(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0080865
(43) 공개일자 2025년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F41G 3/08 (2006.01) *F41G 11/00* (2006.01)
F41G 3/04 (2006.01) *F41G 3/12* (2006.01)
F41G 3/14 (2006.01) *F41G 7/34* (2006.01)
F42B 15/01 (2006.01) *G01C 25/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
F41G 3/08 (2013.01)
F41G 11/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7011646
(22) 출원일자(국제) 2023년09월11일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2025년04월09일
(86) 국제출원번호 PCT/IL2023/050975
(87) 국제공개번호 WO 2024/057303
국제공개일자 2024년03월21일
(30) 우선권주장
296452 2022년09월13일 이스라엘(IL)

(71) 출원인
트라젝탈 리미티드
이스라엘, 8502500 메이타르, 7 카차브 스트리트
(72) 발명자
그린가우즈 마이클
이스라엘, 8502500 메이타르, 7 카차브 스트리트
(74) 대리인
특허법인한얼

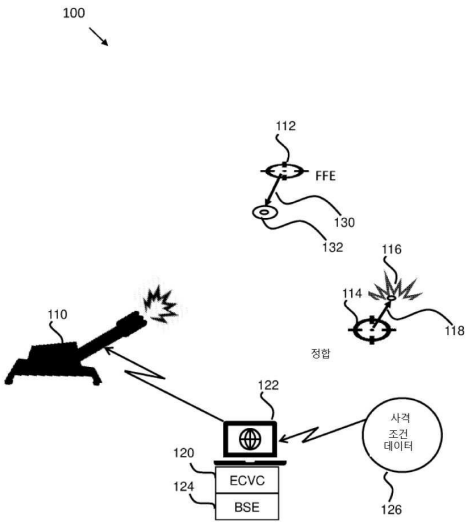
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **간접 사격의 표적화 보정**

(57) 요 약

간접 사격의 표적화를 보정하기 위한 시스템 및 방법이 제공되며, 여기에는: 사격 조건 세트에 대한 값을 획득하고, 사격 조건 각각에 대해 사격 조건의 공분산 행렬의 통계적 파라미터를 결정하고, 여기에는 단위 효과, 표준 편차, 및 정합과 효력-사격(FFE: fire-for-effect) 사격 조건 오차 간의 오차 상관관계를 포함하고, 여기서 적어도 하나의 상관관계는 1보다 작고 0보다 크며, 정합 미스 벡터를 획득하고, 통계적 파라미터에서 조건부 보정 행렬을 생성하고; FFE 표적을 위한 보정 벡터를 계산하기 위해 조건부 보정 행렬을 정합 미스 벡터로 곱하는 것을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
F41G 3/04 (2013.01)
F41G 3/12 (2013.01)
F41G 3/142 (2013.01)
F41G 7/34 (2013.01)
F42B 15/01 (2013.01)
G01C 25/005 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

간접 사격의 표적화를 보정하기 위한 컴퓨팅 시스템으로서, 적어도 하나의 프로세서와 상기 프로세서에 통신 가능하게 결합되어 컴퓨터-판독 가능 명령어를 저장하는 메모리 저장소를 포함하고, 상기 컴퓨터-판독 가능 명령어는 실행 시:

1) 정합(registration)을 위해 사격될 총기, 정합 표적, 효력-사격(FFE: fire-for-effect) 표적의 위치 좌표를 획득하는 단계;

2) 정합 및 FFE 사격 모두를 위한 총기 및/또는 환경 조건을 포함하는 사격 조건 세트에 대한 값을 획득하는 단계- 상기 사격 조건 세트는 발사체 질량, 탄도 항력 및 양력 계수, 총구 속도, 총열 마모, 추진제 온도, 고도 점프, 방위각 점프, 풍속, 기압 및 기온 중 하나 이상을 포함함 -;

3) 상기 세트의 상기 사격 조건 각각에 대해, 사격 조건 오차의 단위 효과를 추정하고, 오차 공분산 행렬 W의 상관 항을 결정하는 단계- 상기 상관 항은 정합 사격 조건과 FFE 사격 조건 모두의 오차 간의 상관관계를 나타내고, 적어도 하나의 상관 항은 1보다 작고 0보다 큼 -;

4) 정합 사격의 결과로서 정합 미스 벡터(registration miss vector) (v, w)를 획득하는 단계- 상기 정합 사격을 위한 고도 및 방위각 파라미터는 탄도 시뮬레이션 엔진(BSE: ballistic simulation engine)에 의해 계산됨 -;

5) 상기 오차 공분산 행렬 W의 상기 상관 항과 상기 단위 효과로부터, a) 정합 사격 중 조건 오차와 FFE 중 조건 오차 간 효과 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{12}, 및 b) FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{22}를 생성하고, 이에 따라 조건부 보정 행렬 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$을 계산하는 단계; 및

6) FFE 사격을 위한 FFE 보정 벡터를 계산하기 위해 상기 조건부 보정 행렬 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$을 상기 정합 미스 벡터 (v, w)로 곱하는 단계를 수행하는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 FFE 사격을 위한 고도 및 방위각 사격 파라미터를 생성하도록 상기 BSE에 입력될 FFE 표적 조정 좌표를 계산하기 위해 상기 FFE 표적 좌표에서 상기 FFE 보정 벡터를 빼는 단계를 더 포함하는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 사격 조건 세트는 상기 총구 속도를 포함하고, 상기 정합 장약(registration charge)은 상기 FFE 장약과 상이하며, 정합을 위한 총구 속도 오차와 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 상기 오차 공분산 행렬의 상기 상관관계는 1보다 작고 0보다 큰, 컴퓨팅 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 정합을 위한 총구 속도 오차와 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 상기 상관관계는 약 0.5로 추정되는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 사격 조건 세트는 총구 속도를 포함하고, 상기 정합 총기는 상기 FFE 총기와 상이하여, 정합을 위한 총구 속도 오차와 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 상기 오차 공분산 행

렬의 상관관계가 1보다 작고 0보다 크게 설정되는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서, 정합을 위한 총구 속도 오차와 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 상기 상관관계는 약 0.5로 설정되는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 사격 조건 세트는 북쪽 및 동쪽 풍속을 포함하고, 상기 정합 궤적은 상기 FFE 궤적과 상이하며, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간의 상기 상관관계는 1보다 작고 0보다 큰, 컴퓨팅 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간의 상기 상관관계는 낮은 궤적과 높은 궤적의 최대 높이의 비율로 설정되는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 사격 조건 세트는 북쪽 및 동쪽 풍속에 대한 값을 포함하고, 상기 오차 공분산 행렬에서 정합 및 FFE를 위한 풍속의 상기 상관관계는 시간 간격의 함수로서 1보다 작고 0보다 크게 설정되는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 사격 조건 세트는 총구 속도와 북쪽 및 동쪽 풍속을 포함하고, 상기 정합 총기, 장약 및 궤적은 FFE에 대한 것과 상이하여, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간 상기 오차 공분산 행렬의 상관관계가 1보다 작고 0보다 크게 설정되고, 정합 및 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 상기 상관관계도 또한 1보다 작고 0보다 크게 설정되는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 FFE 보정 벡터에 대한 평균-제곱근-오차(RMSE: root-mean-square error) 값을 계산하고, 상기 RMSE 값을 사전-설정된 임계값과 비교하고, 이에 따라, 상기 FFE 보정 벡터로 상기 FFE 표적을 향해 사격할지 여부에 대한 결정을 제공하는 단계를 더 포함하는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 FFE 보정 벡터에 대한 평균-제곱근-오차(RMSE) 값을 계산하는 단계; 대안 사격 조건에 대한 추가 FFE 보정 벡터를 생성하고, 상기 추가 FFE 보정 벡터 각각에 대한 RMSE 값을 계산하는 단계; 및 RMSE가 가장 낮은 상기 사격 조건으로 상기 FFE를 향해 사격하기 위한 권고를 제공하는 단계를 더 포함하는, 컴퓨팅 시스템.

청구항 13

간접 사격의 표적화를 동적으로 보정하기 위한 방법으로서:

1) 정합을 위해 사격될 총기, 정합 표적, 효력-사격(FFE) 표적의 위치를 획득하는 단계;

2) 정합 및 FFE 사격 모두를 위한 총기 및/또는 환경 조건을 포함하는 사격 조건 세트에 대한 값을 획득하는 단계- 상기 사격 조건은 발사체 질량, 탄도 항력 및 양력 계수, 총구 속도, 총열 마모, 추진제 온도, 고도 점프, 방위각 점프, 풍속, 기압, 기온 중 적어도 하나를 포함함 -;

3) 상기 세트의 상기 사격 조건 각각에 대해, 사격 조건 오차의 단위 효과를 추정하고, 오차 공분산 행렬 W의 상관 항을 결정하는 단계- 상기 상관 항은 정합 사격 조건과 FFE 사격 조건 모두의 오차 간의 상관관계를 나타내고, 적어도 하나의 상관 항은 1보다 작고 0보다 큼 -;

4) 정합 사격의 결과로서 정합 미스 벡터를 획득하는 단계- 상기 정합 사격을 위한 고도 및 방위각 파라미터는 탄도 시뮬레이션 엔진(BSE)에 의해 계산됨 -;

5) 상기 오차 공분산 행렬 W의 상기 상관 항과 상기 단위 효과로부터, 1) 정합 사격 중 조건 오차와 FFE 중 조건 오차 간 효과 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{12}, 및 2) FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{22}를 생성하고, 이에 따라 조건부 보정 행렬 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$을 계산하는 단계;

6) FFE 사격을 위한 FFE 보정 벡터를 계산하기 위해 상기 조건부 보정 행렬을 상기 정합 미스 벡터로 곱하는 단계;

7) 상기 FFE 표적 좌표에서 상기 FFE 보정 벡터를 빼서 FFE 표적 조정 좌표를 계산하는 단계;

8) FFE 사격을 위한 고도 및 방위각 사격 파라미터를 생성하기 위해 상기 BSE에 상기 FFE 표적 조정 좌표를 입력하는 단계를 포함하는 보정 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 정합 및 FFE를 위한 상이한 장약을 계획하고, 이에 따라, 상기 오차 공분산 행렬에서 정합 및 FFE를 위한 총구 속도 오차의 상관관계를 1보다 작고 0보다 크게 설정하는 단계를 더 포함하는 보정 방법.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서, 정합 및 FFE를 위한 상이한 총기를 계획하고, 이에 응답하여, 상기 오차 공분산 행렬에서 정합 및 FFE를 위한 총구 속도 오차의 상관관계를 1보다 작고 0보다 크게 설정하는 단계를 더 포함하는 보정 방법.

청구항 16

제13항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 사격 조건 세트는 북쪽 및 동쪽 풍속에 대한 값을 포함하고, 상기 정합 사격 및 상기 FFE 간의 시간 간격이 통계적 상관관계를 감소시켜, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간의 상기 오차 공분산 행렬의 상관관계가 1보다 작고 0보다 큰 값으로 설정되는, 보정 방법.

청구항 17

제13항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 정합 및 FFE를 위한 상이한 궤적을 계획하고 이에 응답하여, 상기 오차 공분산 행렬에서 정합 및 FFE를 위한 북쪽 및 동쪽 풍속의 상관관계를 1보다 작고 0보다 크게 설정하는 단계를 더 포함하는 보정 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간의 상기 상관관계는 낮은 궤적과 높은 궤적의 최대 높이의 가중 비율로 추정되는, 보정 방법.

청구항 19

제13항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 FFE 보정 벡터에 대한 평균-제곱근-오차(RMSE) 값을 계산하고, 상기 FFE 보정 벡터로 상기 FFE 표적을 향해 사격할지 여부를 결정하기 위해 상기 RMSE 값을 사전-설정된 임계값과 비교하는 단계를 더 포함하는 보정 방법.

청구항 20

제13항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 FFE 보정 벡터에 대한 평균-제곱근-오차(RMSE) 값을 계산하는 단계; 대안 사격 조건에 대한 추가 FFE 보정 벡터를 생성하는 단계; 및 RMSE가 가장 낮은 상기 사격 조건으로 상기 FFE를 향해 사격하는 단계를 더 포함하는 보정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 일반적으로 군사 작전 분야, 특히 간접 사격을 실행하기 위한 군사 작전 분야에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 현대 군사 작전에서는 효과적이고 장거리의 간접 사격 도달(indirect fire delivery)을 요구한다. 이러한 작전이 성공하려면, 사격 조건이 정확하게 교정되어야(calibrated) 하며, 통상적으로 사격은 원하는 표적(본 명세서에서 "효력-사격(fire-for-effect)" 표적이라고 함)을 향하기 전에 먼저 "정합(registration)" 표적을 향해야 함을 의미한다.

[0003] 정합 기술에는 여러 유형이 있으며, 모두 FFE 표적을 향해 사격하기 위한 보정 계수(correction factor)를 결정하는 것을 목표로 한다. 평균 탄착점(MPI: mean point of impact) 정합에서, 동일한 세트의 사격 조건(예를 들어, 동일한 총기, 동일한 장약, 동일한 위치)의 다수의 라운드가 탄약이 정합 위치에서 사격되어 알려진 지점에서의 전체 미스(total miss)를 결정한다. 마찬가지로, "후방 정합(registration to the rear)"이라고도 하는 "오프셋 정합(offset registration)"에서, 정합 사격은 한 대의 총기(또는 "곡사포(howitzer)")에 의해 수행되며, 이는 부대의 다른 총기에 교정 데이터를 제공한다.

[0004] 보다 최근의 정합 방법은 문헌["*Fire support with Gaussian estimation of environmental conditions based on single or multiple target registration*, Journal of the Operational Research Society, Volume 72, 2021 - Issue 9, pp 2112-2121(이하 "Bendersky")]에 기술되어 있다. Bendersky에 의해 기술된 방법은 조건부 벡터 보정, 이하 "CVC"라고 한다. 이 방법은 체계적 사격 오차의 다변량 정규 분포와 그 조건부 한계 분포를 적용하여 환경 및 시스템 고유 오차 값의 가장 가능성 있는 값을 추정한다. 이러한 오차의 분포 특성과 하나 이상의 정합 발포(shots)를 사격한 후 획득된 미스 벡터에 대한 경험적 지식이 주어지면 FFE 사격에 대한 보정이 생성된다.

[0005] 다양한 정합 방법은 FFE를 향한 총기 사격 교정에 적용될 수 있는 범위, 편차 및 장약 보정과 같은 보정을 산출한다.

[0006] 현재 정합 및 사격 교정 기술에는 정확도와 가용성과 관련하여 다양한 제한이 있으며, 근거리 정합 사격으로 인한 놀람의 요소를 줄이는 데에도 제한이 있다. 정합 보정은 범위 및 편차의 특정 제한 내에서만 유효하다. 이러한 제한을 정확하게 평가하는 것도 효과적인 작전을 위해 중요하다.

발명의 내용

[0007] 본 발명의 실시예는 간접 사격의 표적화를 보정하기 위한 시스템 및 방법을 제공한다. 이 실시예에는 다음 단계를 수행하는 시스템을 포함한다:

[0008] 1) a) 정합을 위해 사격될 총기, b) 정합 표적 및 c) 효력-사격(FFE) 표적의 위치 좌표를 획득하는 단계;

[0009] 2) 정합 및 FFE 사격 모두를 위한 총기 및/또는 환경 조건을 포함하는 사격 조건 세트에 대한 값을 획득하는 단계- 사격 조건 세트는 발사체 질량, 탄도 항력 및 양력 계수, 총구 속도, 총열 마모, 추진제 온도, 고도 점프, 방위각 점프, 풍속, 기압, 기온 중 하나 이상을 포함하고 -;

[0010] 3) 세트의 사격 조건 각각에 대해, 사격 조건 오차의 단위 효과를 추정하고, 오차 공분산 행렬 W의 상관 항을 결정하는 단계- 상관 항은 정합 사격 조건과 FFE 사격 조건 모두의 오차 간의 상관관계를 나타내고, 적어도 하나의 상관 항은 1보다 작고 0보다 크며 -;

[0011] 4) 정합 사격을 위한 총기의 사격 결과로서 정합 미스 벡터(registration miss vector)를 획득하는 단계- 정합 사격을 위한 고도 및 방위각 파라미터는 탄도 시뮬레이션 엔진(BSE: ballistic simulation engine)에 의해 계산되고 -;

[0012] 5) 오차 공분산 행렬 W의 상관 항과 단위 효과로부터, 1) 정합 사격 중 조건 오차와 FFE 중 조건 오차 간 효과 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{12}, 2) FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{22}를 생성하고, 이에 따라 조건부 보정 행렬 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$을 계산하는 단계; 및

[0013] 6) FFE 사격을 위한 FFE 보정 벡터를 계산하기 위해 조건부 보정 행렬을 정합 미스 벡터로 곱하는 단계.

도면의 간단한 설명

[0014] 본 발명의 다양한 실시예를 보다 잘 이해하고 이를 어떻게 구현할 수 있는지 보여주기 위해, 이제 예시로서 첨부 도면을 참조할 것이다. 본 발명의 구조적 세부 사항은 본 발명에 대한 기본적인 이해를 제공하기 위해 제시되며, 도면과 함께 이루어진 설명은 본 발명의 여러 형태가 실제로 어떻게 구현될 수 있는지를 본 기술 분야의

숙련자에게 명확하게 보여준다. 도면에서:

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 간접 사격의 표적화를 보정하기 위한 시스템의 동작 환경의 개략도이다;

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 간접 사격의 표적화를 보정하기 위한 프로세스의 흐름도이다;

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 사격 조건 및 해당 오차 추정치의 목록을 제시하는 표이다;

도 4 및 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 상이한 사격 조건에 대한 표적 보정을 위한 잔여, 평균-제곱근-오차(RMSE) 표이다;

도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 CVC 대 ECVC의 몬테카를로 시뮬레이션 결과를 보여주는 그래프이다;

도 8 내지 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 간접 사격 영역의 표적 보정을 위한 평균 제곱근 오차의 등고선 지도이다; 그리고

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 오차의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명의 실시예는 간접 사격의 표적화를 보정하기 위한 시스템 및 방법을 제공한다.

[0016] 도 1은 간접 사격을 제공하는 시스템(100)의 개략도이다. 하나 이상의 총기(110)는 간접 사격을 제공하여 효력-사격(FFE) 표적 좌표(112)를 타격하도록 배치된다. 이 총기는 대포일 수 있거나 또는 군사 현장 부대에 의해 사용되는 임의의 다른 유형의 화포 또는 로켓 발사 장치일 수 있다. FFE 표적을 향해 사격하기 전에, 정합 표적(114)을 향해 사격을 실시한다. 정합 미스 벡터(118)(본 명세서에서 "편차(deviation)" 벡터라고도 함)에 의해 정합 표적 좌표에서 오프셋된 좌표인 사이트(116)에서 탄착이 발생한다. 정합 미스 벡터(118)의 값은 "오차-상관 CVC 모듈(error-correlated CVC module)"에 입력되며, 이는 ECVC 모듈(120)(본 명세서에서 "개선된 CVC(improved CVC)"라고도 함)로 표시된다. ECVC는 더 후술되는 바와 같이, FFE 표적화를 보정하기 위한 벡터를 계산한다. ECVC 모듈(120)은 컴퓨터(122)와 같은 프로세서 상에서 실행되도록 구성된다. 또한 컴퓨터(122) 또는 연관된 컴퓨터 상에서 실행되도록 구성된 모듈은 탄도 시뮬레이션 엔진(BSE)(124)이라고 하며, 또한 본 명세서에서 탄도 궤적 시뮬레이터라고도 한다. 광범위하게 사용되는 BSE의 한 형태는 보정된 점 질량 궤적(MPMT: modified point mass trajectory) 모델로 알려져 있으며, 이는 문헌[*MODERN EXTERIOR BALLISTICS: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles*, Robert L. McCoy, Schiffer Military,(200)9]에 기술되어 있다.

[0017] BSE(124)와 ECVC 모듈(120) 모두는 사격 조건과 관련된 추가 데이터를 입력으로 수신하며 이는 사격 조건 데이터(126)로 표시된다. 사격 조건의 이 입력 데이터는 수동으로 입력되고 및/또는 외부 시스템, 예를 들어, 현장 센서, 기상 시스템 및 GPS 시스템으로부터 수신될 수 있다. 입력 데이터는 장약, 발사체 질량, 탄도 항력 및 양력 계수, 총구 속도, 총열 마모, 추진제 온도, 고도 점프 및 방위각 점프와 같은 "탄도(ballistic)" 또는 "총기(gun)" 파라미터를 포함할 수 있다. 이러한 파라미터는 일반적으로 사격 테스트, 공기 역학 시뮬레이션, 풍동 테스트 및/또는 제조업체-제공된 데이터의 임의의 조합을 통해 획득된다. 사격 조건 데이터(126)는 풍속, 기압 및 기온과 같은 환경 조건도 포함할 수 있다. ECVC 모듈에 입력된 데이터는 총기(110)의 좌표, 정합 표적(114)의 좌표, FFE 표적(112)의 좌표도 또한 포함한다.

[0018] 사격 조건의 유형 및 이와 연관된 측정 오차, 즉 체계적 오차와 무작위 오차 모두는 "**사격 조건 및 오차 요인 도출**"이라고 명명된 본 명세서의 섹션에 설명되어 있다. (무작위 오차는 재현될 수 없는 오차이고; 체계적 오차는 일관된 결과를 생성하는 오차이다.)

[0019] BSE(124)는 통상적으로 정합 표적에 사격할 때와 FFE 표적에 사격할 때 모두 총기 파라미터(즉, 총기를 "조준하기(aiming)" 위한 파라미터, 통상적으로 방위각 및 고도)를 설정하는 데 사용된다. "역방향 실행(backward run)"으로 알려진 처리를 통해, BSE(124)는 원하는 타격점 좌표(표적 좌표)를 포함한 입력과 총기 및 환경 조건(총기 유형 및 풍속과 같이, 더 후술됨)을 포함한 입력에 기초하여, 총기 고도, 방위각 및 장약의 파라미터를 제공할 수 있다. BSE(124)는 또한 "전방향 실행(forward run)"이라고 하는 방식으로 동작하도록 구성될 수 있으며, 이에 의해 BSE는 총기 파라미터(사분면 고도, 총기 방위각, 장약)와 총기 및 환경 조건(예를 들어, 총기 유형 및 풍속)이 주어질 때의 타격점 좌표를 결정한다. 전방향 실행의 출력은 표적 타격 좌표와 발사체 궤적(궤적의 최대 높이 포함) 모두 포함할 수 있다. BSE 전방향 실행은 더 후술되는 바와 같이 사격 조건의 단위 효과를

결정하는 데 사용될 수 있다.

[0020] 이하에서 설명하는 바와 같이, 본 발명의 실시예에서, ECVC 모듈(120)은 사격 조건의 오차 분포에 기초하여, 의도된 표적 좌표(112)로부터 FFE 보정 벡터(130)에 의해 오프셋된 FFE 표적 보정 좌표(132)를 BSE(124)에 제공한다. 일부 구현에서는 ECVC 계산이 BSE 소프트웨어 패키지 내에서 구현될 수 있다. 대안적으로, 두 모듈이 개별적으로 실행되어, 자동 또는 수동으로 데이터를 교환할 수도 있다.

[0021] **ECVC 유도**

[0022] 다음 표는 본 명세서에 사용된 기호와 약어의 목록을 제공한다:

Az, AZ	방위각(북쪽에 대해)
QE	사분면 고도
CVC	조건부 벡터 보정
ECVC	개선된 CVC
DHD	타격된 데이터(did-hit data)
FFE	효력-사격
KP	정합을 위한 알려진 지점
MET	기상학
MPI	평균 탄착점
MPMT	보정된 점 질량 궤적 시뮬레이션
MRSI	멀티-라운드 동시 탄착
SHD	타격되어야 하는 데이터(should-hit data)
TOF	비행 시간
e_i	체계적인 사격 오차(i)
σ_i	체계적인 사격 오차의 표준 편차
X_i	정규화된 체계적인 사격 오차
τ_i	무작위 사격 오차의 표준 편차
$X_{0,i}$	정합 표적에 대한 정규화된 가우시안 체계적인 사격 오차
$X_{1,i}$	FFE 표적에 대한 정규화된 정규 체계적인 사격 오차
Z^A	정합 표적에 대한 동쪽 방향의 미스 거리
Z^B	정합 표적에 대한 북쪽 방향의 미스 거리
Z^C	FFE 표적에 대한 동쪽 방향의 미스 거리
Z^D	FFE 표적에 대한 북쪽 방향의 미스 거리
$\Sigma, \Sigma_{systematic}, \Sigma_{random}$	미스 지점 효과 공분산 행렬과 그 체계적 및 무작위 오차 성분
Σ_{ij}	4x4 효과 공분산 행렬 Σ의 2x2 블록
W	2n x 2n 오차 공분산 행렬(오차 성분)
u_j^A, u_j^B	정합 표적에서 동쪽 및 북쪽 방향 각각의 단위 효과
u_j^C, u_j^D	FFE 표적에서 동쪽 및 북쪽 방향 각각의 단위 효과
t	정합 사격후 경과된 시간
$\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$	**조건부 보정 행렬**
$\vec{T}_{CVC}$	$\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\binom{\nu}{w}$와 같은 FFE에 대한 CVC 보정 벡터, 여기서 $\binom{\nu}{w}$는 정합 표적 좌표로부터의 정합 미스의 벡터임
U_{CVC}	CVC 알고리즘의 잔여 오차(FFE에서 타격의 조건부 분포의 공분산 행렬)
$RMSE_{CVC}$	잔여 보정 오차에 대한 단일-값 측정
n_0	정합 표적의 그룹 사이즈 (사격 수)
n_1	FFE 표적의 그룹 사이즈 (사격 수)

[0023]

[0024] ***기본 CVC 배경***

[0025] 상술한 바와 같이, Bendersky에 의해 설명된 CVC 방법(이하 "기본 CVC(basic CVC)")은 체계적인 사격 오차의 다변량 정규 분포와 해당 조건부 한계 분포를 정합 표적에서의 미스 벡터와 함께 적용하여 탄도 시뮬레이션 엔진에 적용하기 위한 효력-사격(FFE) 표적의 조정된 좌표를 생성한다. 본 명세서에는 기본 CVC의 형태가 설명되어, 기본 CVC와 본 발명의 ECVC 방법 간의 차이점을 명확히 한다. 기본 CVC는 사격 조건의 측정 오차, 즉 체계적인 사격 오차 $e_1, e_2, \ldots, e_n$가 독립적이고 정규적으로 분포되며 예상값이 0이라고 가정한다:

[0026] [수학식 1]

[0027] $e_i \sim N(0, \sigma_i)$

[0028] 더욱이, 단일 사격 시나리오 내에서 정합 및 FFE 표적에 대한 체계적 오차는 동일하다고 가정한다. 따라서 체계적 오차는 다음과 같이 표현될 수 있다:

[0029] [수학식 2]

[0030] $e_i = \sigma_i X_i$, 여기서 $X_i \sim N(0,1)$

[0031] 여기서 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 은 정규화된 체계적 오차이며, 정규 분포를 갖는다.

[0032] 정합 표적의 미스 벡터는 동-북 좌표 (Z^A, Z^B) 로 표시되고, FFE 표적의 미스 좌표는 같은 동-북 좌표에서 (Z^C, Z^D) 로 표시된다. 각 사격 시나리오와 FFE 표적에 대해, 탄도 궤적 시뮬레이션(즉, 상술한 BSE)이 적용되어 단위 효과, 즉 각 오차 요인 j(즉, 사격 중 각 물리적 파라미터 값)에 대한 미스 벡터의 편미분을 결정한다:

[0033] [수학식 3]

[0034] 단위 효과: $u_j^{A,B,C \text{ or } D} = \frac{\partial(Z^{A,B,C \text{ or } D})}{\partial(e_j)}$

[0035] 미스 벡터의 값은 다음과 같이 단위 효과의 함수이다:

[0036] [수학식 4]

[0037] $(Z^A, Z^B) = \left(\sum_{j=1}^{n} a_j X_j, \sum_{j=1}^{n} b_j X_j \right)$ 여기서 $a_j = \sigma_j u_j^A, b_j = \sigma_j u_j^B$

[0038] $(Z^C, Z^D) = \left(\sum_{j=1}^{n} c_j X_j, \sum_{j=1}^{n} d_j X_j \right)$ 여기서 $c_j = \sigma_j u_j^C, d_j = \sigma_j u_j^D$

[0039] 여기서 $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ 은 체계적 오차 표준 편차 값이며, 이는 더 후술하는 바와 같이 경험적으로 측정될 수 있다. 선형성으로 인해, 무작위 벡터 변수 (Z^A, Z^B, Z^C, Z^D) 는 효과 공분산 Σ의 4×4 행렬을 갖는 정규적으로 다변량 분포된다:

[0040] [수학식 5]

[0041] $(Z^A, Z^B, Z^C, Z^D) \sim N((0,0,0,0), \Sigma)$

[0042] 기본 CVC 계산에서, 효과 공분산 행렬 Σ는 상이한 오차 성분 간의 독립성을 가정하고 정합 및 FFE 표적에 대해 동일한 오차 성분이 동일하다고 가정하여 계산된다. 즉, 4×4 효과 공분산 행렬의 각 요소는 다음과 같은 인수 $E(X_i X_j)$ 로 곱한다:

[0043] [수학식 6]

[0044] $E(X_i X_j) = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$

[0045] 예를 들어:

[0046] [수학식 7]

$$\left(Z^{A^2}\right) = E\left(\left(\sum_{j=1}^{n} a_j X_j\right)^2\right) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i a_j E(X_i X_j) = \sum_{j=1}^{n} {a_j}^2$$

$$E(Z^A Z^D) = E\left(\sum_{j=1}^{n} a_j X_j \sum_{j=1}^{n} d_j X_j\right) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i d_j E(X_i X_j) = \sum_{j=1}^{n} a_j d_j$$

[0047]

[0048] $\Sigma_{systematic}$의 최종 형태는 다음과 같다:

[0049] [수학식 8]

$$\Sigma_{systematic} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} a_j^2 & \sum_{j=1}^{n} b_j a_j & \sum_{j=1}^{n} c_j a_j & \sum_{j=1}^{n} d_j a_j \\ \sum_{j=1}^{n} a_j b_j & \sum_{j=1}^{n} b_j^2 & \sum_{j=1}^{n} c_j b_j & \sum_{j=1}^{n} d_j b_j \\ \sum_{j=1}^{n} a_j c_j & \sum_{j=1}^{n} b_j c_j & \sum_{j=1}^{n} c_j^2 & \sum_{j=1}^{n} d_j c_j \\ \sum_{j=1}^{n} a_j d_j & \sum_{j=1}^{n} b_j d_j & \sum_{j=1}^{n} c_j d_j & \sum_{j=1}^{n} d_j^2 \end{pmatrix}$$

[0050]

[0051] 효과 공분산 행렬의 무작위 오차 성분을 추가하여 무작위 오차 변동(단일 발포에 대한 오차)을 추가하는 것도 가능하다:

[0052] [수학식 9]

$$\Sigma_{random} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} \frac{a_j'^2}{n_0} & \sum_{j=1}^{n} \frac{b_j' a_j'}{n_0} & 0 & 0 \\ \sum_{j=1}^{n} \frac{a_j' b_j'}{n_0} & \sum_{j=1}^{n} \frac{b_j'^2}{n_0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{j=1}^{n} \frac{c_j'^2}{n_1} & \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j' c_j'}{n_1} \\ 0 & 0 & \sum_{j=1}^{n} \frac{c_j' d_j'}{n_1} & \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j'^2}{n_1} \end{pmatrix}$$

[0053]

[0054] 여기서 $a_j' = \tau_j u_j^A, b_j' = \tau_j u_j^B, c_j' = \tau_j u_j^C, d_j' = \tau_j u_j^D$ 이고,

[0055] τ_j는 인자 j의 무작위 오차 표준 편차 값이고,

[0056] n_0 및 n_1은 각각 정합 및 FFE 표적에 사격된 라운드 수이다.

[0057] 최종적으로, 총기 효과 공분산 행렬은 다음과 같은 형태로 표현될 수 있다:

[0058] [수학식 10a]

$$\Sigma = \Sigma_{systematic} + \Sigma_{random} = \begin{pmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{pmatrix}$$

[0059]

[0060] 여기서 Σ_{ij}는 2×2 행렬 블록이다:

[0061] [수학식 10b]

$$\Sigma_{11} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} a_j^2 + \sum_{j=1}^{n} \frac{a_j'^2}{n_0} & \sum_{j=1}^{n} b_j a_j + \sum_{j=1}^{n} \frac{b_j' a_j'}{n_0} \\ \sum_{j=1}^{n} a_j b_j + \sum_{j=1}^{n} \frac{a_j' b_j'}{n_0} & \sum_{j=1}^{n} b_j^2 + \sum_{j=1}^{n} \frac{b_j'^2}{n_0} \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{12} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} c_j a_j & \sum_{j=1}^{n} d_j a_j \\ \sum_{j=1}^{n} c_j b_j & \sum_{j=1}^{n} d_j b_j \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{21} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} a_j c_j & \sum_{j=1}^{n} b_j c_j \\ \sum_{j=1}^{n} a_j d_j & \sum_{j=1}^{n} b_j d_j \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{22} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} c_j^2 + \sum_{j=1}^{n} \frac{c_j'^2}{n_1} & \sum_{j=1}^{n} d_j c_j + \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j' c_j'}{n_1} \\ \sum_{j=1}^{n} c_j d_j + \sum_{j=1}^{n} \frac{c_j' d_j'}{n_1} & \sum_{j=1}^{n} d_j^2 + \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j'^2}{n_1} \end{pmatrix}$$

[0062]

[0063] 여기에서, 정합 표적(즉, $Z^A = v, Z^B = w$)에서 미스 벡터 (v, w)가 주어지면, FFE 표적 $(Z^C, Z^D | Z^A = v, Z^B = w)$에서 미스 벡터의 조건부 한계 분포도 또한 정규적이다. 문헌[*Multivariate Statistics: A Vector Space Approach*, Eaton, Morris L. (1983) John Wiley and Sons. pp.116-117(이하 "Eaton")]에 따라, Bendersky에 의해 적용된 바와 같이, 조건부 한계 분포는 $(Z^C, Z^D | Z^A = v, Z^B = w)$로 주어지며, $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\binom{v}{w}$의 예상값 및 $\Sigma_{11} - \Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\Sigma_{21}$의 조건부 공분산을 가지며, 즉:

[0064] [수학식 11]

$$(Z^C, Z^D | Z^A = v, Z^B = w) \sim N\left(\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\binom{v}{w}, \Sigma_{11} - \Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\Sigma_{21}\right)$$

[0065]

[0066] 이하에서, 항 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$은 조건부 보정 행렬이라고 하며, 이는 미스 벡터(v, w)가 주어질 때 보정을 계산하는 데 사용된다. FFE "미스 벡터(miss vector)"의 조건부 분포의 평균은 조건부 보정 행렬에 정합 미스 벡터 $\binom{v}{w}$를 곱한 값(행렬 곱셈)과 같다. 즉, 의도된 FFE 표적으로부터의 미스 예상 값을 최소화하기 위하여, BSE에 입력된 표적 좌표는 의도된 FFE 표적 좌표에서 보정 벡터 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\binom{v}{w}$를 빼서 보정해야 한다.

[0067] 보정 벡터를 적용하면 잔여 오차는 $\Sigma_{11} - \Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\Sigma_{21}$이 된다.

[0068] *기본 CVC에 비한 ECVC 향상*

[0069] 동일한 장약, 궤적(고/저), 총기가 사용되는 기본 CVC의 가정은 이러한 사격 조건이 정합 및 FFE 모두에 동일하게 유지될 수 없을 때 사격 정확도를 제한한다는 가정이다. 오차-상관 CVC(이하 "ECVC") 방법은 사격 조건이 일정하지 않을 때 표적 보정의 정확도를 개선하기 위해 개발되었다. 기본 CVC에 비해 ECVC가 향상된 주요 점은 정합 및 FFE에 대한 사격 조건의 체계적 오차가 완벽하게 상관된다고 가정하지 않는다는 점이다. 오히려 상관관계는 상이할 수 있으며 시간이 지남에 따라 변할 수도 있으며, 즉:

[0070] [수학식 12]

[0071] $$(X_{0,1}, X_{0,2}, \ldots, X_{0,n}, X_{1,1}, X_{1,2}, \ldots, X_{1,n}) \sim N(0, \mathrm{W}(t))$$

[0072] 여기서 $X_{0,j}$는 정합 오차, $X_{1,j}$는 FFE 오차이고, $\mathrm{W}(t)$는 일반적인 $2n \times 2n$ 시간 종속 오차 공분산 행렬이다. 함수 $\mathrm{W}(t)$는 또한 $\mathrm{W}_{ki,lj}(t) = E(X_{k,i}X_{l,j})(t)$로 표현될 수 있으며, 여기서 k와 l = 0(정합 표적) 및 = 1(FFE 표적)이고, i와 j = 0, 1, ..., n(오차 요인)이다. $\mathrm{W}(t)$는 본질적으로 사격 오차에 관한 모든 알려진 데이터: 이들의 분산, 상관관계(정합과 FFE에 대한 동일한 유형의 사격 조건 오차 간), 그리고 장약, 궤적, 총기 및 시간 경과를 변경할 때 상이한 사격 조건의 오차 간의 상관관계를 포함한다.

[0073] 명시적으로, 모든 단위 효과가 항 $\mathrm{W}(t)$의 대응하는 상관관계로 곱하는 체계적인 효과 공분산 행렬 $\Sigma_{systematic}(t)$는 다음과 같이 표현될 수 있다:

[0074] [수학식 13]

[0075] $$\Sigma_{systematic}(t) = \begin{pmatrix} \sum_{i,j} a_i a_j \mathrm{W}_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} b_i a_j \mathrm{W}_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} c_i a_j \mathrm{W}_{1i,0j}(t) & \sum_{i,j} d_i a_j \mathrm{W}_{1i,0j}(t) \\ \sum_{i,j} a_j b_j \mathrm{W}_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} b_i b_j \mathrm{W}_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} c_i b_j \mathrm{W}_{1i,0j}(t) & \sum_{i,j} d_i b_j \mathrm{W}_{1i,0j}(t) \\ \sum_{i,j} a_i c_j \mathrm{W}_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} b_i c_j \mathrm{W}_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} c_i c_j \mathrm{W}_{1i,1j}(t) & \sum_{i,j} d_i c_j \mathrm{W}_{1i,1j}(t) \\ \sum_{i,j} a_i d_j \mathrm{W}_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} b_i d_j \mathrm{W}_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} c_i d_j \mathrm{W}_{1i,1j}(t) & \sum_{i,j} d_i d_j \mathrm{W}_{1i,1j}(t) \end{pmatrix}$$

[0076] 무작위 오차를 추가([수학식 9]와 [수학식 13]의 조합)하면 다음과 같은 하위 블록을 갖는 효과 공분산 행렬 Σ_{total}이 주어진다:

[0077] • $\Sigma_{11}(t)$(정합 사격 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬),

[0078] • $\Sigma_{12}(t)$(정합 사격 중 조건 오차와 FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬),

[0079] • $\Sigma_{21}(t)$(정합 사격 중 조건 오차와 FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬--전치)

[0080] • $\Sigma_{22}(t)$(FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬). 효과 공분산 행렬은 다음과 같이 계산할 수 있다:

[0081] [수학식 14]

$$\Sigma_{total}(t) = \Sigma_{systematic}(t) + \Sigma_{random} = \begin{pmatrix} \Sigma_{11}(t) & \Sigma_{12}(t) \\ \Sigma_{21}(t) & \Sigma_{22}(t) \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{11}(t) = \begin{pmatrix} \sum_{i,j} a_i a_j W_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} b_i a_j W_{0i,0j}(t) \\ \sum_{i,j} a_j b_j W_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} b_i b_j W_{0i,0j}(t) \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{12}(t) = \begin{pmatrix} \sum_{i,j} c_i a_j W_{1i,0j}(t) & \sum_{i,j} d_i a_j W_{1i,0j}(t) \\ \sum_{i,j} c_i b_j W_{1i,0j}(t) & \sum_{i,j} d_i b_j W_{1i,0j}(t) \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{21}(t) = \begin{pmatrix} \sum_{i,j} a_i c_j W_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} b_i c_j W_{0i,1j}(t) \\ \sum_{i,j} a_i d_j W_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} b_i d_j W_{0i,1j}(t) \end{pmatrix}$$

$$\Sigma_{22}(t) = \begin{pmatrix} \sum_{i,j} c_i c_j W_{1i,1j}(t) & \sum_{i,j} d_i c_j W_{1i,1j}(t) \\ \sum_{i,j} c_i d_j W_{1i,1j}(t) & \sum_{i,j} d_i d_j W_{1i,1j}(t) \end{pmatrix}$$

[0082]

[0083] 상술한 기본 CVC 계산과 같이, FFE 표적에서의 미스 벡터의 조건부 분포는 정규 분포로 주어진다:

[0084] [수학식 15]

$$(Z^C(t), Z^D(t) | Z^A = v, Z^B = w)$$

$$\cong N\left(\Sigma_{12}(t)\Sigma_{22}^{-1}(t)\begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix}, \Sigma_{11}(t) - \Sigma_{12}(t)\Sigma_{22}^{-1}(t)\Sigma_{21}(t)\right)$$

[0085]

[0086] 본 명세서에서 항 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}$ 은 "**조건부 보정 행렬(conditional correction matrix)**"이라고 한다. 의도된 FFE 표적에서 미스의 예상 값을 최소화하기 위해, BSE에 입력된 FFE 표적 좌표는 의도된 FFE 표적 좌표에서, 정합 미스 벡터로 곱한 조건부 보정 행렬과 같은 보정 벡터 $\vec{r}_{CVC}$ 를 빼서 조정해야 한다:

[0087] [수학식 16]

$$\vec{r}_{CVC} = \Sigma_{12}(t)\Sigma_{22}^{-1}(t)\begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix}$$

[0088]

[0089] 정합 미스 벡터가 주어지면, 표적에 대한 최적의 좌표는 조정된 FFE 표적 좌표이고, 조정된 FFE 표적 좌표는 [수학식 15]의 분포로 표시된 바와 같이, 실제로 의도된 FFE 좌표가 타격될 수 있는 표적 좌표의 평균을 나타낸다.

[0090] 조정된 FFE 표적 좌표에 대한 잔여 오차 행렬, 즉 $\vec{r}_{CVC}$ 로 조정되는 표적 좌표를 향해 사격하는 RMSE(제곱근 표

준 오차)로 측정된 잔여 오차는 다음과 같다:

[0091] [수학식 17]

[0092] $$U_{CVC} = \Sigma_{11}(t) - \Sigma_{12}(t)\Sigma_{22}^{-1}(t)\Sigma_{21}(t)$$

[0093] 잔여 보정 오차에 대한 단일-값 측정은 다음과 같다:

[0094] [수학식 18]

[0095] $$RMSE_{CVC} = \sqrt{Trace(U_{CVC})/2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{2} U_{CVC\,ii}/2}$$

[0096] 간단히 말해서, 원래 FFE 표적을 타격하기 위해서는 효력 사격이 조정된 FFE 표적 좌표를 향해 수행되어야 한다.

[0097] [수학식 19]

조정된 FFE 표적 좌표(동경, 북위) = 의도된 FFE 표적 좌표(동경, 북위) -

[0098] $\vec{r}_{CVC}$

[0099] *ECVC 이점*

[0100] 표준의 비-CVC 사격 보정 방법은 간접 사격의 통계적 특성을 고려하지 않고, 체계적 오차와 무작위 오차의 분포를 무시하며, 보정의 통계적 정확도를 추정할 방법이 없다. 따라서, 표준 방법은 한정된 전송 제한(restricted transfer limits)으로 제한되며, FFE 표적은 정합 표적에 가까워야 하고 정합과 FFE 간의 장약, 궤적 및/또는 총기에 따라 오차가 크게 증가한다.

[0101] 기본 CVC는 간접 사격의 통계적 측면을 고려하여 이러한 문제 중 일부를 해결하여, 체계적 오차가 일정하고 사격 조건이 정합에서 FFE 사격으로 변경되지 않을 때 FFE에 가장 가능성 있는 보정을 제공한다.

[0102] ECVC는 정합과 FFE 사이의 시간이 증가함에 따라 변경될 수도 있는 정합에서 FFE로 변경되는 사격 조건에 대한 오차 상관관계를 포함함으로써 기본 CVC 제한을 제거한다. 따라서 ECVC는 작전 상의 유연성을 허용하여 작전자가 가장 효과적인 총기, 장약 및 궤적 파라미터를 선택하면서 가능한 오차에 대한 정확한 추정치를 제공하도록 한다. ECVC의 6가지 "사용 사례"가 후술되어 있다. 이러한 사용 사례는 다음과 같다:

[0103] a. 사용 사례 1: 정합 및 FFE에 대해 상이한 장약 사격.

[0104] b. 사용 사례 2: 정합 및 FFE에 대해 상이한 궤적(고/저) 사격.

[0105] c. 사용 사례 3: 시간이 지남(기상 메시지의 오래됨)에 따른 상관관계 감소 보상.

[0106] d. 사용 사례 4: 상이한 총기로 사격(후방 정합을 위해 CVC 적용)

[0107] e. 사용 사례 5: 위의 모든 것을 조합하여 효과적인 멀티-라운드 동시 탄착(MRSI) 사격

[0108] f. 사용 사례 6: FFE 표적을 향해 정합 사격.

[0109] ECVC 방법을 효과적으로 활용하려면 작전자는 정합 및 FFE 표적에 대한 사격 조건의 통계적 분포 및 오차 상관관계에 대한 추정치를 갖고 있어야 한다. 이러한 추정치를 획득하는 방법은 "**사격 조건 및 오차 요인 도출**"이라고 명명된 이하에 포함된 본 명세서의 섹션에 더 설명되어 있다. ECVC 대 기본 CVC의 향상된 정확도는 "**성능 비교**"라고 명명된 이하에 포함된 본 명세서의 섹션에 더 설명되어 있다.

[0110] **ECVC 프로세스 단계**

[0111] 도 2는 간접 사격의 표적을 보정하기 위한 ECVC 프로세스(200)의 흐름도이다. 이하에서는 프로세스(200)에 대한 설명에 따라, 실제 간접 사격 시나리오 중에 계산이 어떻게 수행되는지를 나타내는 예시적인 데이터를 사용하여

예시적인 ECVC 계산을 보여준다.

[0112] 프로세스(200)의 제1 단계(204)에서, ECVC 시스템(즉, 모듈)은 총기, 정합 표적 및 효력-사격(FFE) 표적의 지리적 좌표를 획득한다. 통상적으로 위치 좌표는 GPS와 지도 상에 표적을 표시하는 좌표를 조합하여 결정된다.

[0113] 단계(206)에서, ECVC 시스템은 정합 및 FFE 사격 모두를 위한 총기 및/또는 환경 조건을 포함한 사격 조건 값 세트를 획득한다. 도 3은 ECVC 계산에 적용될 수 있는 통상적인 사격 조건의 예시 목록을 도시한다. 이 표에는 사격 조건 간 오차 상관관계에 영향을 미치는 요인도 나열되어 있다. 예를 들어, 정합과 FFE 사격을 위한 바람 조건은 궤적과 총기 위치가 변하지 않고 사격 간 시간 지연이 짧은 경우 완전히 상관될 수 있다. 그렇지 않고, 이러한 조건 중 하나라도 충족되지 않으면(즉, 총기나 장약의 변경, 또는 시간 지연이 상당하다면), 바람 조건은 완전히 상관되지 않는다. 결과적으로, 위의 [수학식 12] 및 [수학식 13]의 오차 공분산 행렬 $W_{ki,lj}(t)$은 정합과 FFE 바람 조건 간의 상관관계에 대한 1보다 작은 값을 갖는 상관 항을 포함한다. 도 3의 표에 도시한 바와 같이, 오차 공분산 행렬에 포함될 수 있는 다른 사격 조건은: 기압, 기온, 발사체 질량, 탄도 항력 계수, 탄도 양력 계수, 장약, 총열 마모, 탄약 롯트, 추진제 롯트, 추진제 온도, 고도 설정 정확도, 고도 점프, 방위각 설정 정확도, 방위각 점프, 총기 위치 및 표적 위치를 포함할 수 있다. 표에 나열된 사격 조건 목록은 ECVC 계산에 포함될 수 있는 사격 조건의 일부 목록일 뿐이다. 사격 조건이 많이 포함될수록, 최종 FFE 보정이 더 정확해질 것이다.

[0114] 사격 조건(표준 편차 또는 상관관계 파라미터 없음)도 BSE 계산에 사용된다는 점을 이해해야 한다. 그러나 BSE에서 사용되는 사격 조건이 ECVC 계산에 적용되는 사격 조건과 동일할 필요는 없다.

[0115] 도 2로 돌아가서, 단계(208)에서, 계산에 사용될 사격 조건 각각에 대해, "단위 효과"(또한 "탄도 부분(ballistic partials)"이라고도 함), 표준 편차, 및 정합과 FFE 사격 조건 오차 간의 상관관계에 대한 추정치가 ECVC에 입력되어야 한다.

[0116] 선택된 사격 조건의 체계적 및 무작위 사격 오차의 표준 편차를 결정하기 위해 작전상 사용 전에 여러 번의 테스트 사격이 수행될 수 있다. 다른 선택은 가능한 경우 과거 사격 데이터를 분석하는 것이다.

[0117] 오차의 근원이 알려진 경우 상관관계도 추정할 수 있다. 예를 들어, 총구 속도 오차는 주로 장약과 총열 마모 사이의 변동성으로 인한 것이다. 두 파라미터 모두 유사한 규모의 오차에 기여한다고 추정할 수 있다. 따라서 정합과 FFE 사이에서 장약이 변경되었지만 동일한 총기가 사용되는 경우, 변동성의 절반만이 장약 변경으로 인한 것이어서, 대략 0.5의 상관관계가 적절할 것이다("대략(approximate)"은 예를 들어 +/- 10%이다).

[0118] 단위 효과(위의 [수학식 3])는 BSE에 대한 사격 조건의 미세한 변동을 적용하고("전방향 실행"에서) 변동에 따라 타격을 생성함으로써 추정될 수 있다. 예를 들어, 총구 속도에 대한 단위 효과를 계산하려면, 총구 속도의 예상 값으로 BSE를 실행한 다음 명목 값보다 5m/s 높은 값으로 실행할 수 있다. 계산된 타격점 간의 차이는 5m/s의 총구 속도 변화에 따른 전체 효과이다. "단위(unit)" 효과를 계산하려면, 총합을 5로 나눈다.

[0119] 단계(210)에서 정합 표적을 향해 정합을 위한 총기를 사격한 결과로서 정합 미스 벡터가 획득된다. 총기 조준에 대한 파라미터, 즉 고도 및 방위각 파라미터는, 통상적으로 총기 및 환경 조건을 포함하는 사격 조건이 주어지면, 통상적으로 탄도 시뮬레이션 엔진(BSE)에 의해 생성된다. 정합 미스 벡터는 실제 탄착 위치와 의도된 정합 표적의 좌표 간의 차이이다.

[0120] 단계(212)에서, FFE 보정 벡터는 CVC 보정 행렬과 정합 미스 벡터의 행렬 곱셈에 의해 위의 [수학식 16]에 따라 계산될 수 있다.

[0121] 단계(214)에서 FFE 표적 "조정된 좌표(adjusted coordinates)"는 의도된 FFE 표적 좌표에서 FFE 보정 벡터를 빼서 계산될 수 있으며, 이를 통해 의도된 FFE 표적 좌표에 타격할 가능성을 최대화할 수 있다. 그런 다음 조정된 좌표는 총기 "조준" 파라미터, 즉 방위각 및 고도뿐만 아니라 필요한 장약("추진제(propellant)")을 생성하기 위해 BSE에 입력된다. 또한, 사격 전에 잔여 오차 RMSE 값([수학식 18])을 검사하여 오차가 사용자가 미리 규정한 임계값보다 작은지 확인할 수 있다. 오차가 임계값보다 큰 경우 작전자는 FFE를 표적화하기 전에 정확도를 높이기 위해 하나 이상의 정합 사격을 추가하기로 결정할 수 있다. 허용된 잔여 오차 임계값이 주어지면, 주어진 정합 표적으로부터 다양한 거리에서의 오차를 등고선 지도 상에서 미리 계산하여 FFE를 수행할 수 있는 영역을 결정할 수도 있다. ("**잔여 오차의 등고선 지도**"라고 명명된 하기 섹션 참조.)

[0122] **샘플 ECVC 계산**

[0123] 프로세스(200)로 상술한 ECVC 방법을 보여주기 위해, 다음과 같은 샘플 계산이 제공된다. 먼저, "사용 사례 1"로 상술한 시나리오가 제시된다. 사용 사례 1의 경우, 정합과 FFE 사격 간에 장약 규모(장약 "롯트(lot)")만 변경된다. 설명을 위해 다음과 같은 예시 데이터를 가정한다:

[0124] 1) 총기 좌표: 북위 3152000, 동경 571000

[0125] 2) 정합 표적 좌표 : 북위 3152000, 동경 590000

[0126] 3) FFE 표적 좌표: 북위 3172000, 동경 573000

[0127] 통상적으로 위치 좌표는 프로세스(200)의 단계(204)와 관련하여 상술한 바와 같이, GPS와 지도에서 사용 가능한 좌표의 조합으로 결정된다.

[0128] 단계(206)와 관련하여 상술한 바와 같이, ECVC에 대해 오차가 상관되는 사격 조건 세트가 선택되어야 한다. 샘플 계산의 목적으로 선택된 사격 조건은 바람 조건--즉, 북풍(WN)과 동풍(WE)의 속도 벡터--및 총구 속도(MV)이다. 이러한 조건의 실제 값은 BSE에 제공되어야 하지만, ECVC 계산에는 표준 편차, 단위 효과 및 상관관계의 오차 범위가 필요하다는 점에 유의한다. 이러한 값을 결정하는 프로세스는 "**사격 조건 및 오차 요인 도출**"이라고 명명된 하기 섹션에서 더 상세히 설명되어 있다. 샘플 계산에는 다음 오차 값이 사용된다:

[0129] 1) 정합을 위한 체계적 및 무작위 표준 편차:

[0130] a) 북쪽에서 불어오는 바람(WN): $\sigma_{0,1} = 5 \quad \tau_{0,1} = 2$,

[0131] b) 동쪽에서 불어오는 바람(WE): $\sigma_{0,2} = 5 \quad \tau_{0,2} = 2$,

[0132] c) 총구 속도(MV): $\sigma_{0,3} = 3 \quad \tau_{0,3} = 1$,

[0133] 2) FFE에 대한 체계적 및 무작위 표준 편차:

[0134] a) 북쪽에서 불어오는 바람(WN): $\sigma_{1,1} = 5 \quad \tau_{1,1} = 2$,

[0135] b) 동쪽에서 불어오는 바람(WE): $\sigma_{1,2} = 5 \quad \tau_{1,2} = 2$,

[0136] c) 총구 속도(MV): $\sigma_{1,3} = 4 \quad \tau_{1,3} = 1$,

[0137] 또한, 단계(208)에서는 BSE 시뮬레이션을 사용하여, 정합 및 FFE 표적 모두에 대한 탄도 부분("단위 효과(unit effects)")이 계산되어야 한다. 예시 계산을 위한 사격 조건에 대해, MV 명목 값과 5m/s 더 높은 값을 모두 적용하여 정합과 FFE 모두에 대해 BSE 시뮬레이션이 실행될 수 있다. 두 시나리오에서 예측되는 탄착점 간의 차이는 1m/s당 단위 효과의 5배이므로, 결과적인 차이를 5로 나누어 단위 효과를 제공한다. 유사한 계산을 통해 풍속 벡터에 대한 단위 효과를 제공할 수 있다.

[0138] 샘플 계산의 경우, 단위 효과/탄도 부분은 다음과 같이 설정된다:

[0139] 북풍: $u_1^A = 0, u_1^B = 20, u_1^C = 5, u_1^D = 25$

[0140] 동풍: $u_2^A = 30, u_2^B = 0, u_2^C = 25, u_2^D = 5$

[0141] 총구 속도: $u_3^A = 40, u_3^B = 0, u_3^C = 5, u_3^D = 35$

[0142] 고려해야 할 두 가지 유형의 상관관계가 있으며, 하나는 상이한 오차 유형 간의 상관관계로, 0으로 설정되고(바람 성분과 총구 속도는 독립적), 다른 하나는 정합 및 FFE에 대한 동일한 오차 유형 간의 상관관계이다. 장약을

변경하는 시나리오에서는 시간 지연이 그다지 없고 궤적도 변경되지 않는다고 가정한다. 따라서 정합 및 FFE에 대한 바람 벡터 오차는 완전히 상관된다고 추정할 수 있지만(즉, "1"의 값을 가짐), 정합 및 FFE에 대한 총구 속도 오차는 부분적으로만 상관되는데, 이는 정합 및 FFE에 대해 총기가 동일하지만 장약이 상이하기 때문이다. 이러한 상황에서는 상관관계가 대략 0.5, 즉 0.5 +/- 10%라고 가정할 수 있다. MV에 대한 오차 상관관계는 관련 총기의 현장 작전에 앞서 여러 번의 테스트 사격에 걸쳐 오차를 측정하면 더욱 정확하게 도출될 수 있다. 샘플 계산의 경우, 바람 벡터는 완전히 상관되는 것으로 간주되고, 상술한 바와 같이 장약 변경에 대한 총구 속도 오차 상관관계는 대약 0.5로 간주된다.

[0143] 모든 무작위 오차는 상관되지 않으며, 각각의 상관관계는 0을 의미한다.

[0144] 이는 [수학식 12]에 기초하여, 다음과 같이 제1 행과 제1 열에 사격 조건 레이블을 보여주는 정규화된 오차에 대한 오차 공분산 행렬을 산출한다:

$$W =$$

	WN 정합	WE 정합	MV 정합	WN FFE	WE FFE	MV FFE
WN 정합	1	0	0	1	0	0
WE 정합	0	1	0	0	1	0
MV 정합	0	0	1	0	0	0.5
WN FFE	1	0	0	1	0	0
WE FFE	0	1	0	0	1	0
MV FFE	0	0	0.5	0	0	1

[0145]

[0146] 다음으로, 공분산 행렬에 대한 [수학식 4]의 파라미터를 계산한다:

[0147]
$$\text{a. } a_1 = u_1^A\sigma_{0,1} = 0,\ a_2 = u_2^A\sigma_{0,2} = 150,\ a_3 = u_3^A\sigma_{0,3} = 120$$
$$\text{b. } b_1 = u_1^B\sigma_{0,1} = 100,\ b_2 = u_2^B\sigma_{0,2} = 0,\ b_3 = u_3^B\sigma_{0,3} = 0$$
$$\text{c. } c_1 = u_1^C\sigma_{1,1} = 25,\ c_2 = u_2^C\sigma_{1,2} = 125,\ c_3 = u_3^C\sigma_{1,3} = 20$$
$$\text{d. } d_1 = u_1^D\sigma_{1,1} = 125,\ d_2 = u_2^D\sigma_{1,2} = 25,\ d_3 = u_3^D\sigma_{1,3} = 140$$

[0148] 또한, 공분산 행렬의 [수학식 9]의 파라미터를 계산한다:

[0149]
$$\text{e. } a_1' = u_1^A\tau_{0,1} = 0, a_2' = u_2^A\tau_{0,2} = 60,\ a_3' = u_3^A\tau_{0,3} = 40$$
$$\text{f. } b_1' = u_1^B\tau_{0,1} = 40, b_2' = u_2^B\tau_{0,2} = 0,\ b_3' = u_3^B\tau_{0,3} = 0$$
$$\text{g. } c_1' = u_1^C\tau_{1,1} = 10, c_2' = u_2^C\tau_{1,2} = 50,\ c_3' = u_3^C\tau_{1,3} = 5$$
$$\text{h. } d_1' = u_1^D\tau_{1,1} = 50, d_2' = u_2^D\tau_{1,2} = 10,\ d_3' = u_3^D\tau_{1,3} = 35$$

[0150] [수학식 9]에 표시된 바와 같이, 정합 및 FFE를 위해 사격된 라운드 수는 또한 획득해야 하는 추가 파라미터이다. 하기의 예시적 계산에 대한 예시적 데이터는 다음과 같다: $n_0 = 4$ (정합 사격에 대한 4 라운드), $n_1 = 10$ (FFE에 대한 10 라운드).

[0151] 개선된 효과 공분산 행렬을 계산한다[수학식 13]:

$$\Sigma_{systematic}(t) ==$$

$$\begin{pmatrix} \sum_{i,j} a_i a_j W_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} b_i a_j W_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} c_i a_j W_{1i,0j}(t) & \sum_{i,j} d_i a_j W_{1i,0j}(t) \\ \sum_{i,j} a_j b_j W_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} b_i b_j W_{0i,0j}(t) & \sum_{i,j} c_i b_j W_{1i,0j}(t) & \sum_{i,j} d_i b_j W_{1i,0j}(t) \\ \sum_{i,j} a_i c_j W_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} b_i c_j W_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} c_i c_j W_{1i,1j}(t) & \sum_{i,j} d_i c_j W_{1i,1j}(t) \\ \sum_{i,j} a_i d_j W_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} b_i d_j W_{0i,1j}(t) & \sum_{i,j} c_i d_j W_{1i,1j}(t) & \sum_{i,j} d_i d_j W_{1i,1j}(t) \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 36900 & 0 & 3075 & 12150 \\ 0 & 14400 & 2500 & 12500 \\ 3075 & 2500 & 16650 & 9050 \\ 12150 & 12500 & 9050 & 35850 \end{pmatrix}$$

[0152]

[0153] 단일 요소 계산의 예:

$$\Sigma_{systematic}(t)_{1,4} = \sum_{i,j} d_i a_j W_{1i,0j}(t) = 125 \cdot 0 \cdot 1 + 150 \cdot 25 \cdot 1 + 140 \cdot 120 \cdot 0.5$$

$$= 12150$$

[0154]

[0155] 무작위 공분산 행렬을 계산한다 [수학식 9]:

$$\Sigma_{random} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^{n} \frac{a_j'^2}{n_0} & \sum_{j=1}^{n} \frac{b_j' a_j'}{n_0} & 0 & 0 \\ \sum_{j=1}^{n} \frac{a_j' b_j'}{n_0} & \sum_{j=1}^{n} \frac{b_j'^2}{n_0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{j=1}^{n} \frac{c_j'^2}{n_1} & \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j' c_j'}{n_1} \\ 0 & 0 & \sum_{j=1}^{n} \frac{c_j' d_j'}{n_1} & \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j'^2}{n_1} \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 1300 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 400 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 262.5 & 117.5 \\ 0 & 0 & 117.5 & 382.5 \end{pmatrix}$$

[0156]

[0157] [수학식 14]로부터, 전체 효과 공분산 행렬은 다음과 같이 주어진다:

$$\Sigma_{total}(t) = \Sigma_{systematic}(t) + \Sigma_{random} ==$$

$$\begin{pmatrix} 36900 & 0 & 3075 & 12150 \\ 0 & 14400 & 2500 & 12500 \\ 3075 & 2500 & 16650 & 9050 \\ 12150 & 12500 & 9050 & 35850 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1300 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 400 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 262.5 & 117.5 \\ 0 & 0 & 117.5 & 382.5 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 38200 & 0 & 3075 & 12150 \\ 0 & 14800 & 2500 & 12500 \\ 3075 & 2500 & 16912.5 & 9167.5 \\ 12150 & 12500 & 9167.5 & 36233.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma_{11}(t) & \Sigma_{12}(t) \\ \Sigma_{21}(t) & \Sigma_{22}(t) \end{pmatrix}$$

[0158]

[0159] 블록 행렬은 다음과 같다:

$$\Sigma_{11}(t) = \begin{pmatrix} 38200 & 0 \\ 0 & 14800 \end{pmatrix}$$

[0160]

$$\Sigma_{12}(t) = \begin{pmatrix} 3075 & 12150 \\ 2500 & 12500 \end{pmatrix}$$

[0161]

[0162] $$\Sigma_{21}(t) = \begin{pmatrix} 3075 & 2500 \\ 12150 & 12500 \end{pmatrix}$$

[0163] $$\Sigma_{22}(t) = \begin{pmatrix} 16912.5 & 9167.5 \\ 9167.5 & 36233.5 \end{pmatrix}$$

[0164] 상술한 바와 같이, 단계(210)에서는 정합 표적을 향해 사격하고 정합 표적과 탄착점 간의 차이로 인해 발생하는 정합 미스 벡터를 획득함으로써 정합이 수행된다. 샘플 계산을 위해 다음 값이 가정된다:

[0165] 1) 정합 표적 좌표 : (북위 3152000, 동경 590000)

[0166] 2) 실제 타격(MPI): (북위 3152300, 동경 590200)

[0167] 3) 미스 벡터 = 실제 타격 - 표적 = (3152300 - 3152000, 590200 - 590000) = (북위 300m, 동경 200m), 즉,

[0168] $$Z^A = 200m, \qquad Z^B = 300m$$

[0169] 상술한 단계(212)에서, CVC 보정 행렬은 $\Sigma_{12}(t)$ and $\Sigma_{22}^{-1}(t)$ 로부터 계산된다. 샘플 계산의 경우, 이와 같이 주어진다:

[0170] $$\Sigma_{12}(t)\Sigma_{22}^{-1}(t) = \begin{pmatrix} 3075 & 12150 \\ 2500 & 12500 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 16912.5 & 9167.5 \\ 9167.5 & 36233.5 \end{pmatrix}^{-1}$$

[0171] FFE 보정 벡터 $\vec{r}_{CVC}$ 는 CVC 보정 행렬과 정합 미스 벡터의 행렬 곱셈을 통해 계산된다:

[0172] $$\vec{r}_{CVC} = \Sigma_{12}(t)\Sigma_{22}^{-1}(t)\begin{pmatrix} v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3075 & 12150 \\ 2500 & 12500 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 16912.5 & 9167.5 \\ 9167.5 & 36233.5 \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} 200 \\ 300 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 101.6 \\ 97.9 \end{pmatrix}$$

[0173] 오차 간의 상관관계가 클수록, 보정 벡터가 더 커진다는 점에 유의한다. 이는 정합 오차와 FFE 오차 간의 상관관계가 클수록, 정합 발포의 정보가 가능한 FFE 결과를 더 많이 나타내기 때문이다.

[0174] 사격을 위한 FFE 표적의 조정된 좌표는 작전자(즉, 임무 통제)에게 전달된다[수학식 19]:

[0175] 조정된 FFE 표적 좌표(동경, 북위) = 의도된 FFE 표적 좌표(동경, 북위) - $\vec{r}_{CVC}$ =

$$(3172000, 573000) - (101.6, 97.9) = (3{,}171{,}898.4, \quad 572{,}902.1)$$

[0176] 정합 후 궤적을 변경하는 **사용 사례 2의 경우**, 상이한 유형의 오차 간의 모든 상관관계는 0이지만(바람 성분과 총구 속도는 독립적), 두 궤적에 대한 각 바람 성분 간의 상관관계는 0.75인데, 이는 발사체가 낮은 궤적과 비교할 때 높은 궤적에서 상이한 대기층을 통과하기 때문이다. 0.75라는 값은 낮은 궤적과 높은 궤적의 최대 높이 간의 비율로 추정되었지만, 예를 들어 관련 위치에서의 바람 행동에 대한 통계적 분석/시뮬레이션과 같이 다른 방식으로 행해질 수도 있다.

[0177] 두 궤적에 대한 총구 속도 오차 간의 상관관계는 동일한 장약이 사용되었기 때문에 1이다.

[0178] 이는 정규화된 오차에 대한 오차 공분산 행렬 W를 제공한다:

$$W = \begin{pmatrix} & WN\ 정합 & WE\ 정합 & MV\ 정합 & WN\ FFE & WE\ FFE & MV\ FFE \\ WN\ 정합 & 1 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 \\ WE\ 정합 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.75 & 0 \\ MV\ 정합 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ WN\ FFE & 0.75 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ WE\ FFE & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ MV\ FFE & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0179]

[0180] 오차 공분산 행렬의 변경은 상술한 프로세스에 대한 유일한 변경이므로, 나머지 단계는 위에 표시된 단계와 유사한 단계에 의해 계산된다.

[0181] 정합과 FFE 사이의 시간 지연으로 인해 풍속 상관관계가 감소하는 **사용 사례 3의 경우**, 이러한 상관관계는 관련 위치의 기상 조건에 대한 통계 분석을 통해 획득될 수 있다. 일반적으로, 정합 후 지연이 길어질수록, 상관관계는 낮아진다.

[0182] 이는 정규화된 오차에 대한 오차 공분산 행렬(정합 1시간 및 2시간 후 FFE에 대해)을 산출한다:

$$W(1\ 시간) = \begin{pmatrix} & WN\ 정합 & WE\ 정합 & MV\ 정합 & WN\ FFE & WE\ FFE & MV\ FFE \\ WN\ 정합 & 1 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 \\ WE\ 정합 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.9 & 0 \\ MV\ 정합 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.9 \\ WN\ FFE & 0.9 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ WE\ FFE & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ MV\ FFE & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$W(2\ 시간) = \begin{pmatrix} & WN\ 정합 & WE\ 정합 & MV\ 정합 & WN\ FFE & WE\ FFE & MV\ FFE \\ WN\ 정합 & 1 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 \\ WE\ 정합 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.7 & 0 \\ MV\ 정합 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.7 \\ WN\ FFE & 0.7 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ WE\ FFE & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ MV\ FFE & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[0183]

[0184] **사용 사례 4의 경우**, 총기(따라서 총기 위치)를 변경하면, 총기 위치 간 상관관계는 0이다(독립적으로 측정). 표적 위치 간의 상관관계는 여전히 1이다(즉, 모든 총기에 대해 동일한 값). 총기 간 총구 속도 오차의 상관관계는 대략 0.5(+/- 10%)로 간주된다. 이는 예를 들어 동일하거나 상이한 장약 생산 분량(charge production batches) 등에 대한 총열 부식 분포를 측정하는 것과 같이 총기 함대의 통계적 분석을 통해 추정할 수 있다. 본 명세서에서는 모든 총기에 대해 동일한 생산 분량이 사용되지만, 총열 부식 측정에 오차가 있다고 가정한다. 이러한 요인이 총구 속도에 대략 유사한 영향을 미칠 것으로 예상되며, 이는 상이한 총기의 총구 속도 간 상관관계가 대략 0.5라는 것을 의미한다.

[0185] 이는 다음과 같이 정규화된 오차에 대한 오차 공분산 행렬을 산출한다:

$$W = \begin{array}{c} \\ \text{총기 정합} \\ \text{표적 정합} \\ \text{MV 정합} \\ \text{총기 FFE} \\ \text{표적 FFE} \\ \text{MV FFE} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \text{총기 정합} & \text{표적 정합} & \text{MV 정합} & \text{총기 FFE} & \text{표적 FFE} & \text{MV FFE} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

[0186]

[0187] **사용 사례 5의 경우**, 사용 사례 1 내지 사용 사례 4의 모든 위의 변경을 조합하면 다음 상관관계가 적용될 수 있다:

[0188] 총기 위치 간의 상관관계는 0으로 설정된다.

[0189] 표적 위치 간의 상관관계는 1로 설정되며, 모든 총기에 대해 동일한 값이 설정된다.

[0190] 총구 속도 오차 간, 총기 간 및 장약 간 상관관계는 0.25로 설정된다(장약 제조 분량은 동일하지만 발사체 사격에 사용된 장약 모듈의 수는 상이하며, 테스트를 통해 추정된다).

[0191] 두 궤적에 대한 각 바람 성분 간의 상관관계는 0.75인데, 이는 발사체가 낮은 궤적에 비해 높은 궤적에서 상이한 대기층을 통과하기 때문이다. 예를 들어, 기상 데이터베이스를 분석하여 추정될 수 있다. 더욱 통상적으로, 바람 오차 성분 간의 상관관계는 0.1과 같이 작을 것이며, 이는 성분이 일반적으로 바람의 크기/방향으로부터 계산되므로 높게 상관되지 않더라도 완전히 독립적이지는 않기 때문이다.

[0192] 이는 다음과 같이 정규화된 오차에 대한 오차 공분산 행렬을 산출한다:

$$\begin{array}{c} \\ \text{총기 정합} \\ \text{표적정합} \\ \text{MV 정합} \\ \text{WN 정합} \\ \text{WE 정합} \\ \text{총기 FFE} \\ \text{표적 FFE} \\ \text{MV.FFE} \\ \text{WN FFE} \\ \text{WE FFE} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccc} \text{총기 정합} & \text{표적정합} & \text{MV 정합} & \text{WN 정합} & \text{WE 정합} & \text{총기 FFE} & \text{표적FFE} & \text{MV.FFE} & \text{WN FFE} & \text{WE FFE} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 \\ 0.75 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

[0193]

[0194] 위에서 언급한 바와 같이, 상이한 장약, 궤적 및 총기로 정확하게 표적화할 수 있는 능력은 효과적인 멀티-라운드 동시 탄착(MRSI) 사격을 용이하게 한다.

[0195] **사용 사례 6의 경우**, ECVC는 FFE 표적에서 수렴하는 일련의 발포에 대해 재귀적으로 사용될 수 있다. 각각의 새로운 탄착점과 이것의 미스 벡터는 다음 발포의 조건부 분포를 계산하는 데 사용된다. 시간 지연이 크면 동풍과 북풍 상관관계는 1보다 작을(그러나 0보다는 클) 것이다.

[0196] **사용 사례 7의 경우**, 총기, 장약 및 궤적 사격 조건의 최적 선택이 결정된다. 이 프로세스에는 동일한 FFE 표적을 타격하기 위한 상이한 가능한 사격 조건 세트를 결정하기 위해 여러 BSE 시뮬레이션을 실행하는 것을 포함한다. 각 사격 조건 세트에 대해, ECVC가 적용되어(위에서 계산된 오차 공분산 행렬과 함께) RMSE 뿐만 아니라 주어진 세트에 대한 적절한 CVC 보정 벡터가 결정된다. 도 4에는 위 시나리오에 대한 각 사격 조건 세트에 대한 결과 목록이 있는 표가 도시된다. 이 목록은 도 5에 도시된 바와 같이 RMSE에 따라 정렬되어 있으며, RMSE가 35m에 불과한 최적 세트는 총기 #2, 장약 #2 및 낮은 궤적을 갖는 사격 조건 세트이다.

[0197] **사격 조건 및 오차 요인 도출**

[0198] 관련 사격 조건과 그 오차 요인은 다양한 간접 사격 시스템 사이에서 상당히 다를 수 있다. 도 3의 표는 가장 관련성 있는 사격 조건의 부분 목록과 연관된 오차 요인을 획득하는 방법에 대한 세부 정보를 제공한다. 이들은 다음과 같다:

[0199] ***외부/환경 오차***

[0200] 기온: 표준 편차는 기상 측정의 정확도(예를 들어, 날씨 풍선 정확도)에 따라 달라진다. 표준 편차는 일반적으

로 섭씨 수 도 정도이다.

[0201] 기압: 또한 기상 측정의 정확도에 따라 달라진다. 표준 편차는 일반적으로 기압 값의 10% 미만 정도이다.

[0202] 바람(N과 E의 두 성분): 기압과 마찬가지로, 기상 측정 오차에 따라 달라진다. 표준 편차의 크기 정도는 통상적으로 10m/s 미만이다.

[0203] ***위치 오차***

[0204] 총기 위치: 네비게이션 시스템의 오차 또는 지도 상의 수동 위치 정확도로 추정된다. 최신 GPS 기반 시스템의 경우 ~10m에서 수동 위치의 경우 ~100m까지일 수 있다. 오차는 직접 측정될 수도 있고, 통상적으로 제조업체에 의해 기술 사양에 제공되는 시스템의 명목 오차로 간주될 수도 있다.

[0205] 표적 위치: 총기 위치와 마찬가지로 사용된 사격 정합 시스템에 따라 달라지며, 공중 시스템의 경우 ~10m에서 수동 삼각 측량의 경우 ~100m까지일 수 있다. 직접 측정될 수도 있고, 제조업체에 의해 기술 사양에 제공되는 시스템의 명목 오차로 간주될 수도 있다.

[0206] ***무기/탄약(총기) 오차***

[0207] 총구 속도(MV)는 총열 부식, 장약 품질(본 명세서에서 "추진제" 또는 "추진제 롯트"라고도 함) 및 작전 절차(정합 및 FFE에 동일한 장약 및 동일한 총기를 사용하는지 여부와 같이)와 같은 다수의 파라미터에 따라 달라진다. 따라서 MV는 수 m/s에서 10m/s 이상까지 상당히 달라질 수 있다.

[0208] 방위각 및 고도 정확도와 점프는 특정 무기 시스템에 따라 달라지는 표준 편차를 가지며 단일 밀리라디안의 크기 정도에 이를 것으로 예상될 수 있다.

[0209] 항력, 양력 및 질량: 표준 편차는 탄약의 제조 품질 및 일관성에 따라 달라지며 수 퍼센트 정도일 수 있다.

[0210] 오차 조건 간의 상관관계는 각 사례별로 구체적으로 추정되어야 한다. 이러한 상관관계는 오차 예산이 주어지면 명시적으로 계산될 수도 있고, 일반 원칙을 통해 대략적으로 추정될 수도 있으며, 때로는 충분히 좋은 결과를 제공하기도 한다. 다음은 절차에 대한 지침을 제공할 수 있는 몇 가지 예이다.

[0211] 장약을 변경하지 않고, 궤적을 변경하는 경우, 유일한 차이점은 대기 조건이며, 이는 발사체가 더 높은 궤적을 위해 더 높은 대기층을 이동하기 때문이다. 온도, 압력 및 바람 사이의 상관관계는 두 궤적의 최대 높이 간의 비율로 대략 추정될 수 있다(높이에 따라 오차가 선형적으로 누적된다고 가정한다).

[0212] 더 정확한 방법은 예를 들어 문헌[NATO's STANAG 4061 standard (*STANAG 4061 MET, EDITION 4 - Adoption Of A Standard Ballistic Meteorological Message*, Military Agency For Standardization, 1110 Brussels, 03/10/2000)]에 규정된 것과 같은 가중 대기 계산을 사용하는 것이다. 다른 가중화/가중치 방법도 유사한 방식으로 사용될 수 있다. 예를 들어, STANAG 4061의 표 G-1은 지면-대-지면 사격(surface-to-surface fire)에 대한 바람 가중화 인자로 사용될 수 있다. 표 G-2에는 온도와 공기 밀도에 사용될 수 있는 가중화 인자가 있다.

[0213] 다른 예시적인 시나리오는 정합 사격의 최대 궤적 높이가 3500m인 반면 FFE 사격의 최대 궤적 높이가 5700m인 경우이다. STANAG 4061의 표 G-1, 표 G-2, 표 G-3으로부터, 정합 발포가 구역 7(3000m 내지 4000m)까지 올라가고, FFE 발포가 구역 9(5000 내지 7000)까지 올라간다.

[0214] 바람 상관관계의 경우, 표 G-1의 행 9(구역 9에 대응)에서 공통 가중치(최대 구역 7까지)가 0.44로 합산됨을 알 수 있다는 점에 유의한다. 이 값은 풍력 요인의 상관관계를 파악하는 데 사용될 수 있다.

[0215] 기온 상관관계의 경우: 표 G-2의 행 9(구역 9에 대응)는 공통 가중치(최대 구역 7까지)가 0.32로 합산됨을 보여주며 따라서 이 값은 기온 상관관계에 적절하게 된다.

[0216] 기압의 경우, 표 G-3의 행 9(구역 9에 대응)는 공통 가중치(최대 구역 7까지)가 0.68로 합산됨을 보여주며 따라서 이 값은 기압의 상관관계에 적절하게 된다.

[0217] 이는 대기의 하층과 상층의 오차 간에 상관관계가 없다고 가정한 보수적인 추정치이다. 실제로 오차를 측정하면 사용된 실제 기상 장비/예측/보간 방법에 따라 더욱 현실적인 값을 산출할 수 있다.

[0218] 장약 변경의 경우, 마찬가지로 총구 속도는 다수의 파라미터에 따라 달라지는데, 추진제 자체를 제외하고는 모두 동일하다고 가정할 수 있다. 대략적인 추정은 추진제 제조 허용오차에 대한 속도 변화의 절반인 0.5의 상관관계를 "원인으로 돌리는(blaming)" 것이다. 더 정확한 추정을 위해서는 구체적인 오차와 변동성, 작전 상의 세

부 사항에 대한 심도 있는 지식이 필요하다.

[0219] 총기 변경의 경우, 나머지는 모두 동일하게 유지하면, 이는 이전 예와 반대이므로, 총구 속도의 상관관계도 0.5가 된다(다른 절반은 총열 부식, 추진제 온도 등에 기인). 또한 총기의 "자기-위치(self-location)" 오차가 상이하고, 따라서 그 상관관계는 0이 된다.

[0220] 시간에 따른 상관관계 변화의 경우, 일반적으로 정합과 FFE 간의 지연이 길어질수록, 정합과 FFE의 상관관계는 낮아지는데, 시간이 지남에 따라 불확실성이 증가하기 때문이다. 이는 특히 기상(환경) 데이터의 경우에 해당한다. 이는: 기온, 밀도, 바람 성분, 주변 조건으로 인한 장약 온도 변화에 기인한 총구 속도 등을 포함한다. 특정 상관관계 값을 계산하려면, 관련 지역의 기상 통계 분석을 수행하여 대기의 안정성과 시간의 함수로서 값의 상관관계를 평가해야 한다.

[0221] 총기-관련 사격 조건은 일반적으로 시간이 지나도 덜 변화하므로 오차 상관관계 값이 급격하게 변하지 않는다. 이는 통상적으로 총구 속도, 고도 및 방위각 오차, 및 항력 및 탄도 계수(총기 및 표적 위치 좌표도 마찬가지)의 경우에 해당한다.

[0222] 위에서 언급한 바와 같이, 도 3의 표는 ECVC 알고리즘에 통합될 수 있는 오차 파라미터를 결정하는 이러한 단계를 요약한다.

[0223] ***표준 편차 경험적 추정***

[0224] 표 3의 모든 오차 요인과 각 요인에 대한 모든 대응하는 세분성 조합에 대해 다음 단계를 수행한다:

[0225] 1. 모든 기상 오차 유형에 대해 다수의 데이터에 걸친 다수의 기상 측정을 획득하고 각각을 정확한 측정과 비교하는 단계.

[0226] 2. 다수의 생산 롯트 간의 발사체 평균 질량을 측정하고 명목 질량과 비교하는 단계.

[0227] 3. 다수의 총기와 다수의 상황(occasions)에 대한 고도 및 방위각 정확도를 획득하고 설정되기로 한 값과 비교하는 단계.

[0228] 4. 적절한 게이지를 사용하여 다수의 총기의 총열 마모를 파악하고 명목 값과 비교하는 단계.

[0229] 5. 선택한 네비게이션 시스템을 사용하여 자기-위치(즉, 총기 위치)를 파악하고 이를 다수의 총기 위치 및 상황에 대한 실제 위치(두 좌표 모두)와 비교하는 단계.

[0230] 6. 선택한 스포팅 시스템(spotting system)으로 표적 위치를 측정하고 다수의 표적 위치 및 상황에 대해 실제 위치(두 좌표 모두)와 비교하는 단계.

[0231] 7. 나머지 모든 오차 파라미터에 대해 실사격 테스트 또는 직접 측정을 수행하고 명목값과 비교하는 단계.

[0232] 위의 각 측정은 각 요인의 무작위 오차를 추정하기 위해 동일한 상황에 여러 번 반복해야 한다. 그런 다음 각 상황에 대해, 반복 측정의 평균값 e_j [mv]와 이 값의 표준편차 $e_j^{ST.D.}$ 를 계산한다.

[0233] 각 오차 파라미터의 오차 값의 표준 편차 σ로 체계적 오차를 계산한다: $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(e_j - \bar{e})}$, 여기서 e_j 는 오차 e 의 측정값 j 이고, $\bar{e}$ 는 측정된 모든 오차의 평균값이다.

[0234] 각 상황에 대한 표준 편차의 가중 평균으로 무작위 오차를 계산한다: $\tau = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} m_j e_j^{ST.D.}}{\sum_{j=1}^{n} m_j}}$, 여기서 m_j 는 각 상황에 대한 반복 측정 횟수이다.

[0235] 총구 속도 오차 계산의 대표적인 예는 다음과 같다. 다른 모든 오차 파라미터 표준 편차는 숫자 값과 단위만 상이할 뿐 유사하게 계산된다.

[0236] 장약 1, 발사체 A의 경우, 총기와 추진제 제조 롯트를 상이하게 조합하여 실사격이 수행되었다. 각 조합에 대한 평균 총구 속도가 기록되었다. 각 측정값에서 명목 총구 속도 600m/s를 감소시킨 후 다음과 같은 오차가 획득되었다:

[0237]

mv 의 평균 오차 [m/s] e_j	mv 의 표준 편차 [m/s] $e_j^{ST.D.}$	반복 측정 횟수 m_j
-19	2.5	5
13	1.1	6
29	2.4	5
7	1.7	7
-59	2.5	10
-25	1.0	10
-11	0.5	6
41	2.9	7
12	3.1	2
-7	2.0	5

[0238] 이 값은 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(e_j - \bar{e})} = 29.9m/s$, $\tau = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} m_j e_j^{ST.D.}}{\sum_{j=1}^{n} m_j}} = 1.9m/s$ 를 산출한다.

[0239] ***상관관계 경험적 추정***

[0240] 모든 수십 가지의 가능한 오차 조합 간의 상관관계를 계산하는 예를 드는 것은 비현실적이다. 그러나, 각 쌍에 적용될 수 있는 몇 가지 구체적인 시나리오와 규칙을 지적하는 것은 가능하다.

[0241] 첫째, 동일한 오차 파라미터(상관 행렬 W의 대각선 요소) 간의 상관관계는 항상 1이다.

[0242] 정합과 FFE 사격 간에 사전에 동일한 오차 간의 상관관계도 1이다. 예를 들어, 장약/총기가 변경되지 않으면 총구 속도의 체계적 오차도 변경되지 않는다고 가정할 수 있다.

[0243] 사전에 관련이 없는 오차 간의 상관관계는 0이다. 예를 들어, 정합의 풍속 오차는 FFE 사격의 자기-위치 오차와 분명히 관련이 없다.

[0244] 정합과 FFE 간에 크게 변화하는 오차 간의 상관관계도 0으로 가정할 수 있다. 예를 들어, 총기를 변경할 때 총열 마모 오차는 그들 간에 관련이 없다고 가정할 수 있다.

[0245] 상관관계를 사전에 추정할 수 없을 때에는 경험적 측정이 이루어져야 한다. 일반적인 원칙은 표 3에 설명된 바와 같이, 상이한 상황과 상이한 세분성 값으로 한 쌍의 오차를 측정해야 한다. 예를 들어, 정합 시간의 추진제 온도와 3시간 후 FFE의 추진제 온도 간의 상관관계는 각각의 시간차의 값과 여러 상황에 대한 값 모두를 측정하여 결정할 수 있다. 다른 예로는 정합에서의 낮은 궤적과 FFE에 대한 높은 궤적 사이의 기압 간 상관관계이다. 이를 위해, 두 궤적의 최대 높이가 (탄도 시뮬레이션을 사용하여) 결정되어야 하고, 두 높이에 대한 유효 기압이 다수의 상황 및 위치에서 측정되어야 한다. 기온 및 바람 성분에 대해서도 동일한 계산이 수행될 수 있다.

[0246] 오차 쌍이 획득된 후에, 상관관계는 다음 예에서 설명한 대로 계산될 수 있다. 계산은 모든 가능한 오차 쌍과 유사하며, 단지 통상적인 값과 단위만 상이할 뿐이다. 제1 시나리오에서는 장약이 변경되지만("1"에서 "2"로), 총기는 동일하다고 가정한다. 먼저, 주변 온도에 대해 보정된 장약 1 및 장약 2의 총구 속도를 측정하고 기록하면서 실사격 실험을 수행(또는 가능한 경우 과거 데이터 수집)한다. 다음으로, 각 장약의 명목 총구 속도에서 각 측정에 대한 각각의 오차를 계산한다.

[0247] 다음으로, 임의의 표준 통계적 방법을 사용하여, 측정에 대한 공분산 행렬을 추정한다. 간단하지만 배타적이지 않은 계산 방법은 다음 수학식을 적용하는 것이다:

$$Cov = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(S_i - \bar{S})(S_i - \bar{S})^T$$

[0248]

[0249] 여기서, $S_i = (v_i^{charge\,1} - v_{nominal}^{charge\,1}, v_i^{charge\,2} - v_{nominal}^{charge\,2})$ 는 n개 중 측정 i에 대한 오차 벡터이고, $\bar{S} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} S_i$ 는 모든 S_i 의 평균이다. 그러면 $Cov_{1,2}$ 는 장약 1과 장약 2를 바꿀 때 총구 속도 오차 간의 공분산이 되고, $Cov_{1,1}$ 과 $Cov_{2,2}$ 는 각각 장약 1과 장약 2의 총구 속도 오차의 분산이 된다. 그러면 상관관계는 다음과 같다: $Corr = Cov_{1,2}/\sqrt{Cov_{1,1}Cov_{2,2}}$

[0250] 예를 들어, 장약 1의 명목 값은 500m/s이고, 장약 2의 명목 값은 600m/s이다. 다음 쌍의 값은, 대응하는 오차와 함께, 총구 속도에 대해 측정되었다(각 쌍은 동일한 상황에서 동일한 총기로부터 장약 1과 장약 2로 사격되었지만, 상이한 쌍이 상이한 상황에서 상이한 총기로부터 사격될 수 있다):

v1	v2	오차 1	오차 2
481	599	-19	-1
513	606	13	6
529	602	29	2
507	620	7	20
441	518	-59	-82
475	563	-25	-37
489	589	-11	-11
541	648	41	48
512	603	12	3
493	592	-7	-8

[0251]

[0252] 공분산의 표준 계산을 사용하면: 총구 속도의 경우 $Cov_{1,2} = 903$ 를 산출한다. 오차의 표준편차로 나누면 상관관계 값은 0.91이 주어진다.

[0253] ***성능 비교***

[0254] 기본 CVC와 ECVC 간의 비교는 다수의 정합 발포와 FFE 발포를 시뮬레이션하고 의도된 FFE 표적에 더 가까운 FFE 탄착 가능성이 더 높은 방법을 결정하여 입증할 수 있다. 이러한 시뮬레이션에는 다음 단계가 포함된다.

[0255] 먼저, 다음과 같이 현실적인 사격 조건을 갖춘 시나리오가 선택된다:

[0256] 1. 총기 위치: (동경 0, 북위 0)

[0257] 2. 정합 표적 : (동경 0, 북위 15,000m)

[0258] 3. 정합 사격 조건: 낮은 장약, 낮은 궤적

[0259] 4. FFE 표적: (동경 10,000m, 북위 16,000m)

[0260] 5. FFE 사격 조건: 높은 장약, 높은 궤적

[0261] 6. 상관관계(위의 "**사격 조건 및 오차 요인 도출**"이라고 명명된 위의 섹션에 설명된 바와 같이 추정):

[0262] a) 총구 속도: 0.5,

[0263] b) 북풍: 0.75,

[0264] c) 동풍: 0.75,

[0265] d) 기온: 0.9,

[0266] e) 공기 밀도: 0.9.

[0267] f) 다른 모든 상관관계는 동일한 오차 사이에는 1이고, 상이한 오차 사이에는 0이다.

[0268] 7. 표준편차:

[0269] a) 총구 속도: {체계적: 4.3, 무작위: 1.7},

[0270] b) 총기 사분면 고도: {체계적: 0.5, 무작위: 0.5},

[0271] c) 총기 방위각: {체계적: 1.0, 무작위: 1.0},

[0272] d) 발사체 항력: {체계적: 1.0, 무작위: 0.6},

[0273] e) 자기 위치 북위: {체계적: 15.0, 무작위: 0.0},

[0274] f) 자기 위치 동경: {체계적: 15.0, 무작위: 0.0},

[0275] g) 표적 위치 북위: {체계적: 11.0, 무작위: 0.0},

[0276] h) 표적 위치 동경: {체계적: 11.0, 무작위: 0.0},

[0277] i) 표적 높이: {체계적: 10.0, 무작위: 0.0},

[0278] j) 공기 밀도: {체계적: 0.3, 무작위: 0.0},

[0279] k) 기온: {체계적: 0.35, 무작위: 0.0},

[0280] l) 북풍: {체계적: 2.8, 무작위: 0.0},

[0281] m) 동풍: {체계적: 2.8, 무작위: 0.0},

[0282] 8. 이 예시에서 구체적인 오차 값은, 상당히 현실적이라면 중요하지 않아서, 실생활 응용에도 비교가 유효할 것이다. 이러한 숫자는 과거 경험에 기초하여 선택되었지만 위의 "**사격 조건 및 오차 요인 도출**"이라고 명명된 위의 섹션에 설명된 방법을 사용하여 특정 응용을 위해 계산될 수 있다.

[0283] 사격 조건 및 오차는 예상 값이 0인 다변량 정규 분포로부터 샘플링을 사용하고 위에 주어진 값을 갖는 조건부 공분산 행렬을 사용하여 1000개의 무작위 오차 발현 사례를 샘플링하는 데 사용되었다. 각 오차 발현 사례에 대해, 실제 사격 보정 성능을 시뮬레이션하기 위해 탄도 시뮬레이션 엔진(MPMT)이 다음 단계에 따라 사용되었다:

[0284] 1. 오차 샘플링 단계(상술한 대로)

[0285] 2. 샘플링된 오차(표준 조건)를 사용하지 않고 정합 표적에 대한 탄도 솔루션을 계산하는 단계.

[0286] 3. 표준 초기 조건으로 정합 표적에 대한 탄도 궤적을 시뮬레이션하고, 샘플링된 오차를 시뮬레이션에 통합하는 단계. 정합 표적의 실제 타격 위치와 미스 벡터를 찾는 단계.

[0287] 4. 샘플링된 오차(표준 조건)를 사용하지 않고 FFE 표적에 대한 탄도 솔루션을 계산하는 단계,

[0288] 5. 기본 CVC의 경우:

[0289] a) 정합 표적에서 미스가 주어지면 기본 CVC 보정 알고리즘을 적용하고 보정된 FFE 표적 좌표를 찾는 단계.

[0290] b) 표준 초기 조건으로 보정된 표적에 대한 탄도 궤적을 시뮬레이션하고, 샘플링된 오차를 시뮬레이션에 통합하는 단계. FFE 표적의 실제 타격 위치와 미스 벡터를 찾는 단계.

[0291] 6. ECVC의 경우:

[0292] c) 정합 표적에서 미스가 주어지면, ECVC 보정 알고리즘을 적용하고 보정된 FFE 표적 좌표를 찾는 단계.

[0293] d) 표준 초기 조건으로 보정된 표적에 대한 탄도 궤적을 시뮬레이션하고 샘플링된 오차를 시뮬레이션에 통합하는 단계. FFE 표적의 실제 타격 위치와 미스 벡터를 찾는 단계.

[0294] 7. 통계 분석 및 방법 비교를 위한 충분한 데이터를 획득하기까지 단계 1 내지 단계 6을 필요한 횟수만큼 반복하는 단계(이 경우 1000).

[0295] 시뮬레이션 결과는 각 몬테카를로 실행에서 각 오차 발현에 대해 쌍으로 비교되어 FFE 표적에 대한 기본 CVC 타격과 ECVC 타격의 거리 간의 차이 벡터를 제공했다.

[0296] 도 6은 기본 CVC 및 ECVC 보정 알고리즘에 적용된 1000개의 몬테카를로 오차 발현 실행에 기초하여 표적까지의 거리 차이 분포를 도시한다.

[0297] 양의 차이는 ECVC가 기본 CVC보다 양호한 보정을 제공했음을 의미하며, 표적에 더 가까운 타격을 의미한다. 따라서, 음의 차이는 ECVC가 기본 CVC보다 불량한 보정을 제공했음을 의미한다. 분포를 보면, ECVC가 기본 CVC보다 양호한 보정을 제공할 가능성이 약 **2배** 더 높은 것을 알 수 있다.

[0298] 도 7은 시뮬레이션 실행의 실제 타격 및 차이의 샘플링을 도시한다. 각 화살표는 하나의 MC 실행과 오차 발현을 나타내고, 베이스는 기본 CVC 보정에 따른 타격을 나타내고, 헤드는 ECVC 보정에 따른 타격을 나타낸다. 방법 간 차이가 클수록 화살표는 덜 투명해지고, 적색은 ECVC가 더 양호한 경우를 보여주고, 청색은 기본 CVC가 더 양호한 경우를 보여준다. 극단적인 오차 값으로 인해 야기된 미스가 더 큰(FFE 표적에서 더 멀리 떨어진 화살표) 경우에는 화살표가 대부분 적색이고 크며, 이는 해당 상황에서 ECVC가 기본 CVC보다 더 효과적임을 의미한다. FFE 표적 근처에서는 도면이 더 무작위적이며, 어느 방법도 뚜렷한 이점을 보여주지 않는다. 그러나 이러한 점은 사소한 오차의 발현에 해당하며, 보정이 덜 중요함을 의미한다. 사격 보정의 실제 값은 미스가 클 때이다.

[0299] **잔여 오차의 등고선 지도**

[0300] 도 8 내지 도 12는 정합 미스에 기초하여, ECVC가 계산한 조정된 표적 좌표를 사용하여 FFE를 표적화하는 잔여 오차의 등고선 지도이다. 각 지도의 각 지점은 단일 FFE 표적(또는 도 12의 총기)을 나타내며, 등고선은 특정 정합 표적에 CVC 알고리즘이 사용된 후 남아있는 오차를 인코딩한다(모든 FFE 표적에 동일). FFE는 FFE에서 미스 벡터의 평균값을 0으로 감소시키는 최적 보정을 통해 수행된다고 가정한다.

[0301] 도 8 내지 도 12의 각 지도는 다음과 같이 생성되었다:

[0302] 1. 관련 좌표에서 점의 격자를 선택한다(탄약의 최대 사정거리에 의해 제한됨). 이 경우 격자는 1km x 1km 정사각형이다.

[0303] 2. 격자의 각 노드에서, ECVC 계산이 수행되었다(보여준 사용 사례의 사격 조건에 따라).

[0304] 3. 잔여 RMSE 값([수학식 18])은 대응하는 노드의 그래프에 추가되었다.

[0305] 4. 일정한 RMSE를 갖는 등고선이 계산되었고 색상 코딩되었다.

[0306] 특정 사용 사례에 대해 각각 생성된 그래프는 전송 한계의 치수, 즉 잔여 오차가 필요한 임계값 아래에 있는지를 확인하기 위해 FFE 표적이 위치될 수 있는 영역을 결정하는 데 사용할 수 있다. 지도상의 좌표는 잔여 오차가 상이한 영역에 기인할 수 있다. (지도에는 직사각형 모양의 상자도 도시될 수 있으며, 이는 적절한 FFE 표적 거리를 위한 비-CVC 결정에 자주 사용되는 영역을 나타낸다.)

[0307] 도 8 내지 도 12의 그래프는 다음과 같다:

[0308] 도 8: 사용 사례 1, 동일한 궤적 및 총기, 낮은 장약의 정합, 높은 장약의 FF. 도 9: 사용 사례 2 - 동일한 장약 및 총기, 높은 궤적의 정합, 낮은 궤적의 FFE. 도 10: 사용 사례 4 - 동일한 궤적 및 장약, 상이한 총기 위치, 정합 및 FFE가 동일한 위치에 있음. 도 11: 사용 사례 7 - FFE를 위해 다수의 총기가 사격됨. 도 12: 사용 사례 7 - FFE를 위해 다수의 총기가 사격되고, 격자 상의 각 FFE 표적에 대해 총기(포대) 3에 사용할 최적의 장약. 그래프 상의 각 지점은 상이한 FFE 표적에 대응하며, 각 지점에 대해 최적의 총기와 장약의 계산이 수행된다(위의 8.h. 단락에서 설명한 대로). 이 도면은 격자 상의 각 FFE 표적에 사용할 최적의 총기를 색상 코딩하며, 각각에 대한 최적의 장약도 이와 같이 선택되었다고 가정한다(이 그래프에는 도시되지 않음).

[0309] 도 13은 특정 시나리오에서의 타격 확률을 추정함으로써 도 2 내지 도 5에 도시된 잔여 오차(RMSE)의 수치 값에 대한 더욱 직관적인 해석을 제공한다.

[0310] **예시**

[0311] 예시 1(본 명세서에 기술된 본 발명의 제1 예시적 실시예)은 다음 단계를 수행하도록 구성된 시스템을 포함한다: 1) a) 정합을 위해 사격될 총기, b)정합 표적, 및 c) 효력-사격(FFE: fire-for-effect) 표적의 위치 좌표를 획득하는 단계; 2) 정합 및 FFE 사격 모두를 위한 총기 및/또는 환경 조건을 포함하는 사격 조건 세트에

대한 값을 획득하는 단계- 사격 조건 세트는 발사체 질량, 탄도 항력 및 양력 계수, 총구 속도, 총열 마모, 추진제 온도, 고도 점프, 방위각 점프, 풍속, 기압, 기온 중 하나 이상을 포함하고 -; 3) 세트의 사격 조건 각각에 대해, 사격 조건 오차의 단위 효과를 추정하고, 오차 공분산 행렬 W의 상관 항을 결정하는 단계- 상관 항은 정합 사격 조건과 FFE 사격 조건 모두의 오차 간의 상관관계를 나타내고, 적어도 하나의 상관 항은 1보다 작고 0보다 크며 -; 4) 정합 사격을 위한 총기를 사격한 결과로서 정합 미스 벡터를 획득하는 단계- 정합 사격을 위한 고도 및 방위각 파라미터는 탄도 시뮬레이션 엔진(BSE)에 의해 계산되고 -; 5) 오차 공분산 행렬 W의 상관 항과 단위 효과로부터, a) 정합 사격 중 조건 오차와 FFE 중 조건 오차 간 효과 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{12}, 및 b) FFE 중 조건 오차 간 상관관계의 효과 공분산 행렬 Σ_{22}를 생성하고, 이에 따라 조건부 보정 행렬 $\Sigma_{12}\Sigma_{22}$-1을 계산하는 단계; 및 6) FFE 사격을 위한 FFE 보정 벡터를 계산하기 위해 조건부 보정 행렬을 정합 미스 벡터로 곱하는 단계.

[0312] 예시 2에서, 시스템은 또한, FFE 사격을 위한 고도 및 방위각 사격 파라미터를 생성하도록, BSE에 입력될 FFE 표적 조정 좌표를 계산하기 위해 FFE 표적 좌표에서 FFE 보정 벡터를 빼도록 구성된다. 예시 3에서, 위의 예시 중 어느 하나에 대해, 사격 조건은 총구 속도를 포함하고, 정합 장약은 FFE 장약과 상이하며, 정합을 위한 총구 속도 오차와 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 오차 공분산 행렬의 상관관계는 1보다 작고 0보다 크다. 예시 4에서, 상관관계는 예를 들어 대략 0.5(예를 들어, 0.5 +/- 10%)로 추정될 수 있다.

[0313] 예시 5에서, 위의 시스템 중 어느 하나는 또한, 사격 조건이 총구 속도를 포함하고, 정합 총기가 FFE 총기와 상이하며, 정합을 위한 총구 속도 오차와 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 오차 공분산 행렬의 상관관계가 1보다 작고 0보다 크게, 예를 들어(예시 6에서) 대략 0.5로 설정되도록 구성된다.

[0314] 예시 7에서, 위의 시스템 중 어느 하나는 또한, 사격 조건이 북쪽 및 동쪽 풍속을 포함하고, 정합 궤적이 FFE 궤적과 상이하여, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간의 상관관계가 1보다 작고 0보다 크게, 예를 들어(예시 8에서) 낮은 궤적과 높은 궤적의 최대 높이의 비율로 설정되도록 구성된다.

[0315] 예시 9에서, 위의 시스템 중 어느 하나는 또한, 사격 조건이 북쪽 및 동쪽 풍속에 대한 값을 포함하고, 오차 공분산 행렬에서 정합 및 FFE를 위한 풍속의 상관관계는 시간 간격의 함수로서 1보다 작고 0보다 크게 설정되도록 구성된다.

[0316] 예시 10에서, 위의 시스템 중 어느 하나는 또한, 사격 조건이 총구 속도와 북쪽 및 동쪽 풍속을 포함하고, 정합 총기, 장약 및 궤적이 FFE에 대한 것과 상이하여, 정합 및 FFE를 위한 각각의 풍속 오차 간 오차 공분산 행렬의 상관관계가 1보다 작고 0보다 크게 설정되고, 정합 및 FFE를 위한 총구 속도 오차 간의 상관관계도 또한 1보다 작고 0보다 크게 설정되도록 구성된다.

[0317] 예시 11에서, 위의 시스템 중 어느 하나는 또한, FFE 보정 벡터에 대한 평균-제곱근-오차(RMSE) 값을 계산하고, RMSE 값을 사전-설정된 임계값과 비교하고, 이에 따라, FFE 보정 벡터로 FFE 표적을 향해 사격할지 여부에 대한 결정(즉, 출력)을 제공하도록 구성된다.

[0318] 예시 12에서, 위의 시스템 중 어느 하나는 또한, FFE 보정 벡터에 대한 평균-제곱근-오차(RMSE) 값을 계산하여 대안 사격 조건에 대한 추가 FFE 보정 벡터를 생성하고, 각각에 대한 RMSE 값을 계산하고; RMSE가 가장 낮은 사격 조건으로 FFE를 향해 사격하기 위한 권고(즉, 출력)을 제공하도록 구성된다.

[0319] 본 명세서에 설명된 시스템의 프로세싱 요소는 디지털 전자 회로, 또는 컴퓨터 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합으로 구현될 수 있다. 이러한 요소는, 프로그램 가능한 프로세서, 컴퓨터와 같은 데이터 프로세싱 장치에 의한 실행을 위해 또는 데이터 프로세싱 장치의 동작을 제어하거나, 또는 하나의 사이트 또는 다중 사이트에 걸쳐 하나 이상의 사이트에서 다수의 컴퓨터 상에서 실행되도록 배포하기 위해, 비일시적이고 기계-판독 가능 저장 디바이스와 같은 정보 전달 장치에 유형적으로 구현된 컴퓨터 프로그램 제품으로 구현될 수 있다. 소프트웨어와 데이터를 위한 메모리 저장소는 하나 이상 유형의 저장 매체를 포함하는 다수의 하나 이상의 메모리 유닛을 포함한다. 저장 매체의 예로는 자기 매체, 광 매체, 및 읽기-전용 메모리 디바이스(ROM) 및 랜덤 액세스 메모리(RAM)와 같은 집적 회로를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다. 네트워크 인터페이스 모듈은 네트워크를 통한 데이터 패킷의 송수신을 제어할 수 있다.

[0320] 모바일 디바이스는 상술한 바와 같이 대화형 애플리케이션에 대한 사용자 입력을 허용하는 임의의 컴퓨팅 디바이스일 수 있다.

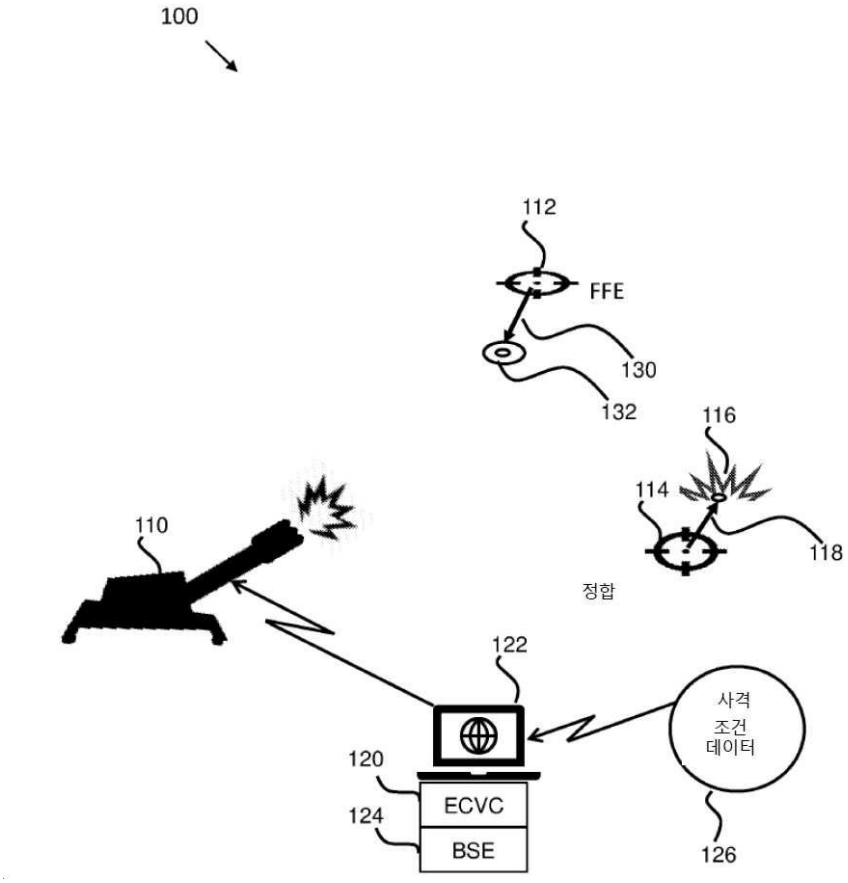
[0321] 시스템 및 프로세스와 연관된 방법 단계가 재배열될 수 있고 및/또는 하나 이상의 이러한 단계가 생략될 수 있

어서, 본 명세서에 설명한 결과와 동일하거나 유사한 결과를 달성할 수 있다.

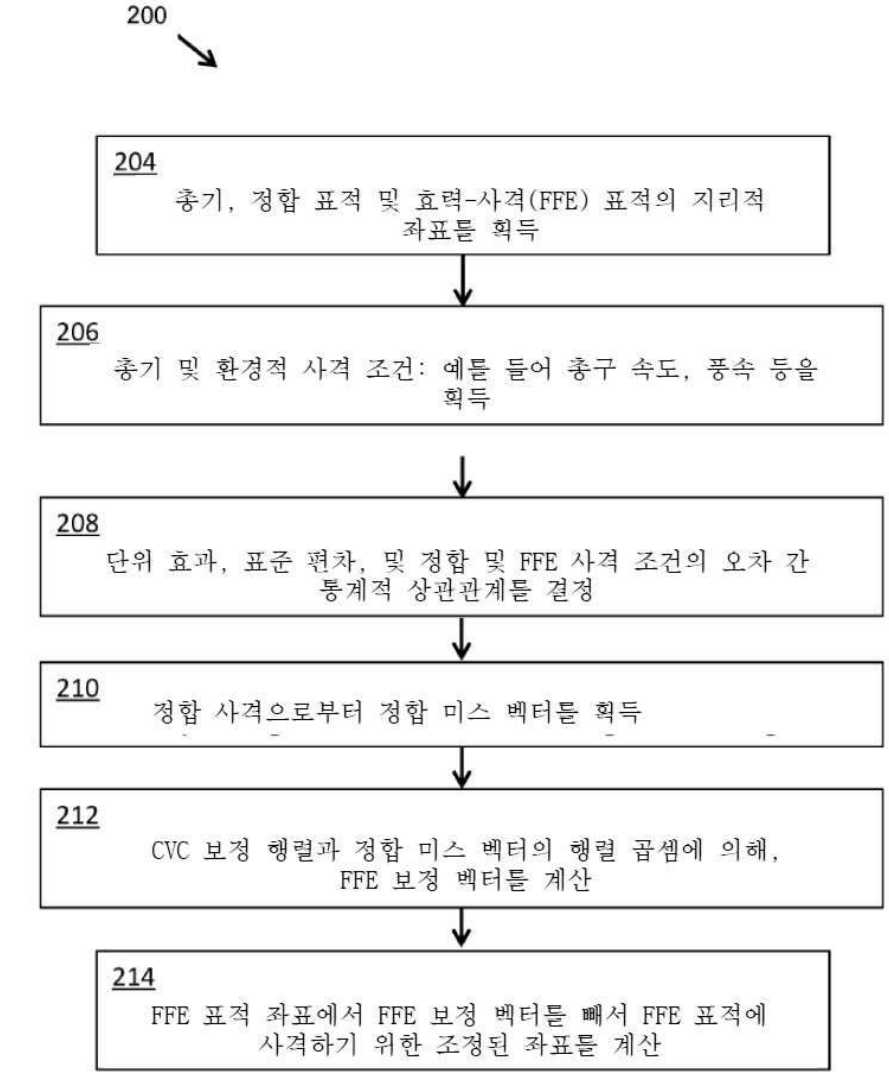
[0322] 상술한 실시예는 예시로 인용된 것이며, 본 발명은 특별히 도시되고 상술된 것에 제한되지 않는다는 점을 이해해야 한다.

도면

도면1



도면2


200
204
총기, 정합 표적 및 효력-사격(FFE) 표적의 지리적 좌표를 획득
206
총기 및 환경적 사격 조건: 예를 들어 총구 속도, 풍속 등을 획득
208
단위 효과, 표준 편차, 및 정합 및 FFE 사격 조건의 오차 간 통계적 상관관계를 결정
210
정합 사격으로부터 정합 미스 벡터를 획득
212
CVC 보정 행렬과 정합 미스 벡터의 행렬 곱셈에 의해, FFE 보정 벡터를 계산
214
FFE 표적 좌표에서 FFE 보정 벡터를 빼서 FFE 표적에 사격하기 위한 조정된 좌표를 계산

도면3

표: 주요 사격 조건에 대한 오차 요인의 요약

사격 조건의 카테고리	사격 조건	오차 소스	시간에 따라 상관관계 감소?	필요한 정합과 FFE 간의 상관관계 추정
환경(기상)	바람(N, E 속도 벡터)	기상 측정, 지리적 영역	예	궤적 높이 변화, 시간 지연, 상이한 위치의 총기
	기압	위와 동일	예	위와 동일
	기온	위와 동일	예	위와 동일
탄도(총기)	발사체 질량	발사체 유형	아니오	롯트 간 상관관계 없음(상관관계= 0)
	항력 탄도 계수	발사체 유형	아니오	위와 동일
	양력 탄도 계수	발사체 유형	아니오	위와 동일
총구 속도(총기)	장약	발사체 유형, 추진제 유형, 장약 값	아니오	장약 변경
	총열 마모	총기 유형	아니오	총기 간 상관관계 없음(상관관계= 0)
	탄약 롯트	발사체 유형	아니오	제조 롯트 간 상관관계 없음(상관관계= 0)
	추진제 롯트	발사체 유형, 추진제 유형, 장약 값	아니오	제조 롯트 간 상관관계 없음(상관관계= 0)
	추진제 온도	발사체 유형, 추진제 유형, 장약 값	예	장약 변경, 정합후 경과한 시간
조준(총기)	고도 설정 정확도	총기 유형	아니오	총기 변경
	고도 점프	총기 유형	아니오	총기 변경, 장약 변경
	방위각 설정 정확도	총기 유형	아니오	총기 변경
	방위각 점프	총기 유형	아니오	총기 변경, 장약 변경
위치	총기 위치	네비게이션 시스템	아니오	총기 변경
	표적 위치	스포팅 시스템	아니오	불필요

도면4

표: CVC 보정 및 모든 조합의 잔여 오차를 사용한 사격의 타당성

총기	장약	궤적	RMSE (잔여 오차) [m]	CVC 보정 벡터 [m]	실현 가능?
1	1	높음	51	(-110, -230)	예
1	2	높음	50	(-80, -250)	예
1	3	높음	-	-	아니요
1	1	낮음	40	(-95, -200)	예
1	2	낮음	45	(-115, -205)	예
1	3	낮음	55	(-117, -220)	예
2	1	높음	-	-	아니요
2	2	높음	65	(-105, -190)	예
2	3	높음	72	(-100, -197)	예
2	1	낮음	-	-	아니요
2	2	낮음	35	(-130, -221)	예
2	3	낮음	42	(-117, -217)	예
3	1	높음	-	-	아니요
3	2	높음	80	(-111, -230)	예
3	3	높음	90	(-99, -213)	예
3	1	낮음	-	-	아니요
3	2	낮음	75	(-100, -200)	예
3	3	낮음	77	(-115, -232)	예

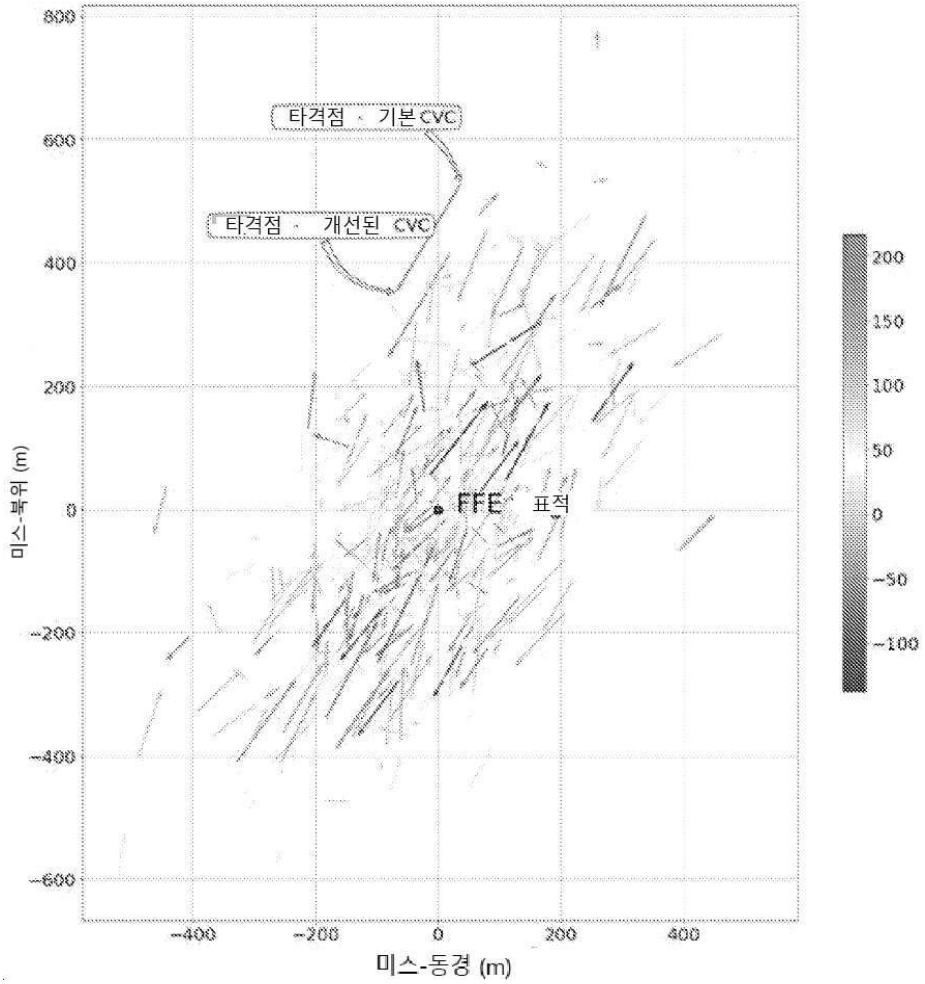
도면5

표: RMSE별로 정렬된 필터링된 조합의 잔여 오차

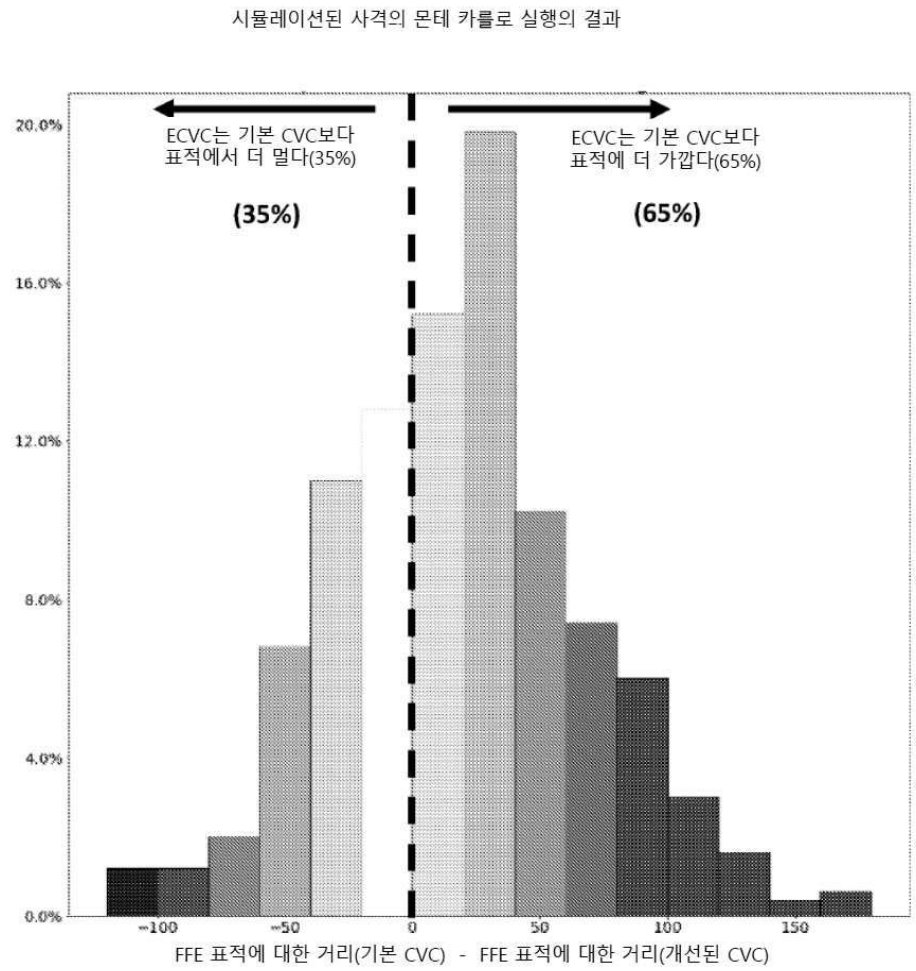
총기	장약	궤적	RMSE (잔여 오차) [m]	CVC 보정 벡터 [m]	실현 가능?
2	2	낮음	35	(-130, -221)	예
1	1	낮음	40	(-95, -200)	예
2	3	낮음	42	(-117, -217)	예
1	2	낮음	45	(-115, -205)	예
1	2	높음	50	(-80, -250)	예
1	1	높음	51	(-110, -230)	예
1	3	낮음	55	(-117, -220)	예
2	2	높음	65	(-105, -190)	예
2	3	높음	72	(-100, -197)	예
3	2	낮음	75	(-100, -200)	예
3	3	낮음	77	(-115, -232)	예
3	2	높음	80	(-111, -230)	예
3	3	높음	90	(-99, -213)	예

도면6

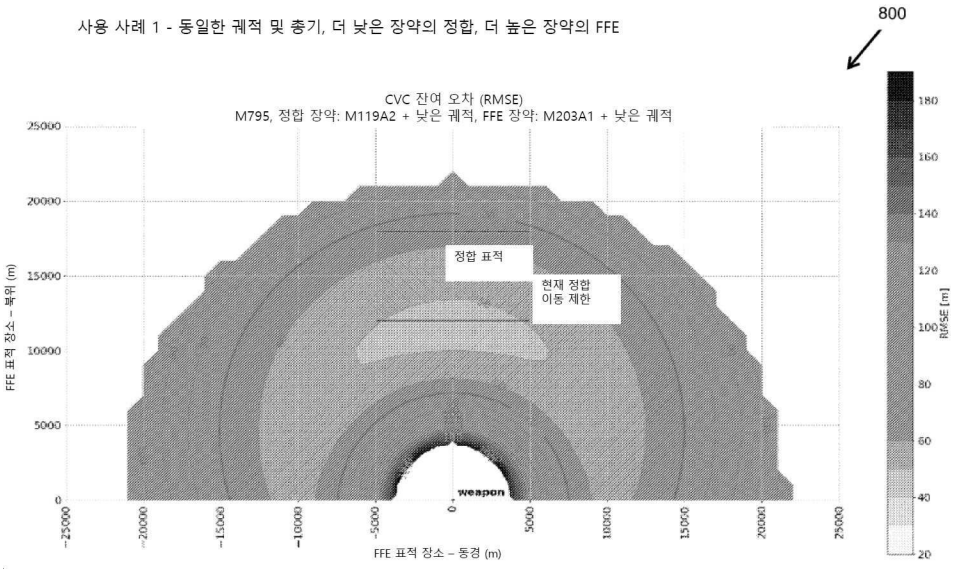
기본 CVC 대 ECVC의 시뮬레이션 사격의 몬테카를로 실행에서 정확도



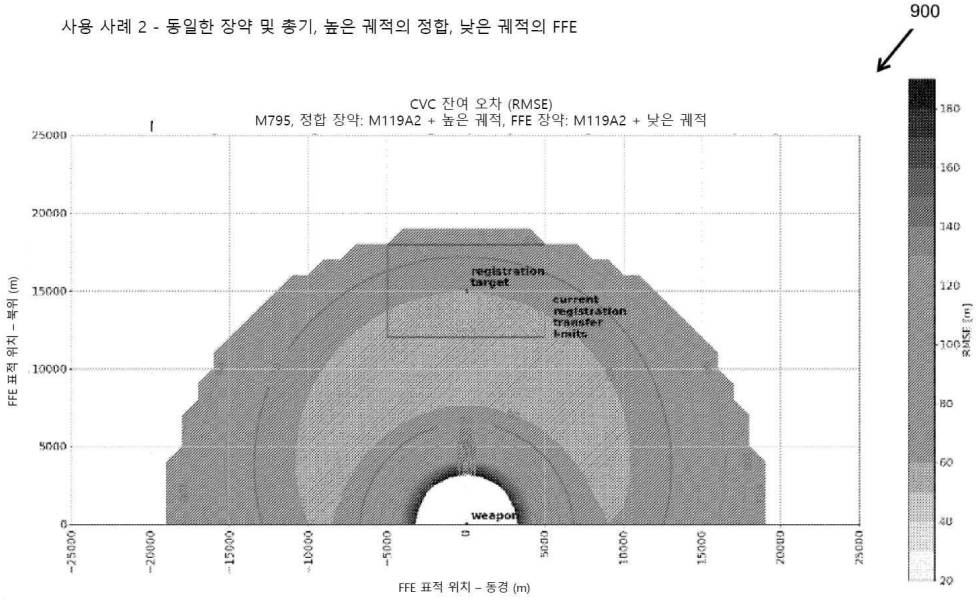
도면7


시뮬레이션된 사격의 몬테 카를로 실행의 결과
ECVC는 기본 CVC보다
표적에서 더 멀다(35%)
(35%)
ECVC는 기본 CVC보다
표적에 더 가깝다(65%)
(65%)
20.0%
16.0%
12.0%
8.0%
4.0%
0.0%
-100
-50
0
50
100
150
FFE 표적에 대한 거리(기본 CVC) - FFE 표적에 대한 거리(개선된 CVC)

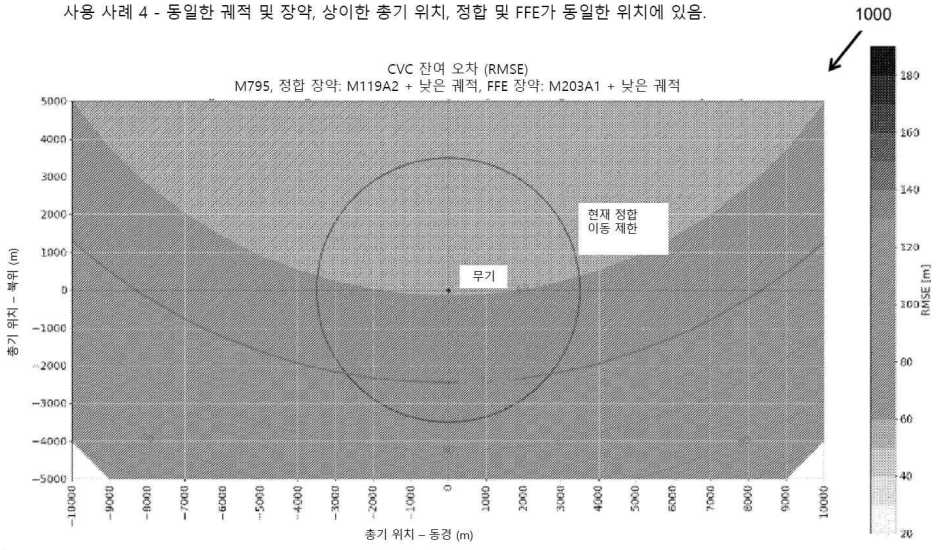
도면8


사용 사례 1 - 동일한 궤적 및 총기, 더 낮은 장약의 정합, 더 높은 장약의 FFE
800
CVC 잔여 오차 (RMSE)
M795, 정합 장약: M119A2 + 낮은 궤적, FFE 장약: M203A1 + 낮은 궤적
정합 표적
현재 정합
이동 제한
weapon
FFE 표적 장소 – 북위 (m)
FFE 표적 장소 – 동경 (m)
RMSE [m]

도면9

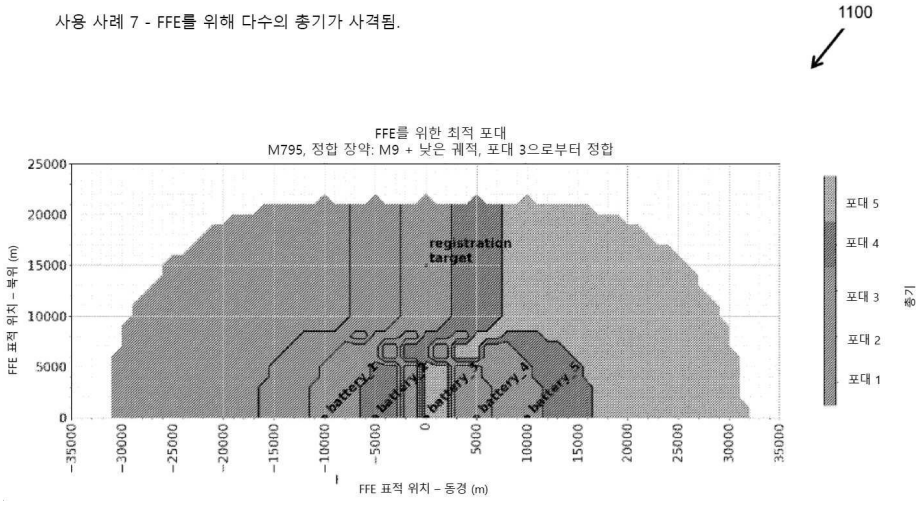

사용 사례 2 - 동일한 장약 및 총기, 높은 궤적의 정합, 낮은 궤적의 FFE
900
CVC 잔여 오차 (RMSE)
M795, 정합 장약: M119A2 + 높은 궤적, FFE 장약: M119A2 + 낮은 궤적
registration target
current registration transfer limits
weapon
FFE 표적 위치 – 북위 (m)
FFE 표적 위치 – 동경 (m)
RMSE [m]

도면10


사용 사례 4 - 동일한 궤적 및 장약, 상이한 총기 위치, 정합 및 FFE가 동일한 위치에 있음.
1000
CVC 잔여 오차 (RMSE)
M795, 정합 장약: M119A2 + 낮은 궤적, FFE 장약: M203A1 + 낮은 궤적
현재 정합 이동 제한
무기
총기 위치 – 북위 (m)
총기 위치 – 동경 (m)
RMSE [m]

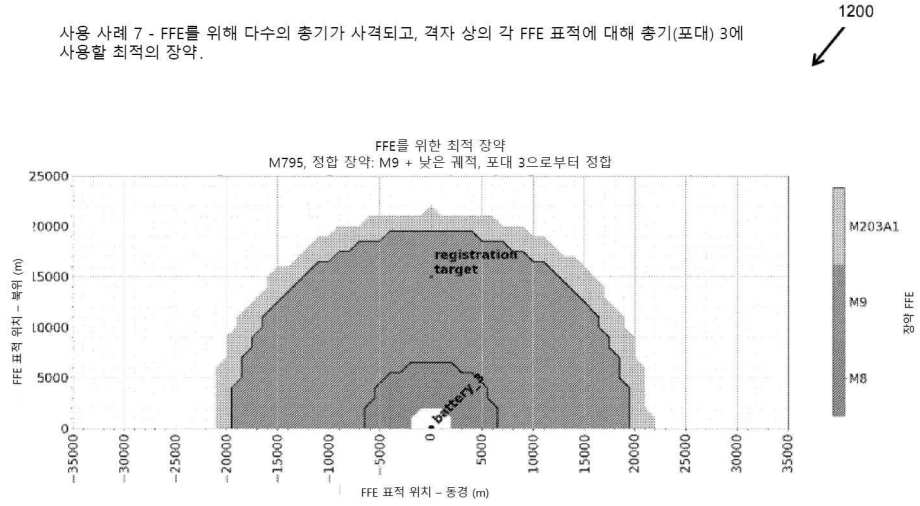
도면11

사용 사례 7 - FFE를 위해 다수의 충기가 사격됨.



도면12

사용 사례 7 - FFE를 위해 다수의 충기가 사격되고, 격자 상의 각 FFE 표적에 대해 충기(포대) 3에 사용할 최적의 장약.



도면13

