞에서 提案한 시뮬레이터 모델과 等價인 가상적인 시스템 모델은 白色雜音源 w 를 제외하고는 實際시스템 모델과 동일하다.

Kalman 필터는 實際 시스템의 狀態를 서로 독립적으로 推定함으로써 測定 프로세서와 시스템 모델 出力을 취급함에 따라 구하여 진

다.

필터링 問題가 포함하고 있는 物理的 현상 등을 고려하는 潛水艦, 魚雷, 미사일, 戰爆機와 같은 動力 시스템은 6 자유도 運動方程式으로 기술할 수 있으며 敵 目標物의 위치와 速度등은 雜音과 혼합된 情報데이터로 任意의 시간마다 레이더나 센서에 受信되고 狀態推定의 最적인 방법을 利用하여 해석할 수가 있다.

航海나 飛行中인 표적물의 追跡 性能 評價 (Tracking Performance Evaluation)를 하기에 앞서 雜音을 가진 運動物體에 대한 다음의 動力 方程式을 생각해 보자.

$$dx_t = A(t)x_t dt + B(t)u_t dt + G(t)dw_t \dots\dots\dots (4-7)$$

여기서 狀態벡터 x_t 는 直接 관측할 수 없으며 다음 y_t 에 의하여서만 x_t 가 관측된다.

$$dy_t = C(t)x_t dt + H(t)dv_t \dots\dots (4-8)$$

또 w_t 와 v_t 는 相互 獨立인 Wiener 프로세스라 定義한다. (4-8)式으로부터 주어지는 Innovation 프로세스는

$$dv_t = dy_t - C(t)\hat{x}_t dt \dots\dots\dots (4-9)$$

이때 推定자 $\hat{x}_t = E[x_t | y_t]$ 는 다음의 Kalman 필터 方程式을 만족시켜 주고 記號 E 는 數學的 기대값을 나타낸다.

$$d\hat{x}_t = A(t)\hat{x}_t dt + B(t)u_t dt + P(t)C^*(t)[H(t)H^*(t)]^{-1}dv_t, \\ \hat{x}_0 = E[x(0)] \dots\dots\dots (4-10)$$

여기서 $P(t)$ 는 $E[(x_t - \hat{x}_t)(x_t - \hat{x}_t)^*]$ 인 誤差 Covariance로서 다음의 Riccati 方程式의 解이다.

$$\dot{P} = GG^* - PC^*[HH^*]^{-1}CP + AP + PA^*, \\ P(0) = C_{ov}[x_0] = P_0 \dots\dots\dots (4-11)$$

그림 8에서 위의 Kalman 필터에 관한 것을 보여주고 있다.

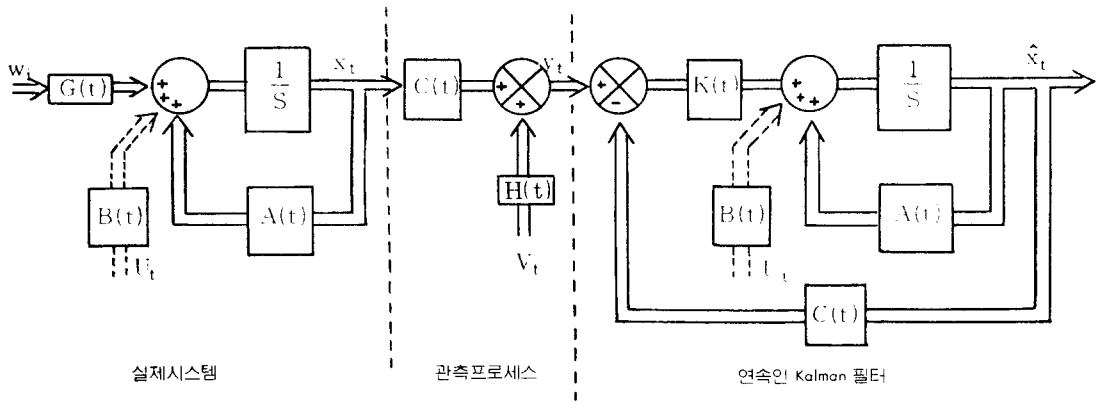


그림 8. Kalman 필터

移動標의 運動學의 特性이 (4-7)式으로 주어지는 最適 필터, 즉 Kalman 필터는 앞에서 보는 바와 같이 쉽게 구해진다. 불행히도 실제 移動標의物은 非線型 微分方程式으로 기술되어지기 때문에 확장된 Kalman 필터의 應用이 시도되고 있으나 非線型 특성 때문에 필터가 安定性을 잃는 경우가 많다. [9, 13, 16]. 즉, 필터를 오퍼레이션하면 誤差平方偏差가 어떤 限定된 값에 수렴하지 않고 발산하기 때문이다.

따라서 最近 移動標의의 추적을 위한 非線型 다이나믹 시스템을 解析하는데 있어 移動標의物에 대한 필터링 문제는 확장된 Kalman 필터보다는 條件付 Gaussian 필터가 보다 적합함이 증명되어졌다. [17, 18, 19, 20, 21, 22]

그러나 目標物의 위치, 방향등에 대하여 의외로 戰略的 책략(Maneuvering)을 수반하고 있을 때는 擴張 Kalman 필터와 條件部 Gaussian 필터등은 최적의 결과를 유도하지 못하고 결국 追跡에 실패하고 만다.

따라서 戰略的 책략標的 (Maneuvering Target)에 대한 研究가 계속되고 있다. 敵標的物을 운전하고 있는 者가 위치, 속도, 이동 방향등이 探知되고 있다는 것을 感知하게 되면 戰略的 策略을 갖게 되므로 追跡의 觀點에서 불때는 이에 대한 適應方法을 고려한 최선의 필터를 설계하여야 한다. 戰略的 策略을 하고 있는 물체에 대한 追跡이나 探索法으로는 Jazwinski의 제한된 記憶 필터링 [q], 두개의

Kalman 필터가 접근한 Thorp[23], Moose의 n개의 策略的 入力信號法 [24], 매개 변수들의 빠른 Jump에 의한 適應制御를 고려한 Sworder[25], Friedland의 分離評價技法 [26], Mehara[27], Wilsky [28], Chou [29]들에 의하여 개발된 殘留시켄스法 (Innovation Process에 대하여), 여러 군集團의 Kalman 필터 뱅크를 이용하여 適應型 필터를 연구한 Magill [29], Athans [30], Bar-Shalom[31]들의 방법들이 소개되고 있다.

다. 필터와 最適制御

가節에서 언급하였던 例와 같은 경우에 標的과 미사일位置를 각각 x_1 과 x_2 와 상태에 있다고 가정하고 推計學的 제어문제를 고려하여 보자.

모든 狀態變數들은 직접 이용할 수 없으며 觀測值들은 雜音에 의하여 混信되어 있다. 이 경우에 測定된 데이터를 分析하고 미사일의 표적을 追跡하여 파괴하기 위해서는 最適制御理論을 도입하여야만 한다.

일반적으로 推計學的 다이나믹 시스템의 最適理論은 Fleming[32, 33, 34], Kushner [35], Wonham[36], Balakrishnan[37], Elliott[38], Benes[39], Rishel[40], Bismut[41], Kolodziej[20], Mohler[19], Lee[42, 43], Bensoussan[44], Davis[45]들에 의하여 연구되었다.

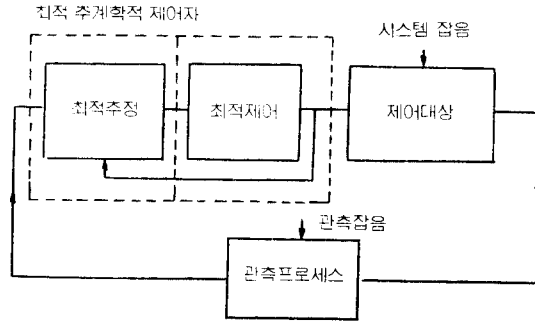


그림 9. Separation 정리

Fleming 은 1969年度 이 분야에 관한 調査論文뿐만 아니라 [33], 그의 冊에서도 완전히 觀測可能한 擴散 프로세스의 제어 문제를 잘 취급해 주고 있다 [34].

部分的으로 觀測된 데이터를 가진 경우 가장 우수한 研究結果는 Wonham의 "Separation 原理"이다 [36]. 그는 觀測할 수 없는 狀態變數들을 Kalman 필터를 이용하여 最適推定 (Optimal Estimation)을 하고, Bellman의 Dynamic Programing 技法을 推計學的으로 置換하여 最適制御를 구하였다. Dynamic Programing 技法은 推計學的 制御에 있어서 아주 有用한 접근법이다.

앞의 例에서 Kalman 필터를 利用하여 \hat{x}_1 과 \hat{x}_2 을 구하며, 이 경우에 最適制御를 수행하는데 있어 實際狀態 x_1 과 x_2 대신에 \hat{x}_1 과 \hat{x}_2 을 사용하여 最適 Controller를 設計하는 것이 Separation 原理이다. 그림 9는 이 Separation 原理를 보여 주는 것이다.

5. 結 論

C³I의 여러 分野에 應用되고 있는 制御理論을 검토하기에 앞서 먼저 C³I에 대하여 간략히 記述하여 보았다. 超大型의 컴퓨터의 登場에 따라 시뮬레이션이란 技法을 통하여 模擬戰爭의 연습이 가능하여 졌다.

소프트웨어의 開發이 C³I의 效率의 運用을 위하여 필수적으로 많은 研究가 병행되어야 하며 人間과 機械사이의 Interface 역시 중요한 문제로 대두되고 있음을 알 수 있다.

局部的인 側面에서 C³I들의 各構成要素들은 최근에 高度로 開發된 兵器들로 이루어져 있는데 이들 모두는 최신의 制御理論을 수용하여 設計製作되어 實戰에 運用되고 있다.

例로 能動的 Sonar를 사용하여 海低에서 이동중인 敵의 潛水艦을 추적할 때에는 Kalman 필터는 비교적 그 性能이 우수하나 手動 Sonar인 경우는 이의 追跡이 용이하지 않다.

일반적으로 標的의 동특성은 非線型다이나믹 方程式으로 기술되며, 주위의 환경에 따라 여러가지 雜音에 의하여 影響을 받고 있는데, 古典的인 制御理論에서 이 雜音의 影響에 대한 해석의 어려움이 있었으나 擴張된 Kalman 필터, 條件付 Gaussian 필터, 적절한 推計學的理論 등으로 실제 시스템의 특성에 아주 가깝게 最適인 推定을 行할 수 있음을 알 수 있게 됐다.

本文에서는 C³I를 이해하는데 있어 近代制御理論 등으로 실제 應用되고 있는 범위등을 검토하였다.

C³I와 推計學的 制御理論의 연구에 따라부수적으로 얻을 수 있는 것은 컴퓨터의 通信網 設計, 소프트웨어 開發, 기업체의 業務 및 製造管理, 경제사회 문제의 解析, 需要供給의 예측, 氣象예측, 魚群탐색, 海低 석유탐사, 로보트등 다양한 분야에 까지 應用될 수 있을 것이다.

우리나라에서도 이와 같은 研究를 함으로서 軍事的, 經濟的, 地域 地形的 특성에 적합한 C³I를 開發하여 軍現代化 계획에 適用시켜나갈 때 國軍의 戰力은 크게 향상될 것이고 北

의 어떠한 음모와 도발에도 용이하게 對處해 나갈 수 있으리라 사료된다.

References

1. M. Athans, W.B. Davenport, Jr., E.R. DuCot, and R.R. Tenney, Surveillance and Target Tracking, Proceeding of 4th MIT/ONR Workshop on Command-Communication (C^3) Problem, October 1981.
2. 이만형, " C^3 I와 스토캐스틱 콘트롤에 관하여", 대한전기학회지, Vol. 33, No. 1, pp. 14~25, 1984.
3. "United States Air Force Computer, Technology Forecast and Weapon Systems Impact Study," (COM-TEC2000), HQ AFSC.TR 78-03 (3 Volumes), December 1978.
4. S.J. Drible, and G.W. Hopple, "They're only Human: Decision-Makers in Command and Control," signal, pp. 45-59, March 1982.
5. J.J. Marciniak, "Technology Needed for C³I Evolution," *Astronautics & Aeronautics*, Vol. 20, pp. 57-59, July 1982.
6. "Special Issue on Application of Kalman Filtering," *IEEE Trans. Auto. Contr.* Vol. AC-28, No. 3, March 1983.
7. R.E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *ASME Trans., Part D (J. of Basic Engr.)* pp. 35-45, 1960.
8. A.H. Jazwinski, *Stochastic Processes and Filtering Theory*, New York, 1970.
9. S.I. Chou, "Projected Surface Ship Anti-submarine Warfare Target Analysis," NUC TN-1717, Undersea Dept., July 1976.
10. R.R. Mohler, "Nonlinear Filtering and Tracking," Oregon State University, Corvallis, OR, Annual Report of office of Naval Research (ONR), Contract No. N00014-81-K-0814, January 1983.
11. L. Schwartz, and E.B. Stear, "A computational Comparison of Several Nonlinear Filters," *IEEE Trans. Auto, Contr.*, pp. 83-86, February 1968.
12. T.U. Halawani, "An Optimal Approximation for a Certain Class of Nonlinear Filtering Problems," Ph.D. Dissertation, Oregon State University Corvallis, OR, March 1983.
13. A.O. Cohen and G.W. Johnson, "A New Approach to Bearing only Ranging," IR & D Report, 76-0205-M19, IBM Federal System Division, Manassas, VA, December 1976.
14. K. Ito, and H. McKean, *Diffusion Processes and Their Sample Path*, Springer-Verlag, Berlin 1965.
15. R.L. Stratonovich, *Condition Markov Processes and Their Application to the Theory of Optimal Control*, Elsevier, New York, 1965.
16. J.J. Aidala, and S.E. Hammel, "Utilization of Modified for Polar Coordinates for Bearing only Tracking," *IEEE Trans. Auto, Contr.*, Vol. AC-28, No. 3, pp. 283-294, March 1983.
17. R.S. Liptser and A.N. Shiryayer, *Statistics on Random Processes I: General Theory*, Springer-Verlag, New York, 1977.
18. R.S. Liptser, and A.N. Shiryayer, *Statistics of Random Processes II: Application*, Springer-Verlag, New York 1978.
19. R.R. Mohler, and W.J. Kolodziej, "Optimal Control of a class of Nonlinear Stochastic Systems," *IEEE Trans. Auto. Contr.*, Vol. AC-26, No. 5, pp 1048-1054, 1981.
20. W.J. Kolodziej, "Conditional Gaussian Process in Stochastic Control Theory," Ph.D. Dissertation, Oregon State University, OR, June 1980.
21. M.H. Lee, W.J. Kolodziej, and R.R. Mohler, "On Nonlinear Filtering Tracking," Oregon State University, Corvallis,

- OR, Report of ONR, Contract No. N00014-81-K-0814, December 1982.
22. M.H. Lee, W.J. Kolodziej, R.R. Mohler, "On Optimal Nonlinear Filtering and Control with Longitudinal Aircraft Application," Oregon State University, Corvallis, OR, Report of ONR, Contract No. N00014-81-K-0814, to appear ASME J. Dynamic Syst., Meas., and Contr.
 23. J.S. Thorp, "Optimal Tracking of Maneuvering Targets," IEEE Trans. Aerosp. Electron Syst., pp 512-519, 1979.
 24. R.L. Moose, H.F. Vanlandingham, and D.H. McCabe, "Modeling and Estimation for Tracking Maneuvering Targets," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., pp. 448-456, 1979.
 25. D.D. Sworder, "Bayes Controller with Memory for a Linear System with Jump Parameters," IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-18, pp. 355-360, 1973.
 26. B. Friedland, "Notes on Separate-Bias Estimation," IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-23, pp. 735-738, 1978.
 27. R.K. Mohara, and J. Peschon, "An Innovations Approach to Fault Detection and Diagnosis in Dynamic Systems," Automatica, Vol. 7, pp. 637-640, 1971.
 28. A.S. Wilsky, "A Survey of Design Methods for Failure Detection in Dynamic Systems," Automatica, Vol. 12, pp. 601-611, 1976.
 29. Y.J.Chan, J.B. Plant, and J.R.T. Bottomley, "A Kalman Tracker with Simple Input Estimator," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. AES-18, pp. 235-240, 1980.
 30. D.T. Magill, "Optimal Adaptive Estimation of Sample Stochastic Processes," IEEE Trans. Auto. Contr, Vol. AC-10, pp. 434-439, 1965.
 31. M. Athans, R. Ku, and S.B. Gershwin, "The Uncertainty Threshold Principle: Some Fundamental Limitations of Optimal Decision Making under Dynamic Uncertainty," IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-22, pp. 491-495, 1977.
 32. W.H. Fleming, "Optimal Continuous Parameter Stochastic Control," SIAM Review, 11, pp. 470-509, 1969.
 33. W.H. Fleming, "Optimal Control of Partially Observable Diffusions," SIAM J. Control, 6, pp. 194-213, 1968.
 34. W.H. Fleming, and R.W. Rishel, "Deterministic and Stochastic Optimal Control," Spring-Verlag, New York, 1975.
 35. H.J. Kushner, "Probability Methods for Approximations in Stochastic control for Elliptic Equations," Academic Press, New York, 1977.
 36. W.M. Wonham, "On the Separation of Stochastic Control," SIAM J, Control, 6, pp. 312-326, 1968.
 37. A.V. Balakrishnan, "Stochastic Differential System I," Spring-Verlag, Berlin, 1973.
 38. R.J. Elliott, "The Optimal Control of Stochastic Control Systems," SIAM, J. Control and Optimization, 15. pp. 756-778, 1977.
 39. V.E. Benes, "Existence of Optimal Stochastic Control Laws," SIAM J. Control, 9 pp. 446-472, 1972.
 40. R.W. Rishel, "Optimality of Controls for System with Jump Markov Disturbances," SIAM J. Control, 13, pp. 338-371, 1975.
 41. J.M. Bismut, "Linear Quadratic Optimal Stochastic Equations with Random Coefficients," SIAM J. Control and Optimization, 14, pp. 419-444, 1976.
 42. M.H. Lee, "Optimization of Stochastic Dynamic System with Random Coefficients," Ph.D. Dissertation, Oregon State University, Corvallis, OR, Report of ONR, Contract No. N00014-81-K-0814, February 1983.
 43. M.H. Lee, W.J. Kolodziej, and R.R. Mohler, "Suboptimal Control of a Stochastic System with Random Partially Observable Parameters," Proceeding of 1983 American Control Conference, San-

Francisco, CA, pp 1200-1204, June 1983.
44. A. Bensoussan, "Stochastic Control by
Functional Analysis Methods," North-
Holland, Publishing Co., 1982.

45. M.H.A. Davis, "Linear Estimation and
Stochastic Control," Chapman and Hall,
London, 1977.