

海上 워게임 方法에 관한 研究

(Methodology for surface to surface war-gaming)

海軍少領 朴 在 夏*

Abstract

The goal of tactical war-gaming is to create an environment for two opposing teams allowing them to make tactical decisions that would correlate with the decision which they would make under the same circumstances while at sea. Therefore the real time war-gaming methodology should be developed to achieve the goal of tactical war-gaming.

Surface to surface engagement models for the real time war-gaming such as maneuvering, tracking and damage assessment models were discussed in this paper. Concurrently system flow diagram to aid war-gaming effort was suggested in appendix.

I. 序 論

워게임의 目的은 實際 戰爭과 같은 模擬 狀況下에서 兩軍에 發生되는 戰略 戰術 作戰 問題 및 戰術的 意思 決定을 分析, 評價하는 데 있다. 戰爭練習에서 얻어지는 것은 비단 複雜하고도 긴급한 狀況에서의 取해진 意思 決定이 果然 最適한 것인가를 分析할 뿐 아니라 무기체계의 디자인 研究 開發을 爲한 性能 評價도 戰爭練習(war-game)을 通하여 할 수도 있다. 또한 兵科 將校의 戰術 및 作戰의 教育目的으로도 워게임을 할 수 있을 뿐 아니라 戰術 敎理 開發 및 作戰의 一元化를 爲한 指揮體制 審査도 할 수 있다. 問題는 워게임時 무엇을 目的으로 게임을 始作하느냐에 따라서 얻는 結果가 다를 뿐이다. 海戰 워게임에서 가장 重要하게 다루어야 할 것은 實際의 狀況에 더욱 가깝게 플레이(play)하는 것인데 다시 말하면 각 플레이어(player)에게 幾何學的인 機動 및 센서(sensor)情報를 最大限으로 活用할 수

있도록 하면서 實戰狀況에서의 같은 實際時間(real time)으로 게임을 運營해야 한다는 것이다. 각 플레이어는 幾何學的인 機動 資料 및 센서, 艦砲性能 및 艦艇性能의 精確한 資料가 있어야 하고 이를 처리하는 시스템의 뒷바침이 있어야 實際 時間에 맞는 意思決定이 可能할 것이다. 게임中 複雜한 狀況을 만났을때 狀況 處理를 爲하여 게임을 實際時間(real time)으로 進行하지 않고 그들의 意思決定 및 損傷 判定에 많은 時間을 소비하였다면 이것은 오히려 워게임을 通하여 얻을려던 戰術的인 意思決定의 訓練에 아무런 도움을 못주게 될 것이다. 最近까지 全世界 어느나라에서도 戰爭練習中 모든 損傷判定 및 기점은 手動으로 해오고 있다. 수동으로 할 경우는 통제단의 複雜한 狀況 즉 損傷 계산 및 위치 確認 센서 情報교환의 評價를 원활히 하기 爲하여 게임을 中斷시켜야 하는데 이러한 부작용을 제거 하려면 게임 속도(speed)가 빨라야 하는데 이를 爲하여 小型 컴퓨터가 必要하다는 結論을 얻게 되었다.

小型 컴퓨터 (CPU 32K정도)가 통제단에 위치하여 그때의 게임 時間(game time)에 따른

* 海軍本部

艦艇機動 및 센서情報를 兩軍에 提供하여 兩軍의 지휘관으로 하여금, 戰術 意思決定을 내리게 하고 그러한 意思決定은 다시 통제단의 컴퓨터에 入力으로 들어감으로서 명실공히 장비의 性能만 고려할 뿐아니라 지휘관의 지휘 心理도 고려한 實戰을 거의 現實的으로 模擬 가능한 위게임을 할 수 있을 것이다.

이 論文에서 다룰 討論 對象은 海戰 위게임에서 使用되는 교전모델 中 機動 模型, 探知 模型 및 損傷判定모델을 說明하고 아울러 機動, 探知, 損傷判定의 제 과정을 간단한 flow chart(순환도)로서 게임의 한 例와 전체 위게임의 시스템의 연결 關係와 basic language 로 된 프로그램을 부록으로 提示하고자 한다.

II. 艦艇 機動

艦艇이 機動時 幾何學的인 방정식을 利用, 艦艇의 예정 位置 및 針路, 方位 등을 決定할 수 있고 이를 컴퓨터에 넣을 경우 기점판에 每 單位 時間마다 自動 기점이 可能하다. 여기에서는 艦艇의 機動關係에 있어서 時間의 흐름에 따라 變化되는 벡터 關係를 說明코자 한다. 먼저 두 艦艇을 i, j 로 表示하자. \vec{A}_i 를 i 함정의 最初 位置 벡터라고 하고 i 함정의 速力벡터 \vec{V}_i 로서 Δt 時間동안 이동했을 때의 새로운 位置벡터 \vec{P}_i 는 다음과 같다.

$$\vec{P}_i = \vec{A}_i + \vec{V}_i \Delta t \quad (1)$$

이때 \vec{V}_i 는 V_i 와 單位벡터 \hat{e}_i 의 스칼라 積 즉 $\vec{V}_i = V_i \hat{e}_i$,

$$\hat{e}_i = i \cos \theta_i + j \sin \theta_i,$$

$$\theta_i = 90 - H_i$$

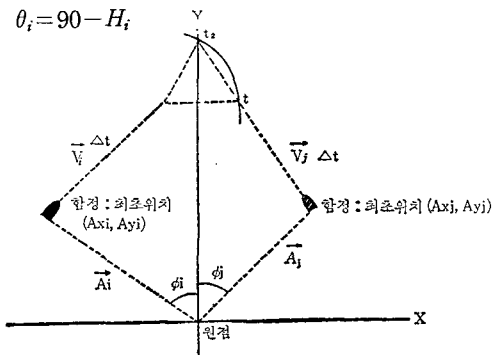


그림 1

H_i 는 i 함정의 眞方位 針路이며 V_i 는 速力이다.

그림 1에서 보는 바와 같이 두 艦艇 i, j 가 機動하여 서로 센서 接觸권에 들어오는 순간의 Vector 關係는 다음과 같다.

$$P_j \hat{d}_i + V_i \Delta t \hat{e}_i + \vec{R} = P_j \hat{d}_j + V_j \Delta t \hat{e}_j \quad (2)$$

이때

$$\hat{d}_i = i \cos \phi_i + j \sin \phi_i,$$

$$\phi_i = \tan^{-1}(P_{yi}/P_{xi}),$$

$$\hat{d}_j = i \cos \phi_j + j \sin \phi_j,$$

$$\phi_j = \tan^{-1}(P_{yj}/P_{xj}),$$

\vec{R} 는 센서 接觸 Vector 이다.

위의 (2)로 부터 \vec{R} 는 다음 같이 된다.

(3)

$$\vec{R} = \vec{V}_c \Delta t + \vec{U}$$

$$\text{단 } \vec{V}_c = V_j \hat{e}_j - V_i \hat{e}_i,$$

$$\vec{U} = P_j \hat{d}_j - P_i \hat{d}_i$$

最初 센서 接觸時間과 소실 시간을 求하기 爲하여 $|\vec{R}|^2$ 는 다음과 같다.

$$|\vec{R}|^2 = \Delta t^2 \vec{V}_c \cdot \vec{V}_c + 2 \Delta t \vec{V}_c \cdot \vec{U} + \vec{U} \cdot \vec{U} \quad (4)$$

(4)로 부터 Δt 를 제외한 모든 변수는 알 수 있으므로 따라서 센서 接觸時間은 $t + \Delta t_1$, 센서 소실 時間은 $t + \Delta t_2$ 이 된다. 다음으로 艦艇의 기동 變化율(drift)을 구하기 爲하여 두 함정의 相對 方位를 求해야 한다. 함정 i 가 함정 j 를 보는 相對 方位 β 는 다음과 같다.

$$\beta = \tan^{-1}[(P_{yj} - P_{yi}) / (P_{xj} - P_{xi})] \quad (5)$$

만일 $\beta < 90^\circ$ 이면 $\beta = 90 - \beta$ 가 되며 $\beta \geq 90^\circ$ 이면 $\beta = 450 - \beta$ 가 된다.

相對 方位 變化率은

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} &= \frac{d}{dt} \tan^{-1}[(P_{yj} - P_{yi}) / (P_{xj} - P_{xi})] \\ &= \frac{(P_{xj} - P_{xi}) \left(\frac{dP_{yj}}{dt} - \frac{dP_{yi}}{dt} \right) - (P_{yj} - P_{yi}) \left(\frac{dP_{xj}}{dt} - \frac{dP_{xi}}{dt} \right)}{d^2} \end{aligned} \quad (6)$$

이 때

$$\frac{dP_{xi}}{dt} = V_i \cos \theta_i,$$

$$\frac{dP_{yi}}{dt} = V_i \sin \theta_i,$$

$$\frac{dP_{xj}}{dt} = V_j \cos \theta_j,$$

$$\frac{dP_{yj}}{dt} = V_j \sin \theta_j$$

$$d^2 = (P_{xj} - P_{xi})^2 + (P_{yj} - P_{yi})^2 \quad (7)$$

이다. 만일 $\frac{d\beta}{dt} > 0$ 이면 함정 j 의 機動變化가 왼쪽이며 만일 $\frac{d\beta}{dt} < 0$ 이면 함정 j 의 機動變化가 오른쪽으로 생김을 알 수 있다.

다음으로 艦艇이 서로 接近하느냐 또는 멀어지느냐의 變化率을 측정하기 爲하여 두 함정간의 거리는 다음과 같이 表示한다. 두 艦艇 i, j 의 거리는 (7)에서 $d^2 = (P_{xj} - P_{xi})^2 + (P_{yj} - P_{yi})^2$ 이므로 거리 변화율은 다음과 같다.

$$\frac{dd}{dt} = (P_{xj} - P_{xi}) \cdot \left(\frac{dP_{xj}}{dt} - \frac{dP_{xi}}{dt} \right) + (P_{yj} - P_{yi}) \left(\frac{dP_{yj}}{dt} - \frac{dP_{yi}}{dt} \right) \quad (8)$$

만일 $\frac{dd}{dt} > 0$ 이면 두 艦艇은 서로 멀어지며 $\frac{dd}{dt} < 0$ 이면 두 함정은 接近함을 알 수 있다.

III. 艦艇 센서

센서로서 敵을 早期 探知한다는 것은 實戰에서 승패를 좌우하는 重要な 要因이 된다는 것은 周知의 事實이다.

敵이 어디 있는가를 먼저 알고 공격하는 것과 모르고 공격하는 것의 차이가 어느정도 될 것인지는 새삼 말할 나위가 없다. 오늘날 대부분의 위계임 모델에서는 표적의 포착(target acquisition) 관제를 고려치 않고 있다. 그것은 포착관계가 너무나 複雜한 함수로 얽혀있어 探知 時間을 Monte Carlo 方法으로 예측한다는 것이 많은 努力과 時間을 消費하기 때문이다. 그러나 여기에서는 간단한 方法(Cookie Cutter Method)으로 探知 時間을 근사한 확률 분포로 가정하여 처리하려고 한다.

센서 探知 확률 $P(r)$ 은 速力이 一定할 때 거리의 함수로 表示할 수 있으나 상당히 複雜하다. 가령 $P(r_0) = 0.5$ 인 경우는 거리 r_0 에서 標的을 探知할 기회가 50%라고 할 수 있다. 一般的으로 探知 분포는 資料 分析(Data An-

alysis)에서 얻어진 바에 의하면 지수 함수 분포(Negative Exponential Distribution)로 이루어 있는 것이 事實이다. 따라서

$$P(r) = 1 - e^{-(v/r)} \int_0^{\infty} g(y) dy \quad (9)$$

이때 k 는 안테나 회전 상수이며 v 는 標的 速力, $g(r)$ 은 거리 r 에서의 순간 探知 확률이 된다. 資料分析에서 얻어진 探知되는 時間을 지수 함수로 봤을 때 누적 분포 함수(Cumulative Distributed Function)는 다음과 같다.

$$P(T < t) = 1 - e^{-kt} \int_0^t g(r(\tau)) d\tau \quad (10)$$

만일 U_0 가 균일 분포(0, 1) pseudo random number generator에서 얻어진 한 변수라면

$$\int_0^t g(r(\tau)) d\tau = -\text{Log}(1 - u_0) / k \quad (11)$$

가 되어 t_0 를 Runge-Kutta iteration에 의거 求할 수 있으나 너무 時間이 많이 걸린다. 事實상 多艦이 機動時의 t_0 를 求하기에는 너무나 비경제적이다. 따라서 근사 계산 方法으로 $g(r)$ 은 R_0 안에서 t 에 관한 상수이므로 다음과 같이 누적 분포 함수를 정의할 수 있다.

$$F(t) = 1 - e^{-k(R_0)t}, \quad \text{단 } 0 \leq \tau \leq t \text{ 및 } r(\tau) \leq R_0$$

$$F(t) = 0, \quad \text{단 } r(\tau) > R_0 \quad (12)$$

식 (12)에서의 $g(R_0)$ 는 실험 資料의 최소 平方 法(Least Square)으로 추정할 수 있다.

$\frac{1}{Kg(R_0)}$ 를 센서의 평균 探知時間으로 볼 때는 $\lambda = \frac{1}{Kg(R_0)}$ 로 치환하면 지수함수 분포가 된다.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad 0 \leq \tau \leq t \text{ 및 } r(\tau) \leq R_0$$

$$F(t) = 0, \quad r(\tau) > R_0 \quad (13)$$

따라서 센서의 平均 探知 時間이 작아지면 질수록 探知확률은 높아지게 된다. 만일 센서의 작동 비율(duty cycle) α 를 고려할 때

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha \lambda t}, \quad 0 \leq \tau \leq t \text{ 및 } r(\tau) \leq R_0$$

$$F(t) = 0, \quad r(\tau) > R_0 \quad (14)$$

방정식 (14)로 부터 探知 예측 時間은 난수(U_0)를 利用하여 다음과 같이 얻는다. $t_0 = -\log(1 - u_0) / \alpha \lambda$ 가 되나 이것은 식 (4)에서 얻은 센서 서클에 接觸되는 時間 Δt_1 으로 부터 이동된 탐지 예측 時間이 된다.

Ⅳ. 艦 損傷에 관한 考察

두 艦艇 中 어느 艦艇이 센서 接觸을 하여 接觸 서클안에 들어가면 일단 各 指揮官은 공격 진형을 형성 사격을 준비하게 된다. 사격을 개시하면 必然的으로 艦艇中에는 損傷을 받는 艦艇이 發生한다. 이러한 損傷 또는 격침 여부를 몬테 칼로 과정 (Monte Carlo Process) 에 의하여 推定한다.

1. 艦砲射距離 및 時間

공격진형을 형성할 때는 各 전투함은 가장 유리한 사격 위치로 機動할 것이며 함포의 사격 거리에 도달되면 사격이 개시된다.

사격이 종료될 때는 相對艦이 크게 損傷을 입거나 또는 射거리가 멀어질 때 또는 탄약이 떨어질 때가 될 것이다. 사격중 때때로 일시에 소모할 순간 발사(burst) 數가 제한되어 있어 반드시 재장전(reload) 時間이 必要하게 된다. 式(1)에서 사격 命令을 받았을 때의 사격함과 표적함 間의 거리 R_0 , i 탄환의 발사거리 $R(i)$ 그때의 時間 $T(i)$ 는 다음과 같다.

$$R(i) = R_0 - (V_B \cos \phi + V_R \sin \phi) \cdot T(i)$$

$$T(i) = -\frac{BS}{RPM} \times i + T(i-1) \quad (15)$$

- 이때 $BS = \text{Burst Size}$
 $RPM = \text{포 발사 속도 (RDS/min)}$
 $V_B = \text{Blue의 속도}$
 $V_R = \text{Red의 속도}$
 $T_2 = \text{매 Burst 당 지연시간}$
 $i = \text{Burst 數}$
 $\phi = \text{상대 방위가 된다.}$

2. 艦艇의 모양의 變化

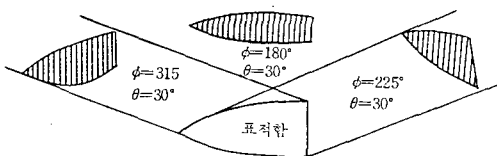


그림 3. 상대방위 ϕ 와 낙하각 θ 를 고려했을 때 변형된 표적함의 모습

그림 3에서 보는 바와 같이 탄환 i 가 함정 表面 위에 θ 각으로 낙하할 때는 탄환 i 가 함정을 보는 직사면적이 그림의 사선 면적으로 바뀌게 된다. 따라서 탄환의 命中率을 求할 때는 반드시 탄환의 낙하각 θ 를 고려한 변형된 함정의 직사 면적이 必要하게 된다. 이것은 艦艇이 앞으로 進行할 때 탄환이 艦首 피사면 (bow aspect)로부터 날아 왔을 때의 단면이다. 마찬가지로 탄환이 舷側 피사면 (beam aspect) 으로부터 날아 들어올 때도 똑 같은 원리로 艦艇의 탄착 면적은 變하게 된다. 함정의 탄착 면적을 고려해야 되는 것은 大型 艦艇은 一般的으로 함정장이 100야드 이상 폭은 10야드 이상이므로 탄환 i 가 함수(艦首) 方向으로 날아오는 경우와 艦側 方向으로 날아올 경우의 탄착 면적의 變化는 심한 경우에 함정 탄착 면적이 함정 면적의 거의 $\frac{1}{2}$ 이상이기 때문에 命中率은 크게 減少하지 않을 수 없게 된다.

다음 그림은 一般的인 경우 두 艦間의 相對 방위 ϕ 와 포탄의 낙하각 θ 에 따른 變化를 나타내고 있다.

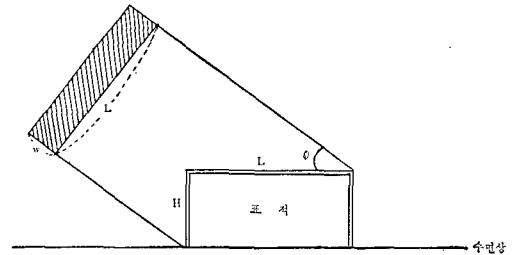


그림 4. 낙하각 θ 에 누적한 평면상에, 투영된 표적의 艦首 被射面 ($W' \times L'$)

다음 式은 낙하각 θ 와 상대 방위 ϕ 에 따른 변형된 艦 표적의 크기 W' (폭) $\times L'$ (길이)을 나타내고 있다.

$$W' = L \sin \phi + W \cos \phi$$

$$L' = H \cos \theta + \sin \theta (L \cos \phi + W \sin \phi) \quad (16)$$

이때 H 는 標的艦의 높이이다. 標的艦이 사격을 보는 方位 ϕ 가 0인 경우는 標的艦이 艦首 被射面 (bow aspect) 또는 艦尾 被射面 (stern aspect)으로 보일 때이므로, 이때의 W', L' 은 다음과 같다.

$$W' = W$$

$$L' = H \cos \theta + L \sin \theta \quad (17)$$

또한 標的艦이 사격함을 보는 方位 ϕ 가 90° 인 경우는 標的艦이 舷側 被射面으로 보일 때 이므로 이 때의 W' , L' 은 다음과 같이 된다.

$$W' = L$$

$$L' = H \cos \theta + W \sin \theta \quad (18)$$

3. 艦砲 命中率

艦砲는 陸上砲와는 달리 艦 自體가 사격時 움직이므로 겨냥시 必然的으로 誤差를 가지게 된다. 더구나 艦 動搖 즉 파도에 의하여 艦이 rolling이나 pitching時의 動搖와 艦艇이 進行 또는 後退時 發生되는 航海上的 진동으로 인한 動搖에 의하여 사격시 精確도에 영향을 주지 않을수 없는 것이다. 따라서 綜合的으로 命中率에 영향을 주는 要素는 標的의 크기, 被射面 및 艦의 相對 運動이라고 볼 수 있을 것이다. 標的의 모양은 크게 精標的(Point target)과 지역 標的(Area target)으로 나눌 수 있는데 艦艇은 一般的으로 지역 標的(Area target)中 直四角形標的(Rectangular target)로 처리되고 있으며 항공기는 圓形 標的(Circular target)으로 다루어 지고 있다.

그러나 彈着 分析이 모든 方面으로 均一하게 分布되었다고 생각할 수 있는 경우에 四角形이나 圓形 標的을 처리할 수 있는 것이다. 彈着點은 모든 彈着點의 平均치인 平均 彈着點(MPI)에 理想的으로는 一致해야 하지만 실제 사격에서는 物理的인 條件과 人爲的인 條件으로 因하여 MPI로부터 어떠한 分布를 이루고 있다. 그 分布 狀態가 實驗資料 分析(Data Analysis)에 의하여 지금까지 알려진 바에 의하면 Elliptical 또는 Circular normal 分布를 이루고 있음이 밝혀지고 있다. 아래그림 5는 彈着點 分布가 Circular normal 分布를 이루고 있는 경우이다.

CEP(Circular probable error)는 全 탄환의 50%가 들어가는 반경이며 DEP(Deflection probable error)와 REP(Range probable error)는 각각 X(Deflection)方向과 Y(Range)方向으로 全 탄환의 50%가 들어가는 거리를 말한다.

CEP은 砲의 標準 편차의 1.177倍가 되고 REP 및 DEP는 砲의 X方向 Y方向의 標準 편차 ϕ 가 같을 경우 通常 標準 偏差의 0.6745倍가 된다.

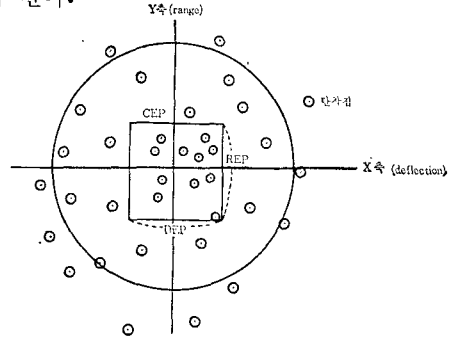


그림 5. 원형정규분포(Circular normal distribution)

發射된 砲彈이 MPI에 一致하지 않는 理由는 아래의 여러 誤差가 作用되기 때문이다.

① 조직 誤差(Systematic errors)

이 誤差는 System 自體 즉 砲 指揮裝置, 航海 장비 및 gyro, pitometer, stabilization 등의 作動 誤差 등으로 일어난다.

② 겨냥 誤差(aiming)

이 誤差는 標的이 移動하는 경우에 追跡 레이다 사격 指揮 컴퓨터 또는 射手의 不正確한 겨냥 등으로 일어난다.

③ 分散 誤差는 砲彈 發射의 탄피 및 장약 무게의 差異 및 습기 온도의 變化와 發射時 기압의 膨창등이 發射에 미치는 영향이 다름에 따라 發生한다. 또한 포대가 發射마다 一定한 狀態를 유지하지 않는 경우와 發射時의 포신의 움직임 및 반동 등이 다름으로 誤差가 생기게 된다. 이 세가지의 관계를 그림으로 나타내면 아래와 같다.

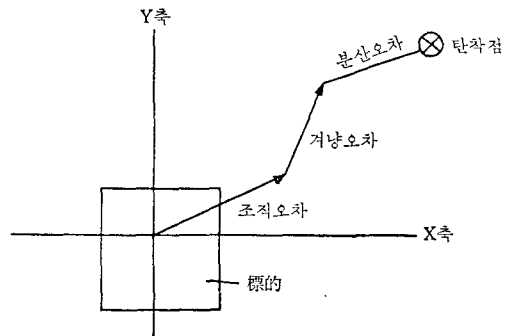


그림 6. 誤差로 인한 變化된 탄착점

이러한 모든 誤差를 고려한 綜合 誤差를 特定한 거리에서 σ 라 했을 때 彈着 分布를 2次元上의 normal 分布인 bivariate normal distribution 으로 가정하면 單발 명중을 SSPH(참고 문헌 4 pp-66)는 다음 式으로 나타낸다.

$$SSPH = \frac{1}{2\pi} \left(\int_{-\frac{L'}{2\sigma}}^{+\frac{L'}{2\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz \right) \left(\int_{-\frac{W'}{2\sigma}}^{+\frac{W'}{2\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz \right) \quad (19)$$

이 때 L' 와 W' 는 標의 艦을 四角形으로 봤을 때 相對 方位 ϕ 와 砲彈의 낙하 角 θ 를 고려한 變形된 標의 艦의 大小가 된다.

4. 艦艇의 損傷 및 致死率(Kill) 決定

艦艇의 예상된 損傷을 推定하기 爲하여 우선 艦艇에 몇발이 命中되었는가를 推定해야 한다. 이를 爲하여 몬테칼로 推出法(Monte Carlo Sampling)에 依하여 거리 R_1 에서의 i 탄의 命中率 P_i 와 均一分布(Uniform Distribution $0 \leq RN \leq 1$)에서 나온 亂수 RN 을 比較하여야 한다. 만일 $RN < P_i$ 이면 이는 i 탄환이 命中되었음을 나타낸다.

이것은 바로 二項分布의 單발 命中率 P_i 와 n 발의 關係이며 二項分布의 命中된 數를 발생(generation)하는 方法이다. 이렇게 주어진 交戰 時間에 發射된 N 발을 하나 하나 亂수와 比較하여 命中된 M 발을 發見할 수 있다. 이는 다음으로 여러차례 交戰함에 따라 M 발이 命中되었을 때 과연 艦의 격침(Kill)을 가져다 주는 누적된 m 번째 命中 彈환이 存在할 것이다. 매번 命中되는 이 彈丸에 對하여 격침여부의 判定은 1發 命中했을 때의 격침확률과 RN 을 위와 같이 Geometric distribution 發生에 의거 最終的으로 격침되는 순간의 m 번째 彈丸을 發見할 수 있을 것이다. 비록 탄창의 제한과 艦艇의 機動의 制限으로 주어진 發射 時間이 制限되어 있을 때에도 합정의 命中된 彈丸에 依한 損傷은 存在하므로 最初 交戰에서 m 발이 命中하였을 때 예상된 艦艇의 損傷은 다음과 같이 求할 수 있다. m 발이 命中되었을 때 一發당 艦艇 損傷이 합정에 따라 나와 있으므로 그 損傷이 p 라면 예상된 損傷은 mp 가 된다.

따라서 RN 을 $P_{K/N}$ 와 比較하였을 때 艦艇이 生存되었어도 自體의 mp 의 損傷은 남게 된다.

지금까지 亂수에 依한 損傷 및 kill 되는 algorithm 을 說明하였는 데 이 algorithm 에서 n 발의 彈丸을 發射하였을 때 과연 亂수 과정(random process)에서 몇발이 命中하는가를 發生시킬수가 있는 데 이러한 命中分布가 과연 二項分布(n, p)가 되는가를 證明해 보고자 한다. $I(P)$ 를 單位 階階 함수(Unit Step function)라 하자. 만일 亂수 RN 이 命中率 P 보다 크면

$$I(RN - P) = 1 \quad \text{즉} \quad \text{Prob}\{I(RN - P) = 1\} = P$$

만일 $RN > P$ 이면

$$\begin{aligned} I(RN - P) = 0 \quad \text{즉} \quad \text{prob}\{I(RN - P) = 0\} &= q \\ &= 1 - P \\ &= 1 - F(x) \\ &= R(x) \end{aligned}$$

이때 $I(RN - P)$ 는 하나의 binary (0-1) 변수가 된다. $I(RN - P)$ 의 平均치(Expected value)와 Variance 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E\{I(RN - P)\} &= 1 \times F(P) + 0 \times R(P) = F(P) \\ V_{ar}\{I(RN - P)\} &= [1^2 \times F(P) + 0 \times R(P)] \\ &\quad - F^2(P) = F(P) \{1 - F(P)\} \end{aligned}$$

이제 亂수로 부터 發生된 n 개의 binary 수의 합은

$$\hat{F}_n(P) \triangleq \sum_{i=1}^n I(RN_i - P) / n$$

가 되는데 이것의 平均치(Expected value)와 Variance 를 求해 보자.

$$\begin{aligned} E\{\hat{F}_n(P)\} &= \sum_{i=1}^n \frac{E\{I(RN_i - P)\}}{n} \\ &= \frac{n \times F(P)}{n} \\ &= F(P) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ar}\{\hat{F}_n(P)\} &= \frac{n V_{ar}\{I(RN_i - P)\}}{n^2} \\ &= \frac{F(P) \{1 - F(P)\}}{n} \end{aligned}$$

이것은 바로 亂수로 부터 發生된 命中彈數가 二項 分布로 되어 있다는 必要條件이다. 역으로 亂수와 比較에서 얻어진 命中彈數의 分布가 二項 分布가 됨을 證明해 보자. 이것은 곧

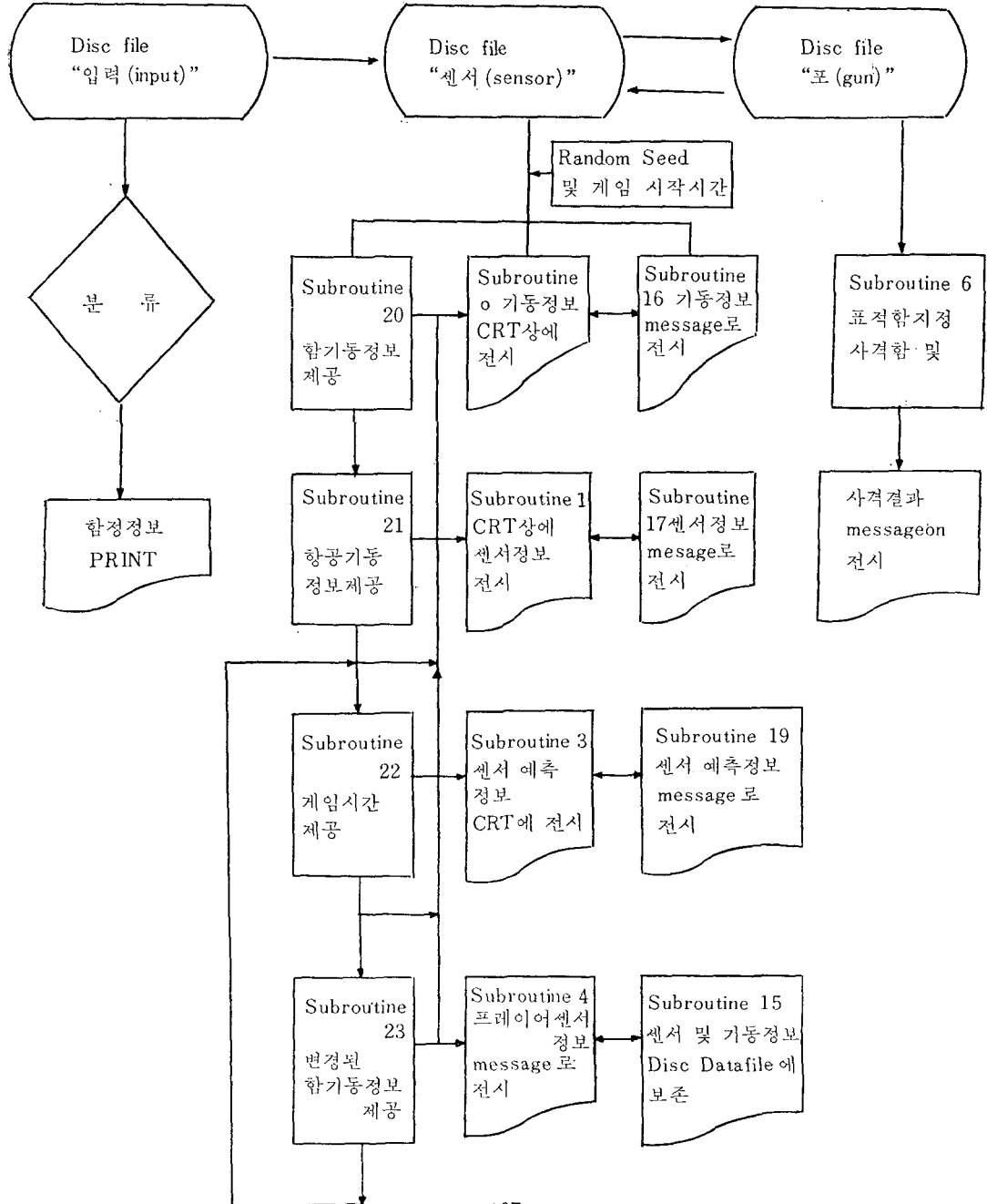
위에서 얻은 發射 彈數 n 발 中 命 中 彈數 m 發이 二項 分布임을 보여 주는 充分條件이다.

$\hat{F}_n(p)$ 의 Generating function 은
 $g_n(z) = E\{z^{\hat{F}_n(P)}\}$

$$\begin{aligned} &\triangleq \sum_{j=0}^n P_{j/n} z^{j/n} \\ &= \sum_{j=0}^n \text{Prob}\{\hat{F}_n(P) = j/n\} z^{j/n} \\ &= \sum_{j=0}^n \text{Prob}\{n\hat{F}_n(P) = j\} z^{j/n} \\ &= \sum_{j=0}^n \text{Prob}\left\{\sum_{i=0}^n I(RN_i - P) = j\right\} (Z^{1/n})^j \end{aligned}$$

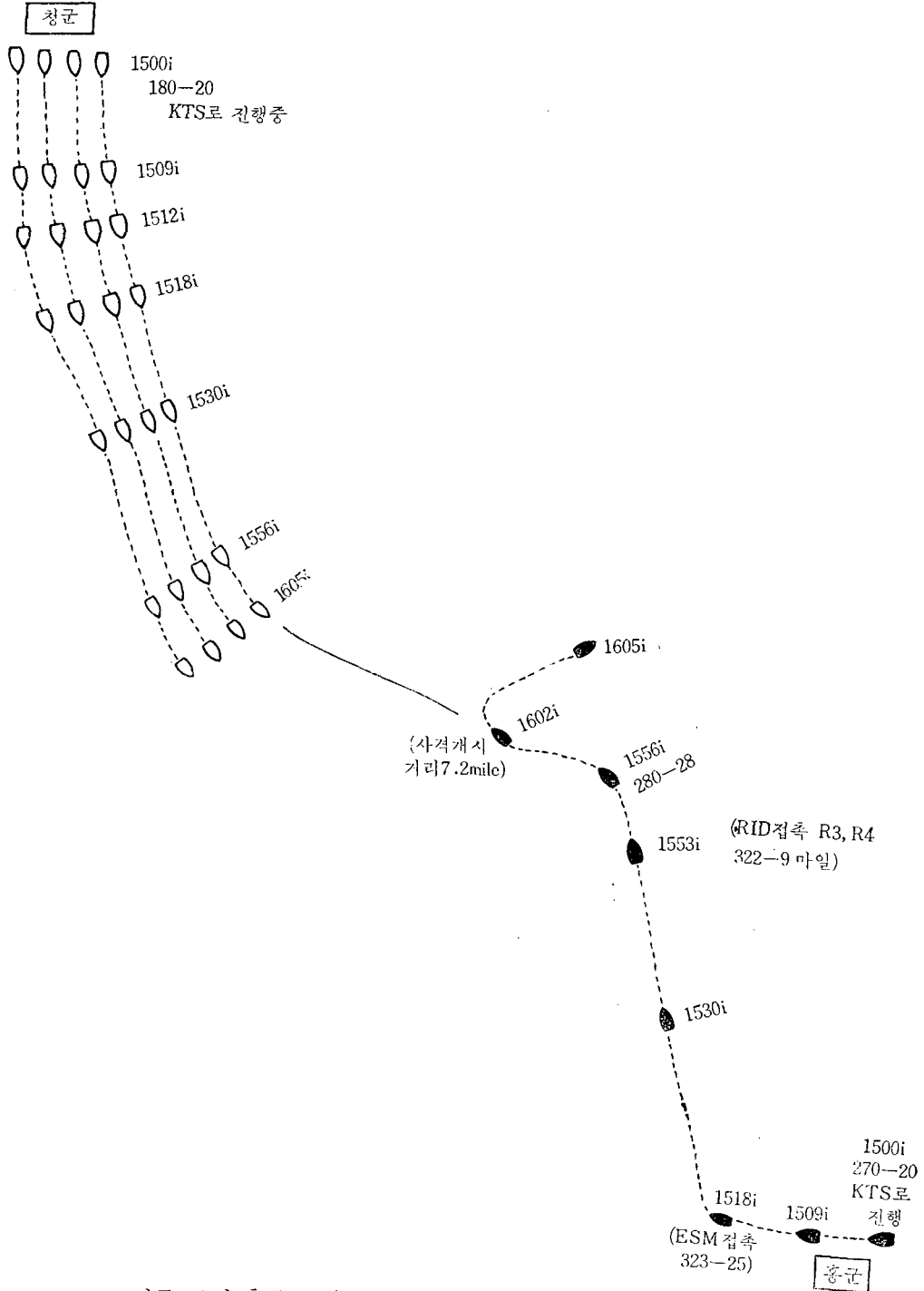
부록 1. Macro Flowchart

위에서 다루었던 함정 기동 센서 및 損傷 추정에 관한 모델의 Macro Flowchart는 다음과 같다.



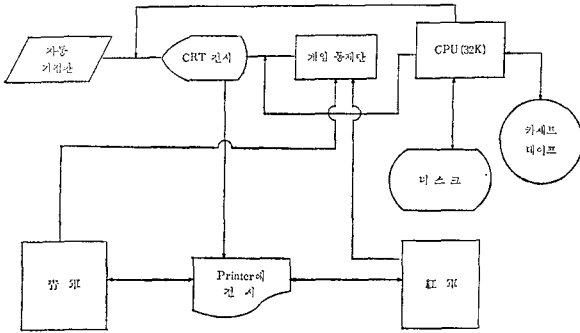
부록 2. 위계임의 예

아래의 예는 전술분석을 위한 청군 4척과 홍군 1척의 위계임의 예이다. 그림은 부록 3의 위계임 시스템 연결도에 제시된 자동기점판에서 발췌한 것임.



청군 4척 홍군 1척의 위계임의 예

부록 3. Realtime 워게임을 위한 컴퓨터 시스템의 연결도



즉 워게임 進行 時間은 實戰 狀況 展開 時間과 같아야 眞正한 워게임의 目的을 達成할 수 있을 것이다.

Wang 2200 system 에서 各 Subroutine Key (Deffu Key)에 따라 Disc 에서 各 main 프로그램 file 의 “input” “sensor” “gun”을 수시로 부르면서 機動 및 센서 예측 艦의 損傷 등을 random process 에 依하여 계산하여 送하고 있다. 特히 Subroutine 23 은 指揮官의 決心事項 즉 艦의 침로 速力 變경에 對한 命命을 넣는 input Subroutine 이다.

R_{Ni} 즉 난수와 난수가 獨立으로 가정하면 $g_n(z)$ 는 단순히 $I(R_{Ni}-P)$ 의 Generating function 의 n 차 누승이 된다.

$$\begin{aligned} \text{즉 } G_n(z) &= [R_n(P) + z^{i/n} F_n(P)]^n \\ &= R^n(P) \left[1 + z^{i/n} \frac{F_n(P)}{R_n(P)} \right]^n \\ &= R^n(P) \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} z^{i/n} \left\{ \frac{F_n(P)}{R_n(P)} \right\}^j \\ &= \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} F_n(P)^j [1 - F_n(P)]^{n-j} z^{i/n} \end{aligned}$$

이것은 바로 二項 分布 generating function 의 基本型이다.

V. 結 論

海戰의 狀況을 컴퓨터에 옮겨 넣고 그때 그때 指揮官의 命命을 넣어 模擬한다는 것은 理想의인 시뮬레이션이다. 本論에서 이야기한 바와 같이 컴퓨터로서 複雜한 機動 探知 交戰의 函數關係를 쉽게 빠르게 處理하면서 또한 指揮官의 意思가 워게임 컴퓨터의 入力으로 들어가도록 할 때 종래의 手動式 方法에서 進一步한 方法이 될것이다. 컴퓨터 시스템이 艦艇 機動모델 센서모델 艦砲 交戰 모델을 각 디스크화일에 나누어 넣고 指揮官의 決心을 實際時間(real time)에 맞추어 入力시킴으로서 人間工學 시스템(man machine system)으로서의 워게임이 可能할 것이다. 戰略 戰術 分析 및 기타 研究개발 性能 평가 訓練을 爲한 分析道具는 반드시 實際 워게임(real time war game)

참 고 문 헌

1. Brodtkin, "Fire Control Studies Tank Gunnery Studies" Report No. R-1380, Frankford Arsenal, Philadelphia, Pa., Feb 1957.
2. Groves, A.D., "Handbook on the use of the Bivariate Normal Distribution in Describing Weapon Accuracy" BRLM 1372, September, 1961.
3. Graybill, F.A., *An Introduction to Linear Statistical Models*, Volume I, New York; McGraw-Hill, 1961.
4. Helgert, H.J. "A Statistical treatment of various classes of gunnery errors and the calculation of hit probability" PS II, Volume 1, September 1969.
5. Zehna P.W., *Probability*, Brooks/Cole Publishing Company, 1970.
6. Ross, S.M. *Introduction to Probability Models*, Academic Press, 1972.
7. Feller, *An Introduction to Probability Theory and its Applications*, Volume I Willy, 1967.
8. Rue G. A. and F.C. Reed, *War gaming methodology using Programmable calculator*, NWC Technical memorandum, August 1975.
9. Pak, C.H., "The Generation of Poission Random Variates", *the Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, June 1975.
10. Systems Analysis Group, ROKN, "A selection model of Fast Boat Weapon Systems", *the Journal of military Operations Research Society in Korea*, 1975.