

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

**CENTRUM SYMULACJI
I KOMPUTEROWYCH GIER WOJENNYCH**

**ANALIZA PORÓWNAWCZA MODELI
I SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH W ASPEKCIE
ICH FUNKCJONALNOŚCI NA POTRZEBY
ĆWICZEŃ TYPU CAX**



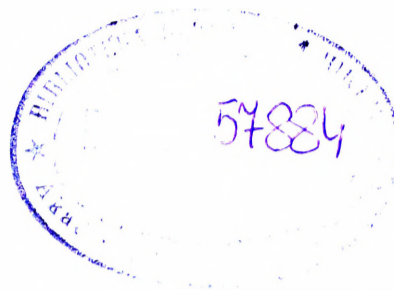
57884

WARSZAWA

2004

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

CENTRUM SYMULACJI I KOMPUTEROWYCH GIER WOJENNYCH



ANALIZA PORÓWNAWCZA MODELI I SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH W ASPEKCIE ICH FUNKCJONALNOŚCI NA POTRZEBY ĆWICZEŃ TYPU CAX

Płk dr Jan **KNETKI**

Płk dr inż. Ryszard **WIELEBA**

Ppłk dr inż. Janusz **WOCIAL**

Spis treści

SPIS TREŚCI	2
WPROWADZENIE	3
1. POTRZEBY WSPOMAGANIA INFORMATYCZNEGO ĆWICZEŃ TYPU CAX 6	
1.1. ISTOTA ĆWICZEŃ DOWÓDCZO-SZTABOWYCH WSPOMAGANYCH KOMPUTEROWO	6
1.2. FORMY I ZAKRES WSPOMAGANIA INFORMATYCZNEGO ĆWICZEŃ TYPU CAX	10
1.3. WSPÓLczesne TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE NA POTRZEBY ĆWICZEŃ TYPU CAX	13
2. MODELE I SYSTEMY SYMULACYJNE WALKI	17
2.1. KLASYFIKACJA MODELI MATEMATYCZNYCH	17
2.2. SYMULACYJNE MODELE WALKI	21
2.3. AGREGACJA W MODELACH WALKI	24
2.4. MODELE PROCESÓW WALKI I RUCHU	36
2.5. MODELE WALKI LANCHESTERA	38
3. FUNKCJONUJĄCE I PROJEKTOWANE SYMULACYJNE SYSTEMY WALKI..	55
3.1. SYSTEMY SZCZEBŁA OPERACYJNEGO	55
3.2. SYSTEMY SZCZEBŁA TAKTYCZNEGO	67
4. ANALIZA PORÓWNAWCZA SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH WALKI W ASPEKTCIE ICH FUNKCJONALNOŚCI	89
4.1. KRYTERIA OCENY SYSTEMU SYMULACYJNEGO	90
4.2. ASPEKTY ORGANIZACYJNE – ZESPOŁY FUNKCYJNE I ZADANIA UŻYTKOWNIKA	93
4.3. ASPEKTY MERYTORYCZNE – MODELE PROCESÓW WALKI.....	94
4.4. ZESTAWIENIE PORÓWNAWCZE PODSTAWOWYCH CHARAKTERYSTYK SYSTEMÓW ABS2000, SIMoF, JTLS ORAZ ZŁOCIENÍ.....	102
5. INTEGRACJA SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH WALKI	109
5.1. NARZĘDZIA INTEGRACJI SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH –TECHNOLOGIA HLA	109
5.2. UWARUNKOWANIA INTEGRACJI SYSTEMÓW	120
5.3. KONCEPCJA INTEGRACJI	123
ZAKOŃCZENIE	126
BIBLIOGRAFIA	128

Pracę naukowo-badawczą **ANALIZA PORÓWNAWCZA MODELI I SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH W ASPEKCIE ICH FUNKCJONALNOŚCI NA POTRZEBY ĆWICZEŃ TYPU CAX** wykonał zespół pracowników naukowo-badawczych **CENTRUM SYMULACJI I KOMPUTEROWYCH GIER WOJENNYCH** pod kierownictwem płk. dr. Jana KNETKI w składzie:

płk dr inż. Ryszard WIELEBA

ppłk dr inż. Janusz WOCIAL

Poszczególni członkowie zespołu opracowali

- płk dr Jan KNETKI Rozdział 1 oraz merytoryczne opracowanie pracy;
- płk dr inż. Ryszard WIELEBA Rozdział 2, 5, zakończenie,
- ppłk dr inż. Janusz WOCIAL Rozdział 3, 4, wprowadzenie.

PRACA NAUKOWO-BADAWCZA

WPROWADZENIE

Prezentowane opracowanie „**Analiza porównawcza modeli i systemów symulacyjnych w aspekcie ich funkcjonalności na potrzeby ćwiczeń typu CAX**” zrealizowane zostało w ramach pracy naukowo – badawczej (poz. 7.16.1.0 w „Planie zadaniowo – finansowym działalności naukowej AON na lata 2004 - 2006). Opracowanie stanowi pierwszy i zarazem ostatni etap prac dotyczących powyższego zadania naukowego.

Autorzy opracowania od kilkunastu lat specjalizują się w problematyce modelowania działań bojowych. Są autorami wielu konceptualizacji modeli walki (na różnych szczeblach dowodzenia) do poziomu projektu koncepcyjnego, a także implementacji projektu do poziomu systemu komputerowego.

Jednocześnie autorzy od wielu lat uczestniczą w przygotowywaniu i przeprowadzaniu ćwiczeń dowódczo – sztabowych wspomaganych komputerowo, realizowanych w AON oraz biorą udział w ćwiczeniach CAX prowadzonych za granicą. Doświadczenia tu nabyte umożliwiają zidentyfikować operacyjne i taktyczne wymagania, jakie konceptualizowany model spełniać powinien, a także dookreślić formę ujęcia systemu (interfejs użytkownika) przyjazny użytkownikowi (aspekty dydaktyczne).

Od kilku lat autorzy są pracownikami Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych, specjalizują się w symulacji działań militarnych (i pozamilitarnych) w oparciu o symulacyjne systemy walki oraz w organizacji ćwiczeń typu CAX.

Powyżej nakreślona wiedza naukowa (metodyczna i merytoryczna), a także doświadczenie (potrzeby i oczekiwania autorów ćwiczeń i ćwiczących) upoważniają zespół autorski do podjęcia powyższego problemu do naukowej refleksji.

Cel główny, jaki autorzy postawili sobie do osiągnięcia można sformułować następująco: **Rozpoznać i porównać funkcjonalności współczesnych systemów symulacji walki eksploatowanych i projektowanych w siłach zbrojnych różnych państw.**

Aby osiągnąć powyższy cel autorzy wyodrębnili następujące **zadania badawcze**, których realizacja pozwoliła:

1. Pozyskać (poprzez penetrację zasobów bibliotecznych i poszukiwania w zasobach Internetowych) możliwie pełnej i wiarogodnej informacji o systemach symulacyjnych walki różnych państw.
2. Zintegrować i uaktualnić informacje pochodzące ze źródeł luźnych (czasopism, seminariów, podróży studyjnych oficerów AON) dotyczące systemów symulacyjnych walki i organizacji ćwiczeń CAX.
3. Rozpoznać istotę wybranych systemów symulacyjnych i opisać główne ich charakterystyki.
4. Przeprowadzić analizę porównawczą wybranych systemów symulacyjnych walki i zestawić ich znaczące atrybuty w postaci zwartej.
5. Uogólnić zestawione atrybuty systemów symulacyjnych w postaci ocenowej przestrzeni kryterialnej.
6. Nakreślić kierunki (tendencje) rozwoju systemów symulacyjnych walki w aspekcie techniczno – technologicznym.

Przedstawiane opracowanie zawiera syntezę własności systemów symulacyjnych walki, które autorzy poddali analizie problemowej w aspekcie ich **funkcjonalności operacyjnej** i **funkcjonalności informatycznej**. Podstawowe kryteria, jakie każdy model spełniać powinien w stopniu najwyższym dotyczą maksymalizacji:

- **adekwatności** koncepcyjnych modeli symulacji walki do rzeczywistych procesów walki;
- **użyteczności** systemu symulacyjnego w modelowaniu różnych form i rodzajów działań operacyjnych i taktycznych wojsk oraz organizacji ćwiczeń wspomaganych komputerowo.

Ze względu na te właśnie kryteria wybrane systemy symulacyjne zostały poddane analizie, z której wnioski, w sposób zwarty, zostały przedstawione w prezentowanym opracowaniu. Wnioski dotyczą syntezy modeli symulacyjnych. Po przedstawieniu najważniejszych modeli i systemów symulacyjnych funkcjonujących w różnych armiach dokonano ich syntezy w aspekcie operacyjnym (użytkowym) oraz informatycznym (koncepcyjno - projektowym).

Opracowanie zawiera wprowadzenie, pięć rozdziałów merytorycznych, zakończenie oraz bibliografię.

Rozdziały merytoryczne przedstawiają:

1. Istotę i potrzeby informacyjne uczestników ćwiczeń dowódczo – sztabowych wspomaganych komputerowo.
2. Istotę modeli matematycznych i symulacyjnych stosowanych w symulacyjnych systemach walki.
3. Prezentację symulacyjnych systemów walki stosowanych we wspomaganie ćwiczeń dowódczo – sztabowych.
4. Analizę porównawczą systemów symulacyjnych walki.
5. Problem integracji symulacyjnych systemów walki z innymi systemami (w szczególności ze zautomatyzowanymi systemami dowodzenia).

Problemy, które autorzy podjęli do naukowej penetracji są podstawowymi w zakresie modeli i systemów symulacyjnych walki (dowolnego szczebla). Wiedza w tej dziedzinie obejmuje zarówno aspekty ogólnoteoretyczne, jak i pragmatyczne. Jest ona niezbędna do prawidłowego kierowania i funkcjonowania Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych.

Autorzy wyrażają nadzieję, że przedstawione opracowanie przybliży czytelnikowi w znacznym stopniu problematykę modeli i systemów symulacyjnych walki, pozwoli zrozumieć ich istotę oraz liczne problemy z nimi związane. Być może zainteresuje szczególnie i zainspiruje do głębszej refleksji?

1. POTRZEBY WSPOMAGANIA INFORMATYCZNEGO ĆWICZEŃ TYPU CAX

1.1. Istota ćwiczeń dowódczo-sztabowych wspomaganých komputerowo

W systemie szkolenia głównym ogniwem odpowiedzialnym za wyszkolenie sztabów, oddziałów, pododdziałów i żołnierzy są dowódcy. Są oni organizatorami i kierownikami szkolenia w swoich jednostkach. Aby sprostać związanym z tym wymaganiom dowódcy muszą dostosować szkolenie do zadań przewidzianych dla jednostki oraz prowadzić je zgodnie z obowiązującymi standardami. Treścią szkolenia jest rozwiązywanie problemów z zakresu organizacji i prowadzenia różnych rodzajów działań bojowych oraz niemilitarnych i reagowania kryzysowego na i poza terytorium kraju, a także rozwiązywanie problemów przyszłego pola bitwy (walki), odpowiednio do ćwiczącego szczebla dowodzenia i jego przeznaczenia. Ze względu na to, że efektywne szkolenie wojsk w czasie pokoju jest najważniejszym obowiązkiem dowódców wszystkich szczebli, powinni oni wykorzystywać każde działanie i każdą okazję do osiągnięcia optymalnych wyników w tym zakresie.

Osiągnięcie wysokiego poziomu umiejętności dowódców i sztabów wszystkich szczebli oraz wojsk w czasie pokoju jest możliwe dzięki wieloszczeblowemu i kompleksowemu szkoleniu, w sytuacjach i warunkach zbliżonych do takich, jakie panują na polu walki. Takie sytuacje i warunki można stworzyć podczas ćwiczeń. Ćwiczenia, jako forma szkolenia praktycznego, dodatkowo umożliwiają weryfikację poprawności i przydatności obowiązujących lub też zakładanych doktrynalnych założeń operacyjno-taktycznych, dotyczących zasad i sposobów prowadzenia działań w różnych warunkach pola walki. Stanowią one jeden z najlepszych sposobów sprawdzania sprawności przyjętych struktur organizacyjnych poszczególnych szczebli dowodzenia, efektywności funkcjonowania systemów dowodzenia, uzbrojenia i zabezpieczenia działań. Pozwalają sprawdzić stopień osiągniętej gotowości bojowej, a także określić możliwości wojsk w zakresie wykonywania w określonym czasie i miejscu przewidzianych w planach zadań bojowych.

Nowe uwarunkowania polityczno-militarne w Europie, połączone z redukcją wydatków i zmniejszaniem stanu sił zbrojnych we wszystkich państwach, wymagają bardziej realistycznego i mniej kosztownego podejścia do planowania ćwiczeń. Jednym z rozwiązań tego problemu było ograniczenie rozmachu i liczby ćwiczeń z wojskami i zastąpienie ich

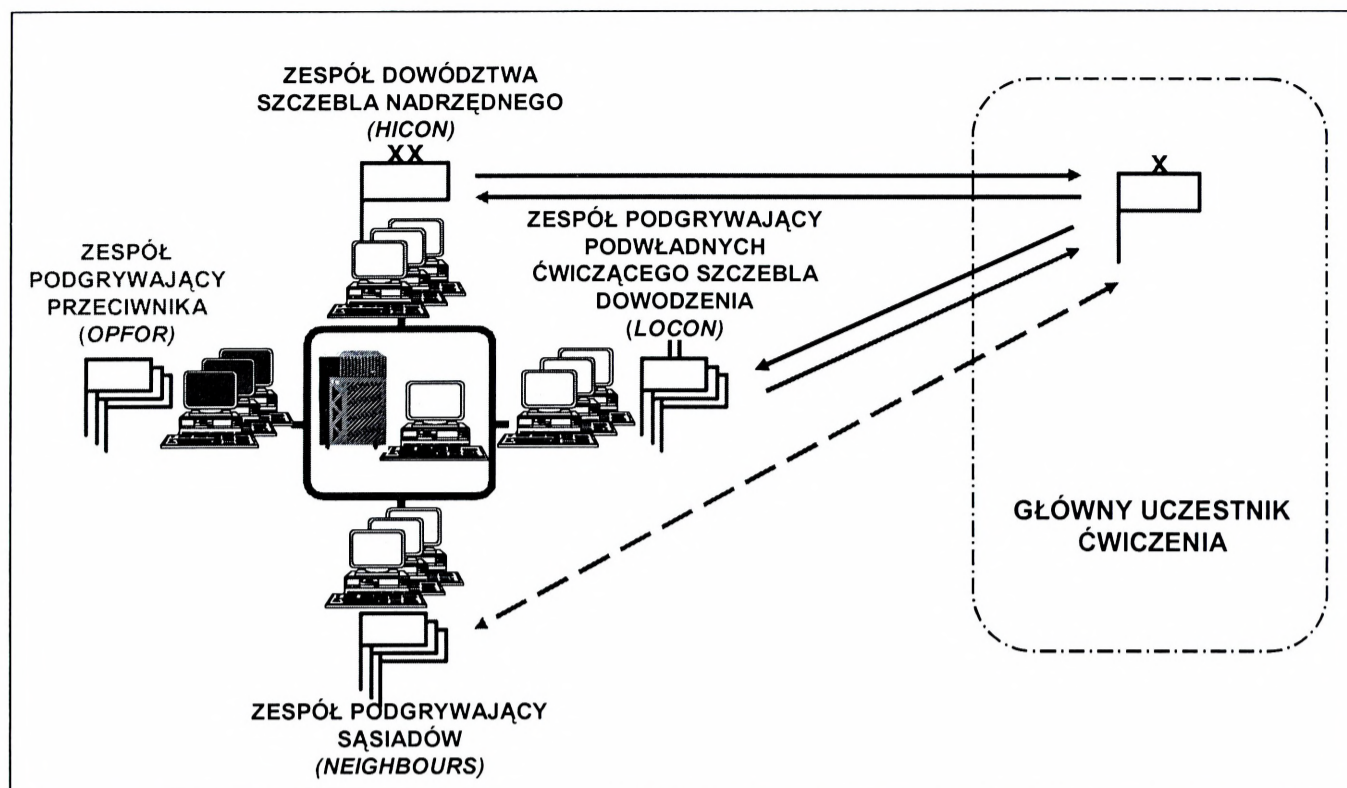
ćwiczeniami dowódczo-sztabowymi, w których nową jakość stanowią ćwiczenia wspomagane komputerowo¹.

Zastosowanie komputerowej techniki symulacyjnej umożliwiło duże ograniczenie zaangażowania w ćwiczeniach sprzętu i techniki bojowej z jednoczesnym zwiększeniem rozmachu tych ćwiczeń. Komputery umożliwiają przeprowadzenie ćwiczeń na takich szczeblach dowodzenia, których nie można prowadzić ze względu na różnego rodzaju ograniczenia (sytuacja polityczna, opinia publiczna, koszty, ochrona środowiska, itp.). Pozwalają także „zmierzyć” efektywność podjętych decyzji w określonych sytuacjach oraz ocenić zdolność do opracowania alternatywnych wariantów działania przez ćwiczące sztaby.

Ćwiczenia wspomagane komputerowo pozwalają także na zwiększenie realizmu poprzez wykreowanie scenariuszy umożliwiających ćwiczącym na twórcze stosowanie zasad sztuki wojennej w rozwiązywaniu problemów taktycznych i operacyjnych. Przy umiejętnym zorganizowaniu i zabezpieczeniu informatycznym pozwalają również na bezkolizyjne integrowanie szkolenia wybranych elementów różnych szczebli organizacyjnych i różnych rodzajów sił zbrojnych.

W ćwiczeniach dowódczo-sztabowych wspomaganych komputerowo (CAX) zarówno scenariusz ćwiczenia jak i ćwiczące wojska są odzwierciedlane w wirtualnej rzeczywistości (rys. 1). Z kolei ćwiczące dowództwa realizują swoje zadania zgodnie ze standardowymi procedurami operacyjnymi – podejmują decyzje, stawiają zadania podległym wojskom i kierują ich działaniami. Natomiast zespoły podgrywające wprowadzają do systemu symulacji komputerowej decyzje wypracowane przez ćwiczące dowództwa i dostarczają ćwiczącym informacje generowane w procesach symulacyjnych w postaci sformalizowanych dokumentów. Zarówno system komputerowy jak i operatorzy systemu pozostają „niewidoczni” dla ćwiczących sztabów w procesie podejmowania przez nich decyzji i kierowania działaniami podległych im wojsk. Dzięki takiemu rozwiązaniu ćwiczący wykorzystują organiczne środki łączności i wspomaganie dowodzenia, a nie zajmują się problemami technicznymi związanymi z obsługą komputerów. Umożliwia to ćwiczącym skoncentrowanie się na realizacji celów ćwiczenia, a nie na przebiegu procesów symulacyjnych.

¹ **Ćwiczenie dowódczo-sztabowe wspomagane komputerowo** (*Computer Assisted Exercise - CAX*) - to forma ćwiczenia, w którym przeciwnik i wojska własne są generowane, zobrazowane i przemieszczane w „rzeczywistości wirtualnej” komputerów. Komputerowy system (model) symulacyjny generuje „wirtualne środowisko operacyjne” i symuluje działania bojowe.



Rys. 1. Istota ćwiczenia CAX

Modele i systemy symulacyjne są przeznaczone do symulacji działań w sposób jak najbardziej zbliżony do działań realnych. Pamiętać jednak należy, iż żaden model symulacji pola walki nie odda w pełni jego realizmu. Model ten nie został zaprojektowany, aby uzasadniać taktyczną koncepcję rozegrania walki, jednakże może zostać użyty, aby porównać skutki wprowadzenia "w życie" różnych wariantów działania.

Pomyślnie przygotowanie ćwiczeń wspomaganych komputerowo (CAX) będzie możliwe jedynie dzięki poznaniu możliwości i ograniczeń jakimi obarczony jest każdy model/system symulacyjny. Wtedy jedynie można go wykorzystać we właściwy sposób i osiągnąć założone cele ćwiczenia. Jest to reguła, którą powinny kierować się osoby odpowiedzialne za zaplanowanie ćwiczenia. Sytuacje, których system symulacyjny nie jest w stanie odzwierciedlić w zadawalający sposób w trakcie ćwiczenia, powinny być ujęte w Ramowych Planach Podawania Wiadomości (MEL/MIL) jako dodatkowe wsparcie zwiększające realizm ćwiczenia.

Zakłada się, że ćwiczenie wspomagane komputerowo powinna być poprzedzone pięciodniowym treningiem wstępnym, krótką przerwą, a następnie zakończyć się sześciodniowym ćwiczeniem CAX (rys. 2). Faza wstępna CAX powinna zatem skupić się na treningu poświęconym Operatorom Systemu Symulacyjnego (trzy dni), oraz szczebla Kierownictwa Ćwiczenia i Zespołów Podgrywających (pozostałe dwa dni). Podczas przerwy,

w czasie omówienia i oceny treningu powinno mieć miejsce przygotowanie sytuacji wyjściowej do właściwego ćwiczenia.

D-27 TO D-7	D7 TO D-4	D-3 TO D-2	D-1	D	+1	+2	+3	+4	+5
Przygotowanie miejsc pracy dla Zespołów Podgrywających	Trening Operatorów Systemu Symulacyjnego	Trening Zespołów Podgrywających	P R Z E R W A						
	D-5/D-4								
	Szkolenie Kierownictwa Ćwiczenia i Zespołów Podgrywających								
			Omówienie i ocena treningu						

Rys. 2. Plan przygotowania do ćwiczenia CAX

Struktura organizacyjna ćwiczenia wspomaganego komputerowo to w swej istocie podział jego uczestników na komórki funkcjonalne wraz z określeniem ich zadań, uprawnień i odpowiedzialności oraz uwzględnieniem powiązań informacyjnych między tymi komórkami².

Powiązania informacyjne powinny zapewnić przepływ informacji, przez różnorodne środki, wewnątrz ćwiczących dowództw oraz pomiędzy poszczególnymi elementami strukturalnymi ćwiczenia, zgodnie z zasadami organizacji łączności dowodzenia, współdziałania i powiadamiania. System obiegu informacji w ćwiczeniu powinien umożliwić sprawne funkcjonowanie ćwiczących dowództw oraz kierowanie i kontrolowanie przebiegu ćwiczenia przez kierownictwo (sztab) ćwiczenia.

W ćwiczeniu dowódczo-sztabowym wspomaganym komputerowo niezwykle ważne jest określenie zasad współdziałania systemów komputerowych i rzeczywistych środków łączności. Tam gdzie jest to możliwe, w czasie ćwiczenia powinny być wykorzystywane te same środki łączności i informatyki, które są planowane do eksploatacji w rzeczywistych działaniach bojowych. Dotyczy to przede wszystkim ćwiczących dowództw i ich komunikacji

² Instrukcja o przygotowaniu i prowadzeniu ćwiczeń z dowództwami, sztabami i wojskami w Siłach Zbrojnych RP (DD/7.1.1), SG WP, Warszawa 2004, rozdz. 4.

z podwładnymi (podgrywka) oraz przełożonym. Dodaje to realizmu ćwiczeniu, a jednocześnie wykorzystanie tych środków jest również przedmiotem ćwiczenia.

1.2. Formy i zakres wspomaganie informatycznego ćwiczeń typu CAX

Przez wspomaganie informatyczne ćwiczeń typu CAX rozumiemy stosowanie środków i metod właściwych informatyce. Integratorem środków i metod informatycznych są **systemy informatyczne**. Jest wiele różnych klas systemów informatycznych. Nas interesują **informatyczne systemy wspomaganie zarządzania**, a ściślej mówiąc dowodzenia. Systemów zarządzania jest obecnie duża różnorodność. Ich liczba zależy od branży (m.in. wojskowe), zakresu wspomaganie (dziedzinowe, zintegrowane) oraz jakości tego wspomaganie (transakcyjne, informowania kierownictwa, wspomaganie decyzji, ekspertowe). Celem, do którego dążyć należy jest posiadanie **zintegrowanego systemu wspomaganie ćwiczeń dowódczo – sztabowych o największej jakości tego wspomaganie**.

Istotą ćwiczeń dowódczo – sztabowych **CPX** (*Command Post Exercise*)³ jest koordynacja procesów dowodzenia w warunkach laboratoryjnych. Ćwiczenia **CAX** (*Computer Assisted Exercise*) zawierają się w klasie ćwiczeń CPX, a ich istota dotyczy wykorzystania środków informatyki w ich realizacji.

W postaci pełnej, wspomaganie informatyczne obejmować powinno wszystkie fazy realizacji ćwiczenia dowódczo – sztabowego dla wszystkich uczestników (zespołów i indywidualów) ćwiczenia (**zakres**) w najdogodniejszej dla użytkownika postaci (**forma**) i o największej sile wspomaganie (**jakość**). Jest to postulat wynikający z **potrzeb użytkownika** (ćwiczących), stale wzrastających. Natomiast z drugiej strony – z punktu widzenia informatycznego systemu wspomaganie mamy jego **możliwości wspomaganie**, które zawsze są niewystarczające w stosunku do oczekiwań i potrzeb. Rozwój systemów wspomaganie lukę tę systematycznie zmniejsza.

Każdy system informatyczny realizuje podstawowe funkcje dotyczące swojego przedmiotu zainteresowania – informacji. Funkcje te ujmują istotę wspomaganie

³„Istota ćwiczenia polega na doskonaleniu umiejętności indywidualnych kadry i zgraniu komórek funkcjonalnych dowództw i sztabów w relacjach wewnętrznych oraz zewnętrznych pomiędzy organami dowodzenia w procesie przygotowania operacyjnego i dowodzenia w trakcie operacji (walki). Ćwiczenia te mogą być prowadzone w warunkach polowych lub obiektach stacjonarnych z wykorzystaniem informatycznych programów symulacyjnych i wspomagających proces dowodzenia.” – *Instrukcja o przygotowaniu i prowadzeniu ćwiczeń z dowództwami, sztabami i wojskami w SZ RP* (DD/7.1.1) MON SG WP, Warszawa 2004

informatycznego użytkownika systemu informatycznego. Także ćwiczeń dowódczo – sztabowych. Te funkcje, to proces zbierania, gromadzenia (w ustrukturalizowanej postaci) i przechowywania oraz przetwarzania (opracowywania) i przekazywania (udostępniania) informacji niezbędnej z punktu widzenia potrzeb użytkownika. System wspomaganie ćwiczeń powinien zatem zapewnić realizację następujących podstawowych funkcji:

- gromadzenia informacji;
- opracowywania (przetwarzania) informacji;
- zobrazowywania informacji;
- dystrybucję informacji;
- archiwizację informacji.

Występujące w procesie wspomaganie ćwiczeń informacje (bez względu na formę: tekst, tabela, grafika (rysunek, wykres, obraz), dźwięk) ze względu na **kryterium poznawcze (sprawcze)**, można skategoryzować następująco:

- **desygnujące** (opisujące obiekt (y) lub proces (y));
- **analityczne** (opisujące określony stan obiektu lub przebieg procesu w odniesieniu do czasu (w szeregu czasowym), innych elementów struktury (w szeregu rozdzielczym), innych elementów (modele ekonometryczne) w sposób zagregowany (uogólniony), zarówno w retrospektywie, jak i prospektywie, a także realizujące statystyczną obróbkę danych)
- **ocenowe** (określające stopień akceptacji danego przedmiotu przez określony podmiot w zależności od celu, jaki chce osiągnąć w kontekście swoich preferencji);
- **decyzyjne** (informacje sprawcze (rozkazodawcze) określające decyzje (kto?, co?, kiedy?, czym?, jak?)).

Każdy system informatyczny w zakresie tworzenia, przetwarzania, przechowywania, wymiany i zobrazowania informacji w zależności od ich rodzaju obejmuje różnego typu **zadania użytkowe** i **zadania systemowe**. W zakresie przechowywania i przetwarzania sformalizowanych danych wykorzystywane są systemy zarządzania **bazami danych** oraz systemy zarządzania **bazami dokumentów**. W zależności od postaci dokumentów oraz zadań przetwarzających dane wybierany jest odpowiedni sposób **zobrazowania informacji** (interfejs użytkownika).

Z punktu widzenia ćwiczeń dowódczo – sztabowych, zgromadzone w systemie informatycznym informacje podlegają przetwarzaniu w następujących zasadniczych kategoriach:

- **zadaniowej** - do formułowania zadań określonego działania dla podwładnych;
- **meldunkowej** - do formułowania meldunku dla przełożonego;
- **informacyjnej** - w celu przekazania określonych informacji do sąsiadów oraz innych uczestników ćwiczenia;
- **analitycznej** – uogólniona informacja obejmująca wyniki różnorodnych analiz, kalkulacji, zestawień;
- **ocenowej** – syntetyczna informacja dotycząca ocen sytuacji i planowania działań bojowych;

Strumień informacji o takich treściach można wyodrębnić w relacjach między uczestnikami ćwiczenia (stanowiskami funkcyjnymi stanowiska dowodzenia i pomiędzy stanowiskami dowodzenia).

Zgromadzone w bazach danych informacje wykorzystywane są przede wszystkim do wykonywania czynności, składających się na proces planowania działań bojowych (scenariusz działania stron), monitoring działań bojowych oraz korektę bieżącą scenariusza.

Baza danych systemów (symulacyjnego, dowodzenia) składa się z następujących elementów:

- baza danych o wojskach własnych;
- baza danych o wojskach przeciwnika;
- baza danych o terenie (mapy topograficzne oraz obiekty geograficzne);
- baza danych meteorologicznych
- baza znaków i symboli operacyjnych wojsk własnych;
- baza znaków i symboli operacyjnych wojsk przeciwnika;
- baza danych o operacyjnym przygotowaniu terenu (OPT);
- baza danych o scenariuszu działania stron;
- baza dokumentów sformalizowanych⁴.

⁴ Format i zawartość informacyjną dokumentów sformalizowanych opisują dokumenty normalizacyjne NATO: STANAG 2014; 2020; 2022; 2041 i 2149.

Z punktu widzenia procesu podejmowania decyzji, informatyczny system wspomagania ćwiczeń dowódczo – sztabowych powinien wspomagać zespoły funkcjonalne stanowiska dowodzenia w poszczególnych etapach cyklu dowodzenia:

- **analiza zadania** (z *elementami oceny sytuacji*) - udostępnianie na bieżąco informacji zawartych w bazach danych (o wojskach, terenie, obiektach OPT) za pośrednictwem zadań użytkowych typu informacyjnego;
- **podjęcie zamiaru** - udostępnianie usług grafiki operacyjnej oraz wykonywanie określonych obliczeń w oparciu o informacje zawarte w bazach danych za pośrednictwem zadań użytkowych typu kalkulacyjnego i analitycznego;
- **informowanie operacyjne** - udostępnianie usług grafiki operacyjnej;
- **wydanie wytycznych** do przygotowania operacji oraz wstępnych zarządzeń operacyjnych - udostępnianie usług systemu wymiany danych oraz edytora dokumentów dowodzenia;
- **ocena sytuacji** - udostępnianie usług grafiki operacyjnej oraz informacji zawartych w bazach danych o wojskach, obiektach OPT oraz terenie;
- **podjęcie i ogłoszenie decyzji** (*konceptji użycia SZ RP*) - udostępnianie usług systemu wymiany danych oraz edytora dokumentów dowodzenia;
- **planowanie szczegółowe** - udostępnianie usług grafiki operacyjnej oraz informacji zawartych w bazach danych o wojskach, obiektach OPT oraz terenie, udostępnianie usług systemu wymiany danych oraz edytora dokumentów dowodzenia;
- **kontrola i pomoc** - udostępnianie usług systemu wymiany danych oraz edytora dokumentów dowodzenia.

1.3. Współczesne technologie informatyczne na potrzeby ćwiczeń typu CAX

Obecnie na rynku dostępna jest duża liczba systemów informatycznych wspomagających zarządzanie organizacją i jej zasobami (MRPII/ERP, CRM, SCP, DEM). Rozwiązania te charakteryzują się wysokim poziomem funkcjonalności w zakresie zarządzania informacjami i procesami dla określonych przedsiębiorstw biznesowych, niestety nie militarnych.

Zintegrowane systemy wspomagania dowodzenia, w zakresie takim jak zintegrowane systemy zarządzania dla biznesu nie istnieją. Nie istnieją także zintegrowane systemy wspomagania ćwiczeń dowódczo – sztabowych.

Pocieszającym jest fakt, że potrzeba taka została dostrzeżona, a przyszłość rozwoju symulacyjnych systemów walki orientować się będzie w kierunku integracji ze zautomatyzowanymi systemami dowodzenia⁵ (patrz rozdział 5).

W każdym systemie informatycznym występuje konieczność korzystania z danych źródłowych, zapisanych w postaci dokumentów elektronicznych i zbiorów danych. Mogą one pochodzić z zasobów wewnętrznych poszczególnych komórek organizacyjnych i stanowisk funkcjonalnych, jak też ze środowiska intranetowego. Konieczność użytkowania różnych źródeł informacji wymaga systemu, który umożliwiałby zarządzanie zasobami informacyjnymi określonej organizacji wymaga stosownego systemu zarządzania wiedzą. System taki mógłby być jednym ze sposobów wspomagania pracy uczestników ćwiczenia CAX. System zarządzania wiedzą realizuje zadania polegające na gromadzeniu i udostępnianiu zasobów informacyjnych oraz wspomaganie komunikacji, gromadzeniu zapisów, klasyfikacji treści oraz wyciąganiu wniosków. Dzięki temu możliwy jest dostęp do zasobów wiedzy organizacyjnej jak również wymiana najlepszych wzorców (*best practices*).

Do najistotniejszych narzędzi zarządzania wiedzą zalicza się:

- **Systemy zarządzania dokumentami** (*document management*) - umożliwiają gromadzenie i klasyfikowanie dokumentów, ułatwiają ich wyszukiwanie i dostęp do nich a także rejestrowanie prac wykonywanych na tych dokumentach (np. kontrolowanie ich wersji, śledzenie wprowadzanych zmian itp.).
- **Systemy obiegu pracy** (*workflow*) - wspierają realizację procedur postępowania z dokumentami; baza wiedzy i mechanizmy wydobywania informacji zawarte w tych systemach pomagają w gromadzeniu materiałów niezbędnych do tworzenia treści (np. wskazywanie na stosowne przepisy prawne czy podobne zapisy w poprzednio sporządzonych dokumentach).

⁵ Bardzo interesującym jest fakt, że w inicjalizowanych kilka lat temu w Polsce systemach symulacyjnych w ich wymaganiach ZTT precyzowano konieczność zachowania zgodności z interfejsami systemów dowodzenia już projektowanymi albo kończącymi fazę implementacji.

- **Systemy wspomaganie pracy grupowej (*groupware*)** - umożliwiają swobodny przepływ i dzielenie się wiedzą. Ich podstawowym celem jest zapewnienie pracownikom dobrej współpracy, która owocuje procesem tworzenia i transferu wiedzy. Pozwalają też zorganizować pracę zespołu na różne sposoby. Po pierwsze czynią dostępnymi zasoby informacyjne dla każdego z członków grupy. Po drugie, śledzą przebieg pracy tak, że każdy z członków zespołu, bez względu na zmianę swojej lokalizacji pracuje na najnowszej dostępnej wersji projektu. Po trzecie, programy *groupware* stanowią platformę do interaktywnej komunikacji i dyskusji. Poniżej przedstawiono przykładową funkcjonalność systemów pracy grupowej pod kątem zarządzania informacją:

- rozbudowana poczta elektroniczna;
- obsługa kalendarzy i terminarzy;
- zdalny dostęp przez Internet i telefon komórkowy;
- wizualizacja danych - *imaging*;
- obsługa faksów i *pagerów*
- rozbudowane przesyłanie wiadomości wraz z ich dekretacją;
- definiowanie i zarządzanie przepływem prac;
- odpowiedni poziom bezpieczeństwa.

- **Intranet** - można określić jako wewnętrzny internet.
- **Portale korporacyjne** - umożliwiają zestawienie w jednym miejscu informacji pochodzących z praktycznie wszystkich źródeł danych występujących w organizacji (mogą to być zarówno dane ustrukturalizowane jak i nieustrukturalizowane (np. w postaci *e-maili* lub też zapisu video). Dostęp do informacji odbywa się za pomocą przeglądarki internetowej.
- **Bazy (hurtownie) danych** - są to łatwo dostępne, kompletne bazy (repozytoria) danych, których zawartość pochodzi z wielu źródeł (m. in. z systemów informatycznych już funkcjonujących w organizacji); pozwalają one na formułowanie nowych zapytań, tworzenie sprawozdań, analizę wykorzystania zasobów, uzasadnienie podejmowanych decyzji stanowiących fundament dla rozważań strategicznych
- **Systemy wspomaganie decyzji, systemy ekspertowe** - są to interaktywne systemy komputerowe wykorzystywane w realizacji funkcji planistycznych i decyzyjnych. Umożliwiają decydom uzyskanie, wyselekcjonowanej, skondensowanej i

przeanalizowanej informacji oraz ułatwiają podejmowanie niezrutynizowanych decyzji.

Przedstawione narzędzia zarządzania wiedzą w organizacji byłyby niezwykle przydatne w etapie przygotowania ćwiczenia, znacznie mniej w etapie omówienia, a najmniej w etapie realizacji ćwiczenia. Nie ulega wątpliwości, że najpilniejszym jest wypracowanie i wdrożenie technologii integracji systemów symulacyjnych ze zautomatyzowanymi systemami dowodzenia (w przyszłości ujednoczenie systemu zarządzania (relacyjną?, obiektową?) bazą danych), następnie wdrożenie systemu elektronicznej wymiany dokumentów (w oparciu o standard dokumentów sformalizowanych) i wspólnej pracy grupowej. Dalszymi przedsięwzięciami byłoby zwiększenie jakości wspomagania w procesach podejmowania decyzji (dla zespołu autorskiego przygotowującego scenariusz oraz ćwiczącego uczestnika, podejmującego decyzje taktyczne (operacyjne)) oraz wyposażenie systemów symulacyjnych w narzędzia „obróbki” wyników eksperymentów symulacyjnych.

Dodatkową klasę narzędzi stanowią systemy multimedialne, których walory dydaktycznych zastosowań podnosi się obecnie, coraz szerzej.

2. MODELE I SYSTEMY SYMULACYJNE WALKI

Modele symulacyjne od dawna zdobyły uznanie, co do swoich możliwości eksperymentalnych. Od dawna też znane są ich podstawowe niedostatki, tkwiące w zbyt dużym redukcjonizmie i w zbyt daleko posuniętych ograniczeniach. Wynika to z faktu dużej złożoności i wielostronnych związków będących w różnorodnych interakcjach, jakie zachodzą w systemach realnych.

Modele symulacyjne dotyczące wyższych szczebli działań bojowych powinny wspomagać rozwiązywanie różnorodnych problemów decyzyjnych o charakterze militarnym. Projektanci tego typu modeli próbują odwzorować działania bojowe w sposób najbardziej zbliżony do rzeczywistości, jednak muszą rezygnować z detalicznego rozważania procesów poprzez agregację jednostek walczących na jednostki o większej skali.

Poniższy rozdział dotyczy symulacyjnych modeli walki w aspekcie ich wewnętrznej budowy oraz stopnia odwzorowania procesów zachodzących na polu walki. Nie dotyczy jednak zagadnień organizatorskich, ale problemów czysto merytorycznych. Autorzy uważają, że potrzeba przedstawienia tej problematyki wynika przynajmniej z dwóch powodów:

- (metodycznych) umiejętności poprawnego użytkowania dostępnych systemów symulacyjnych. Począwszy od powzięcia merytorycznie uzasadnionej hipotezy merytorycznej, po-przez stosowne dla jej weryfikacji - zaplanowanie eksperymentów symulacyjnych, ich realizację, aż do uzasadnionego wnioskowania, statystycznie potwierdzonego.
- (merytorycznych) ograniczoności określonych systemów symulacyjnych w zakresie indykacji pewnych problemów operacyjno – taktycznych.

2.1. Klasyfikacja modeli matematycznych

Modele symulacyjne są szczególną klasą modeli matematycznych. Spotykane w literaturze klasyfikacje modeli matematycznych najczęściej stosują następujące kryteria podziału:

- własności zbioru X;
- interpretację elementów zbioru X;
- własności zbioru R;

- dostępność informacji o wartościach zmiennych ze zbioru X w chwili podejmowania decyzji (wdrożenia projektu oddziaływania na rzeczywistość).

Mówiąc o własnościach zbioru $\mathbf{X} = \{ \langle X_1, X_1 \rangle, \langle X_2, X_2 \rangle, \dots \dots \langle X_M, X_M \rangle \}$, zwraca się uwagę na własności matematyczne par $\langle X_m, X_m \rangle$ lub samych zbiorów X_m ($m=1, 2, \dots, M$).

Modelem dyskretnym nazywa się model, w którym wszystkie zbiory $X_1, X_2, \dots \dots, X_M$ są zbiorami dyskretnymi (np. przeliczalnymi).

Modelem ciągłym nazywa się model, w którym wszystkie zbiory $X_1, X_2, \dots \dots, X_M$ są zbiorami ciągłymi (np. zbiorami liczb rzeczywistych).

Ponadto istnieją modele **ciągło - dyskretne**, przykładowo znane w teorii procesów stochastycznych⁶ procesy dyskretne w stanach i ciągle w czasie.

Jeżeli wszystkie pary $\langle X_M, X_M \rangle$ opisują wielkości deterministyczne, to taki model nazywa się **deterministycznym**. Gdy przynajmniej jedna zmienna X_M jest zmienną losową lub procesem stochastycznym, a pozostałe są zmiennymi deterministycznymi, to taki model nazywany jest **probabilistycznym** lub **stochastycznym**. Jeżeli przynajmniej w jednym przypadku wyrażenie X_M należy do zbioru rozmytego X_M i nie występują zmienne losowe, to taki model nazywa się **rozmytym**. Oczywiście mogą występować również modele rozmyto-probabilistyczne.

Z punktu widzenia interpretacji zbioru \mathbf{X} wyróżnia się najczęściej **modele z czasem** i **modele bez czasu**. W pierwszym przypadku jedna ze zmiennych X_M przyporządkowana jest nazwie „czas” występującej w werbalnym opisie cech obiektu.

Z punktu widzenia potrzeb badawczych wyróżnia się **modele korelacyjne**, które zbiorem \mathbf{R} opisują zaobserwowane lub hipotetyczne korelacje⁷ między cechami. Podklasą modeli korelacyjnych są **modele przyczynowo-skutkowe** opisujące rzeczywiście istniejące związki przyczynowo-skutkowe między cechami.

Biorąc pod uwagę własności zależności opisujących zbiór \mathbf{R} wydziela się :

⁶ *Proces stochastyczny (losowy)* – to proces (uporządkowany w czasie zbiór zdarzeń dotyczących określonego przedmiotu), który przebiega we wskazany sposób z zadaniem prawdopodobieństwem. Dokładnie: dane są prawdopodobieństwa zdarzeń polegających na tym, że w danych chwilach t_1, \dots, t_n stany spełniają warunki W_1, \dots, W_n . Chwilowe stany procesu losowego są więc zmiennymi losowymi, które mają dany łączny rozkład prawdopodobieństwa.

⁷ *Korelacja* – związek pomiędzy dwoma zmiennymi losowymi (dwie zmienne losowe są skorelowane, jeśli wartość średnia jednej z nich zmienia się w zależności od zmian drugiej). Stopień w jakim zmienne losowe są ze sobą związane jest określany przez współczynnik korelacji.

modele liniowe, w których wszystkie relacje R_i ($i=1,2,\dots, I$) opisywane są zależnościami liniowymi;

modele nieliniowe, w których w których przynajmniej jedna relacja R_i nie jest opisana zależnością liniową.

Wśród modeli z czasem wyróżnia się **modele dynamiczne**, tzn. takie modele, w których wartości przynajmniej jednej zmiennej w ustalonym momencie zależą od wartości zmiennych w przynajmniej jednym poprzednim momencie. Jeżeli ta zależność występuje tylko dla jednego momentu dla każdej zmiennej, to mówi się o **modelach dynamicznych z opóźnieniem**, jeżeli zaś zależy od wielu momentów dla tych samych zmiennych, to takie modele nazywa się **modelami dynamicznymi z akumulacją**. **Modelem statycznym** nazywa się (w odróżnieniu od dynamicznego) model bez czasu lub taki model z czasem, w którym wartości zmiennych dla każdego momentu zależą wyłącznie od wartości innych zmiennych w tym samym momencie lub od zmiennych niezależnych od czasu.

Modele symulacyjne są szczególną klasą modeli matematycznych. Pozwalają one na drodze opisów matematycznych „naśladować” zachowanie się obiektu rzeczywistego obserwowanego z punktu widzenia wcześniej zdefiniowanego problemu badawczego (w tym przypadku pola walki). W modelu symulacyjnym w zbiorze cech wyróżnia się podzbiory:

- zmiennych wejściowych - których wartości są przekazywane z otoczenia (są ustalone niezależnie od zachowania się obiektu rzeczywistego);
- zmiennych stanu - takich, których wartości opisują zmieniające się w czasie wybrane cechy obiektu;
- zmiennych wyjściowych - część zmiennych stanu podlegających obserwacji z zewnątrz;
- podzbiór jednoelementowy opisujący czas.

Najbardziej uniwersalnym opisem matematycznym modeli systemów o działaniu ciągłym uwzględniającym ich dynamikę są równania różniczkowe⁸:

Modelem matematycznym szerokiej klasy ciągłych systemów dynamicznych⁹, charakteryzujących się własnościami akumulacyjnymi są równania stanu o postaci układu równań różniczkowych rzędu pierwszego, którego reprezentantem jest równanie

⁸ Ich odpowiednikiem dla dyskretnej zmiany czasu są równania różnicowe

$$\frac{dz(t)}{dt} = \delta[z(t), x(t)]$$

Uzupełnieniem opisu są równania wyjścia formułujące związek między wielkościami wyjściowymi (y), a zmiennymi stanu (z) i wejścia (x)

$$y(t) = \bullet[z(t), x(t)]$$

Innym rodzajem modeli dynamicznych są modele, w których uwzględnia się opóźnienia czasowe (wynikające z ograniczonej prędkości przemieszczania się zjawisk w przestrzeni). W modelach, w których uwzględnia się opóźnienia, a nie uwzględnia własności akumulacyjnych podkreśla się, że reakcja w chwili t jest skutkiem oddziaływania wejściowego, które wystąpiło odpowiednio wcześniej, a mianowicie w chwili $(t-h)$

$$y(t) = \bullet[x(t-h)].$$

Model matematyczny systemu dynamicznego ciągłego, w którym uwzględnia się zarówno własności akumulacyjne, jak i opóźnienia stanu w stosunku do wielkości wejściowych, ma równanie stanu o postaci:

$$\frac{dz(t)}{dt} = \delta[z(t), x(t-h)]$$

W modelach dotyczących systemów, w których występuje dziedziczenie pewnych cech w przyszłości występuje opóźnienia stanu, zatem:

$$\frac{dz(t)}{dt} = \delta[z(t-h), x(t)]$$

Opis modelu dynamicznego za pomocą równań stanu z jedną zmienną niezależną t oznaczającą czas jest niewystarczający dla systemów, w których stan zmienia się z upływem czasu ale odmiennie, w różnych punktach przestrzeni, na jakiej rozpościera się modelowany system. W takim wypadku uwzględnia się w zmiennych stanu nie tylko czas (t) ale również zmienne przestrzenne (l).

$$\frac{dz(t,l)}{dt} = F[z(t,l), x(t,l)]$$

Lewa strona równania oznacza pochodną cząstkową względem zmiennej t . Występujący po prawej stronie zapis $F(\dots)$ może być w ogólnym przypadku nie funkcja, lecz operatorem określonym na funkcjach zmiennych przestrzennych l . Oznacza to, że po prawej

⁹ Fakt występowania parametru czasu w równaniach tworzących model jeszcze nie przesądza o tym, że model jest dynamiczny. Jeżeli we wszystkich zależnościach tworzących model wszystkie wielkości dotyczą tej samej chwili - to taki model jest modelem statycznym.

stronie w nawiasach kwadratowych mogą występować pochodne cząstkowe stanu względem zmiennej I.

Modelowanie symulacyjne z jednej strony opiera się głównie na analizie systemowej, teorii prawdopodobieństwa czy statystyce matematycznej, z drugiej zaś pozostaje w wielu wypadkach w sferze procesów intuicyjnych. Dlatego też można przyjąć, że jest ono swego rodzaju sztuką, bowiem takie czynności, jak wybór elementów do odwzorowania w modelu, przyjęcie dopuszczalnych uproszczeń i ograniczeń oraz ocena skutków podjętych decyzji opierają się na intuicji projektanta oraz doświadczeniach ekspertów (specjalistów)

2.2. Symulacyjne modele walki

Modele symulacyjne dotyczące wysokiego szczebla działań bojowych powinny wspomagać rozwiązywanie różnorodnych problemów decyzyjnych o charakterze militarnym. Projektanci tego typu modeli próbują odwzorować działania bojowe w sposób najbardziej zbliżony do rzeczywistości. W celu zachowania wiarygodności odwzorowania dla jednostek niższego szczebla (np. poniżej batalionu) stosuje się modelowanie o wysokim poziomie szczegółowości (*high resolution*), lecz dla jednostek wyższych szczebli, konieczne jest ograniczenie złożoności. Dlatego też na tych poziomach, w zaawansowanych rozwiązaniach, stosowane jest modelowanie działań bojowych, wymagające agregacji między innymi ze względu na ograniczone fizyczne możliwości komputerów.

W zaawansowanych technologicznie modelach walki, detalizacja szczegółowości działań bojowych jest osiągana poprzez reprezentację indywidualnych „uczestników walki” (środków walki), jako niezależnych (odseparowanych od siebie) jednostek. Każda tego typu jednostka (obiekt) opisana jest licznymi atrybutami (własnościami), które definiują pozycję w strukturze organizacyjnej sił, percepcję zdarzeń od przeciwnika i pola walki, jej możliwości (potencjał) oraz działania (zadania) itp. w każdym momencie czasu na symulowanym polu walki.

Procesy walki są zdekomponowane na sekwencję zdarzeń oraz działań na polu walki. Mechanizmy sterowania czasem koordynują sekwencję zdarzeń dla licznych uczestników walki oraz specyficzną interakcją z otoczeniem.

Jednak użytkowanie tego typu modeli stwarza szereg problemów, gdyż fizycznie składają się z szeregu złożonych programów komputerowych, które są drogie w utrzymaniu,

eksploatacji oraz rozwoju. Najczęściej modele te, mają charakter stochastyczny, zatem uzyskanie stosownej odpowiedzi wymaga realizacji wielu eksperymentów. Jeżeli chcemy modelować działania bojowe powyżej poziomu dywizji, to lawinowo wzrasta ilość walczących obiektów oraz środków rażenia, co utrudnia zarządzanie i odwzorowanie elementarnych procesów.

Dlatego też modele na tym poziomie muszą rezygnować z detalicznego rozważania procesów poprzez agregację jednostek walczących na jednostki o większej skali.

W najprostszym zagregowanym modelu walki, podstawowe modele jednostek są grupowane i nie walczą ze sobą. Ta prosta koncepcja implikuje propagację wartości wskaźników do wewnątrz modelowanej struktury jednostki.

2.2.1. Problem określenia zagregowanych jednostek elementarnych

Łączenie pojedynczych jednostek elementarnych w grupy jest zadaniem prostym, gdyż militarne struktury mają charakter hierarchiczny. Modele walki bazują generalnie na jednostkach, które tworzą następującą hierarchię:

- Indywidualny środek walki (np. pojedynczy żołnierz),
- Drużyna,
- Pluton,
- Kompania,
- Batalion,
- Brygada,
- Dywizja,
- Korpus,
- Armia,
- Teatr wojny.

Symulowanymi jednostki są wtedy jednostki walczące i wspomagające na poziomie podstawowym i wyższym. Każda z nich jest opisana listą atrybutów (np. batalion jako jednostka podstawowa, ma własną unikalną sytuację, percepcję pola walki, możliwości oraz aktualne zadania).

Jednostki większe niż jednostek bazowa, jak wyższe dowództwa, modelowane są jako indywidualne jednostki wraz atrybutami, które są wymagane do modelowania hierarchicznego procesu dowodzenia.

Indywidualne środki oraz grupy środków, które są niżej w strukturze niż jednostki podstawowe (bazowe) uwzględniane są jako jednostki symulowane.

Istotną konsekwencją agregacji jest utrata informacji o stanie indywidualnych (pojedynczych) środkach walki, gdyż modele zagregowane operują na wartościach średnich poszczególnych atrybutów.

2.2.2. Problem opisu zagregowanej jednostki elementarnej

Drugą konsekwencją łączenia „indywiduów” w grupy jest utrata śladu „co każda pojedyncza jednostka” jako indywiduum realizuje w danym czasie. Kompleks splatających się sekwencji zdarzeń jest zastępowany przez zachowanie się uśrednione. W modelach o wysokim stopniu detalizacji, straty są symulowane przez pozyskanie wartości od pojedynczych aktów oddziaływań między obiektami elementarnymi. Natomiast w modelach zagregowanych, zamiast tego, wyliczane są współczynniki, które mają charakter uśredniony. Wartości wskaźników strat zawierają (odwzorowują) wszystkie zdarzenia związane z niszczeniem, a stochastyczna zmienność jest pomijana i faktycznie symulacyjne modele zagregowane funkcjonują jako modele deterministyczne.

Jednym z istotnych problemów modelowania walki przy wykorzystaniu procesów uśrednionych jest to, że traci się możliwość sprawdzenia sekwencji zdarzeń. Wiele oszacowań oraz szczegółów scenariusza jest ujęta w wartości współczynnika strat, dlatego też nie ma możliwości sprawdzania i śledzenia efektów ich zmian.

Prawdą jest, że w zagregowanych modelach użytkowych wartości współczynników ustalane są przez specjalne agencje poprzez realizację różnorodnych badań.

2.2.3. Problem czasy systemowego w zagregowanych modelach walki (cykle)

Trzecią konsekwencją agregacji jest utrata informacji o sekwencji zdarzeń, ponieważ nie są przechowywane ścieżki indywidualnych akcji jednostek elementarnych (obiektów). Precyzacja krytycznych momentów czasowych (uderzeń w cel) nie jest osiągalna. Jednak procesy operujące na wartościach uśrednionych realizowane są wielokrotnie w przedziale czasu (od kilku minut do jednego dnia) w celu wyliczenia całkowitych strat za zadany okres czasu. W procesach wyznaczania strat musi być uwzględniony fakt, że straty ponoszą dwie strony i nie wszystkie oddziałujące na siebie obiekty przetrwają w celu kontynuacji walki do kolejnego okresu walki.

W praktyce, w zależności od istoty, natury działań bojowych i sposobów wzajemnego oddziaływania obiektów, symulacyjne modele zagregowane, używają różnego rodzaju agregacji.

Różnica pomiędzy homogenicznymi i heterogenicznymi agregacjami jest szczególnie ważna w obliczaniu strat. Homogeniczna agregacja, to taka, w której jednorodne środki walki jednostki walczącej oddziałują na pojedynczy środek walki lub jedna jednostka o określonym wyposażeniu w jednorodne środki walki (np. naziemne) oddziałuje na jednostkę sił powietrznych). Obliczanie strat jest oparte na uwzględnieniu siły (mocy) dwóch środków w walce, często poprzez obliczenie ich wzajemnego stosunku sił.

W heterogenicznym modelu agregacji, agregacja dla danej jednostki jest realizowana poprzez wyliczenia oddziaływania od każdego typu środka rażenia. To pozwala na modelowanie zróżnicowanej efektywności od środków rażenia na różne typy celów przeciwnika. Tego typu agregacja jest stosowana w nowoczesnych modelach walki, gdyż dokładniej odwzorowuje (jest bardziej zbliżona do rzeczywistości) niż agregacja homogeniczna, w której traci się więcej informacji.

2.3. Agregacja w modelach walki

W zagregowanych modelach walki złożoność typowych lądowych i powietrznych modeli walki wysokiego poziomu wymaga pełnego zrozumienia. Przedstawienie tej problematyki wymaga wiedzy o licznych szczegółach reprezentacji jednostek, pola walki, procesów walki itp. W modelach zagregowanych muszą zostać rozwiązane następujące problemy:

- Agregacja jednostek poniżej rozważanego poziomu;
- Atrybuty jednostek powyżej rozważanego poziomu;
- Reprezentacja pola walki;
- Zaawansowany mechanizm czasu;
- Procesy dowodzenia i kierowania;
- Procesy przemieszczania;
- Procesy rozpoznania i przydziału celów;
- Procesy niszczenia
- Procesy przydzielania i zaangażowania sił powietrznych;
- Procesy logistyczne.

2.3.1. Agregacja jednostek poniżej ustalonego poziomu;

Większość znaczących cech (atrybutów) w modelach zagregowanych użyta do reprezentacji środków walki i jednostek jest niewystarczająca do modelowania jako „indywidualnych” pojedynków. Małe jednostki, które są poniżej rozważanego poziomu modelowania nie posiadają niezależnej egzystencji w zagregowanym modelu. Generalnie małe jednostki są modelowane poprzez przydział średnich wartości dla atrybutów odwzorowujących ich naturę.

Jak wiadomo agregacja zawsze powoduje utratę pewnej części informacji, przy czym więcej traci się w modelach homogenicznych.

Podczas projektowania modeli zagregowanych należy rozwiązać następujące problemy:

1. Jakie są najmniejsze i największe jednostki, które reprezentowane są w modelu jako różne?
2. Jaka jest metoda reprezentacji struktury sił poniżej najniższego poziomu dowodzenia?
3. Jakie charakterystyki pojedynczych środków walki są odwzorowane w atrybuty jednostek zagregowanych?
4. Czy zastosować heterogeniczną agregację i ile różnych typów i kategorii środków walki należy odwzorować?

2.3.2. Atrybuty jednostek powyżej ustalonego poziomu

W zagregowanej symulacji jednostki, które są wystarczająco duże, reprezentowane są jako indywidualne symulowane obiekty, mające swoją niezależną egzystencję (byt). Każda z nich posiada własny wektor atrybutów opisujący jej unikalny stan, możliwości, aktywność i percepcję pola walki. Lista kategorii atrybutów uwzględnianych w procesie symulacji jest pewnym wskaźnikiem funkcjonalności modelu oraz stopnia detalizacji w odwzorowaniu pola walki. Poniżej przedstawiono atrybuty, które są najczęściej używane do reprezentacji jednostek:

- Typ jednostki - rozróżnia rodzaje i wielkości jednostek walczących i nie biorących bezpośredniego udziału w walce;

- Położenie – informacja o położeniu, orientacji, drodze przemieszczania, prędkości przesunięcia, obiekty docelowe itp.;
- Zadanie – kategoria zadania, rodzaj walki, stan gotowości do walki itp.;
- Organizacja dowodzenia – identyfikacja nadrzędnych (przełożonego) i podrzędnych (podporządkowanych) jednostek dla obiegu informacji;
- Etatowe wyposażenie jednostek (stan etatowy) – ilościowa i jakościowa lista środków rażenia, w które wyposażona jest dana jednostka;
- Aktualny stan wyposażenia - lista przetrwałych środków rażenia danej jednostce;
- Stan logistyczny – dostępna amunicja i inne kategorie zaopatrzenia, identyfikacja magazynów, które mogą być wykorzystane przez daną jednostkę;
- Stan wiedzy związanej z polem walki – opis sposobu oddziaływania na jednostki przeciwnika i własne, opis terenu, przeszkód itp.

2.3.3. Reprezentacja pola walki

W zagregowanej symulacji jedną z najważniejszych funkcji modelu terenu pola walki jest realizacja wpływu na plan przegrupowania i przemieszczania jednostek lądowych. W tego typu modelach teren charakteryzowany jest przez wiele współczynników mających wpływ na proces przemieszczania. Natomiast dla sił powietrznych szczególnie istotny jest również stan pogody.

W reprezentacji pola walki w zagregowanych modelach należy zwrócić uwagę na następujące problemy:

1. Jakie charakterystyki terenu powinny być odwzorowane i jak modelowane?
2. W jaki sposób i na jak wielkie obszary należy podzielić teren do odwzorowania sektorów odpowiedzialności dla różnych jednostek:?
3. Jaki jest wpływ terenu na procesy walki?
4. Czy procesy walki wpływają na charakterystykę terenu (np. czy brygada lub droga może być niszczona przez ogień artylerii)?
5. W jaki sposób pogoda, widoczność i inne mniej znaczące czynniki wpływają na procesy walki?
6. W jaki sposób reprezentowane jest zaplecze, głęboko położone cele, lotniska, itp. ?

2.3.4. Zaawansowany mechanizm czasu

Zagregowane modele symulacyjne są zwykle modelami dynamicznymi, ponieważ symulują upływ czasu. Po upływie symulowanego kwantu czasu, następuje aktualizacja stanu zmiennych modelu. Reprezentacja upływu czasu jako mechanizmu symulacji jest jedną z najważniejszych charakterystyk modelu. Zmienną niezależną podczas symulacji jest bieżący czas symulacji zwany często czasem systemowym. Minimalny przyrost jego wartości w eksperymencie symulacyjnym jest równy przyjętej jednostce. Czas jest zatem zmienną dyskretną, przyjmującą wartości ze zbioru liczb naturalnych. Nie stanowi to jednak istotnego ograniczenia z punktu widzenia dokładności odwzorowania badanego procesu, gdyż wartość kwantu czasu rzeczywistego przyporządkowana jednostce czasu systemowego ustala użytkownik. Istnieje zatem możliwość odtwarzania badanych procesów z dowolną dokładnością.

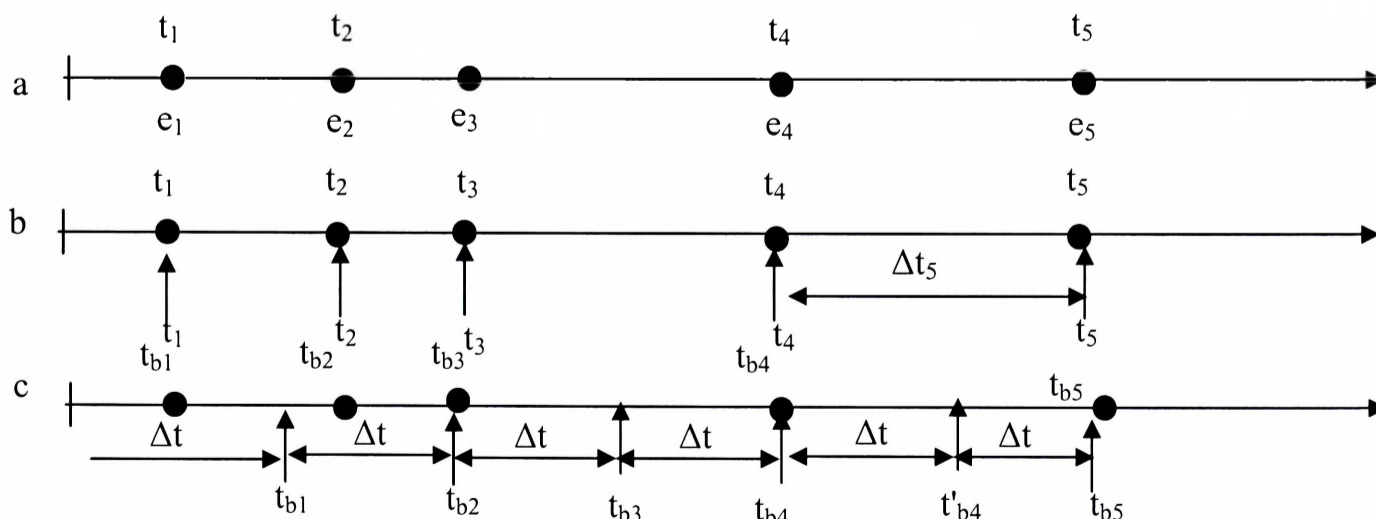
W modelach symulacyjnych wyróżnić można następujące modele upływu czasu:

- Stałego kroku zwanego również przyrostem czasu;
- Wielokrotność stałego kroku;
- Harmonogram (kalendarz) zdarzeń - kolejnych zdarzeń;
- Synchronizacja do czasu rzeczywistego.

W metodzie kolejnych zdarzeń po zajściu określonego zdarzenia czas systemowy jest zwiększany do chwili, w której zaplanowane zostało w oparciu o funkcję planującą zajście kolejnego zdarzenia.

W metodzie stałego przyrostu czas systemowy zwiększany jest o ustaloną, w danym eksperymencie symulacyjnym stałą wartość, po czym realizowane są zdarzenia, których zajście zostało zaplanowane w przedziale czasu odpowiadającym temu przyrostowi.

Przyrost czasu systemowego w przypadkach wyróżnionych metod ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Zasady realizacji przyrostu czasu systemowego

- a. chwile zajścia kolejnych zdarzeń;
- b. przyrosty czasu w metodzie kolejnych zdarzeń;
- c. przyrosty czasu w metodzie stałego przyrostu.

Oznaczenia:

e_1, e_2, \dots - zdarzenie elementarne (zmiana stanu elementu systemu):

t_i - kolejne wartości czasu systemowego, w których zaplanowano zmiany stanu modelu symulacyjnego ;

t_{bi} - kolejne wartości czasu systemowego, w których nastąpiły (zrealizowano) zmiany stanu modelu symulacyjnego.

W przypadku metody kolejnych zdarzeń bieżący czas systemowy przyjmuje wartości zaplanowanych chwil zajścia kolejnych zdarzeń

$$t_{bi} = t_i, \quad i = 1, 2, \dots, i$$

W chwili t_b realizowane są dwa zdarzenia e_4 i e_5 . Kolejne przyrosty czasu są równe:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1}, \quad i = 1, 2, \dots$$

Czas każdorazowo jest zwiększany do chwili zajścia najbliższego zdarzenia, po czym następuje realizacja tego zdarzenia (lub zdarzeń). Stąd też nazwa metody. W metodzie stałego kroku czas systemowy przyjmuje wartości $t_{bi} = i * \Delta t$.

Kolejne wartości czasu systemowego zdeterminowane są wartością przyrostu Δt i nie zależą od chwil zmian stanu modelu symulacyjnego (występowania zdarzeń).

Zauważmy, że w przedziale czasu:

$(0, t'_{b_1}]$ - zaszło zdarzenie e_1 ;

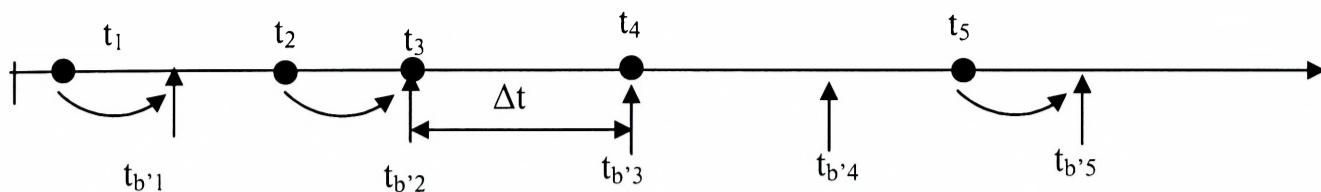
$(0, t'_{b_2}]$ - zaszło zdarzenie e_2 i e_3 ;

$(0, t'_{b_3}]$ - zaszło zdarzenie e_4 i e_5 ;

$(0, t'_{b_4}]$ - nie żadne zaszło zdarzenie;

$(0, t'_{b_5}]$ - zaszło zdarzenie e_6 ;

Zdarzenia zachodzące w odstępach między kolejnymi przyrostami są traktowane jako zdarzenia równoczesne i są przetwarzane grupowo, występuje przesuwanie w czasie realizacji zdarzeń w stosunku do czasu zaplanowanego



Rys. 4. Przesuwanie w czasie realizacji zdarzeń w metodzie stałego przyrostu

Wartość przyrostu Δt należy ustalać bardzo rozważnie. Niewłaściwy dobór może doprowadzić do absurdalnych wyników symulacji.

Przyjęcie zbyt dużego przyrostu czasu systemowego w stosunku do dynamiki zmian stanów powoduje małą dokładność estymacji charakterystyk czasowych procesu w oparciu o model symulacyjny. Małe przyrosty czasu systemowego wydłużają z kolei czas trwania eksperymentu symulacyjnego.

Metoda stałego kroku zarządzania czasem jest szczególnie odpowiednia dla modeli przeznaczonych dla wyższych szczebli dowodzenia. Wadą takiego podejścia jest jednak to, że traci się sekwencję krytycznych zdarzeń. W modelach symulacyjnych na poziomie strategicznym jako wielkość kroku często przyjmuje się jeden dzień. Najczęściej jednak w modelach symulacyjnych długość kroku jest zmienną wejściową modelu.

Metoda wielokrotności stałego kroku pozwala na realizację eksperymentu symulacyjnego za czas $n \cdot \Delta t$ (wielokrotną aktualizację stanu zmiennych modelu).

W wielu modelach symulacyjnych zaimplementowane jest najbardziej elastyczne rozwiązanie czasu systemowego, a mianowicie czasu którego wielkość wyzwalają zdarzenia zachodzące w systemie lub w scenariuszu.

Zwykle zdarzenia są klasyfikowane na kategorie:

- *zdarzenia systemowe* - typy zdarzeń reprezentujących zdarzenia zachodzące w systemie symulowanym;
- *zdarzenia programowe* - zdarzenia związane z realizacją programu symulacyjnego;
- *zdarzenia pewne* - takie zdarzenia systemowe, które raz zaplanowane nie może być zakłócone w jakikolwiek sposób przez wystąpienie innego zdarzenia systemowego;
- *zdarzenia niepewne (możliwe)* - jeśli którekolwiek ze zdarzeń typu systemowego może zostać opóźnione, anulowane lub zmienione przez wystąpienie innego zdarzenia systemowego;

Klasyfikacja typów zdarzeń na pewne i możliwe służy do wyróżnienia tych zdarzeń, które muszą być traktowane w specjalny sposób przy obsłudze kalendarza przyszłych zdarzeń. Musi być zapewniona możliwość usuwania z kalendarza zapisów dotyczących zdarzeń niepewnych bez ich przetwarzania.

Przy przetwarzaniu niektórych typów zdarzeń, pełne określenie wyniku wymaga podjęcia pewnych decyzji, podczas gdy inne typy takich decyzji nie wymagają. Pierwsze typy nazywa się *decyzyjnymi* typami zdarzeń, drugie zaś *bezdecyzyjnymi*.

Ważnym problemem, szczególnie w symulacji metodą kolejnych zdarzeń, jest koordynacja czasowa zdarzeń. Wystąpienia zdarzeń można traktować jako zdarzenia o zerowym czasie trwania oddzielone przedziałami czasu. Analiza przedziałów czasowych oddzielających wystąpienia zdarzeń zwykle sprowadza się do odpowiedzi na pytanie czy przedział czasowy jest zerowy, czy też nie. Jeśli dwa zdarzenia oddzielone są przez niezerowy przedział, to zawsze zdarzenie o wcześniejszym czasie wystąpienia zostanie obsłużone przez program symulacyjny przed przetworzeniem wystąpienia późniejszego. Gdy dwa zdarzenia oddzielone są zerowym przedziałem, tzn. jeśli są one jednoczesne, to powstaje pytanie, które z nich przetworzyć w pierwszej kolejności. Problem ten można rozwiązać tylko przez określenie (podanie programowi) pewnych reguł pozwalających na ustalenie kolejności przetwarzania zdarzeń występujących jednocześnie. Jeśli zachodzi potrzeba, to możliwe jest dołączanie elementów losowych do reguł porządkowania kolejności takich zdarzeń.

W organizacji modelu według metody kolejnych zdarzeń, zdarzenia mogą oddziaływać na siebie dwoma sposobami:

- zdarzenie może być przyczyną zdarzenia wygenerowania (zaplanowania) innego zdarzenia w przyszłości;
- zdarzenie może spowodować anulowanie (wykreślenie z planu) zdarzeń zaplanowanych wcześniej;
- nie generować ani nie anulować żadnych zdarzeń przyszłych;
- generować, jak i anulować zdarzenia przyszłe.

Sposób w jaki zdarzenia oddziałują na siebie, ma istotne znaczenie dla określenia charakteru symulacji. Aby kompletnie i poprawnie opisać wszystkie możliwe wzajemne oddziaływania zdarzeń podczas symulacji potrzebny jest zwykle mechanizm systematycznego ich wyznaczania.

Umieszczenie zdarzenia w kalendarzu (harmonogramie) oznacza jego zgłoszenie. Zgłoszenia zdarzeń reprezentują pewien zapis harmonogramowy i mogą powstać w dwojaki sposób:

- zapis może być wygenerowany przez moduł obsługi zdarzeń stanowiący element programu symulacyjnego, a następnie zapamiętany w celu późniejszego wykorzystania;
- zapis harmonogramowy można wprowadzić do programu symulacyjnego jako daną.

Wśród zdarzeń charakterystycznymi są zdarzenia *niepewne* oraz zdarzenia *decyzyjne*. Zdarzenia niepewne w przeciwieństwie do zdarzeń pewnych (dla których można dokładnie przewidzieć łańcuch zdarzeń w przyszłości) zachodzą z pewnym prawdopodobieństwem. Mogą zatem zaistnieć okoliczności, w których łańcuchy zawierające zdarzenie niepewne będą przerwane w wyniku na przykład anulowania tych zdarzeń.

Wystąpienie zdarzenia decyzyjnego wymaga podjęcia decyzji w celu pełnego określenia wyniku zdarzenia. W konkretnym modelu decyzje związane z takim zdarzeniem są generowane przez moduł obsługi zdarzenia, który przetwarza zdarzenia tego typu. Potrzebne do obsługi zdarzenia dane zawarte są w opisie stanu systemu (w chwili podejmowania decyzji). Na podstawie tych danych moduł obsługi zdarzenia wykonuje sekwencję testów i wybiera jedną z możliwych wariantów wybrany jest wynikiem decyzji. Nawet decyzje stosunkowo proste wymagają niekiedy dużej liczby testów i porównań oraz dużej liczby danych opisujących stan symulowanego systemu.

Porównując przedstawione metody zarządzania czasem podczas eksperymentu symulacyjnego można stwierdzić, że:

- metoda przyrostu czasu może mieć istotny wpływ na przebieg eksperymentu symulacyjnego i poprawność wyników modelu. Jeżeli przyrost czasu w tej metodzie jest dostatecznie duży, to może ona przebiegać znacznie szybciej, jednak tym mniej dokładna jest aproksymacja dokonywana przez model;
- metoda kolejnych zdarzeń pozwala na znaczne skrócenie czasu trwania eksperymentu symulacyjnego w stosunku do metody stałego przyrostu w przypadkach, gdy występuje duży rozrzut odstępu czasu między kolejnymi zdarzeniami. W tej metodzie upływ czasu jest związany z występowaniem zdarzeń;
- efektywność metody stałego przyrostu wzrasta ze wzrostem złożoności badanego systemu.

2.3.5. Procesy realizowane w jednostkach zagregowanych

2.3.5.1. Procesy dowodzenia i kierowania

Modelowanie procesów dowodzenia i kierowania jest szczególnie istotne w tego typu modelach. Najwyższe szczeble dowodzenia, które są odpowiedzialne za gromadzenie i dystrybucję informacji z rozpoznania, położeniu przeciwnika, planowanych działaniach nie są symulowane w tego typu modelach.

W zagregowanych modelach walki stosuje się dwa główne podejścia do rozwiązania tego problemu:

1. Modele zawierające automaty decyzyjne do wykonywania funkcji dowodzenia i kierowania poprzez zastosowanie odpowiednich procedur wewnętrznych modelu;
2. Modele, w których procesy te wspomagane są poprzez gracza podczas realizacji procesu symulacji.

W każdej kategorii istnieją różne warianty, które są kombinacją (pochodnymi powyższych). Modele zawierające automaty decyzyjne nie są proste w zastosowaniu, gdyż znane są przypadki podejmowania „głupich decyzji”.

Podczas modelowania tych procesów należy rozwiązać następujące problemy:

1. Jakie decyzje są reprezentowane na każdym szczeblu sił?
2. Jak metodyka jest zastosowana do symulacji podejmowania decyzji?
3. Czy procesy decyzyjne mogą modelować przetwarzanie informacji i procedury planowania realizowane przez sztab, który podejmuje decyzje, czy tylko otrzymuje rezultaty podjętych decyzji?
4. Dla których procesów decyzyjnych, jaki stan zmiennych jest wejściowym, jaki stan jest wynikiem wykonywania się procedur modelu?
5. Czy stan zmiennych rozważanych w procesie decyzyjnym jest wyliczany przez model czy są one zdeterminowane przez dane wejściowe wprowadzane przez użytkownika?
6. Jak elastyczny jest proces wprowadzania i zmian decyzyjnych reguł zarówno przed jak i po wykonaniu symulacji?
7. Dla decyzji podejmowanych przez człowieka, czy proces symulacji zostanie zatrzymany w oczekiwaniu na sformułowanie decyzji, czy kontynuowany ze względu na ograniczenia (wymuszenia) czasowe?

8. Jak jest zorganizowany proces komunikacji na każdym szczeblu dowodzenia w modelu?
9. Jak procesy komunikacji są modelowane (błędy, zatory, opóźnienia, walka elektroniczna, rezultaty otrzymania bądź nieotrzymania wiadomości, itp.)

2.3.5.2. Procesy przemieszczania (ruchu)

Procesy przemieszczania należą do podstawowych w każdym modelu walki. W zagregowanych modelach przemieszczają się jednostki zagregowane i szczególną uwagę zwraca się na następujące kwestie:

1. Gdzie jednostka powinna się przemieszczać? - Wybór obiektu w kierunku, którego się przemieszcza lub drogi do obiektu, jest zwykle częścią scenariusza lub stanowi wyście z modelu dowodzenia i kierowania.
2. Jak szybko jednostka może się poruszać? – Prędkość jest zwykle funkcją warunków terenowych oraz sytuacji na polu walki.

Podczas analizy procesu ruchu należy bierze się pod uwagę następujące kwestie:

1. Jakie są modele ruchu jednostek?
2. Jak wyznaczana jest droga przemieszczania oraz obiekt docelowy?
3. Jakie wskaźniki rozważane są podczas selekcji dostępnych dróg?
4. Czy kierunki ruchu są określane arbitralnie, czy określane wewnątrz modelu?
5. Kiedy aktualizowane jest położenie jednostek?
6. Jak wyznaczana jest prędkość ruch zarówno dla jednostek zaangażowanych i niezaangażowanych w walce?

2.3.5.3. Procesy rozpoznania i przydziału celów

Przydział poszczególnych celów dla ognia bezpośredniego w walce łączy się ściśle z modelem strat. Na szczeblu dywizji i powyżej obszar rozpoznania jest stosunkowo duży, dlatego w modelach zagregowanych informacja z rozpoznania pozyskiwana jest z modułu dowodzenia i kierowania i jest podstawą do wykonywania uderzeń na cele przeciwnika.

Podczas analizy procesów rozpoznania rozważa się następujące kwestie:

1. Jak reprezentowane są źródła danych z rozpoznania?
2. Czy dane z rozpoznania są modelowane explicitly? Czy podlegają procesom niszczenia?
3. Jak model interpretuje niepełną i niepewną informację z rozpoznania?

4. Czy jak niepełna informacja powoduje błędy i opóźnienia czasowe?
5. Jak reprezentowane jest kojarzenie informacji z różnych źródeł rozpoznania?
6. Jak przetwarzane są dane z rozpoznania pozyskiwane z sytuacji na polu walki?
7. Jaki jest obieg informacji z rozpoznania, kto otrzymuje raporty?

2.3.5.4. Procesy niszczenia

Procesy zaangażowania w walkę i niszczenia są najważniejszymi w każdym modelu walki. W modelach zagregowanych można wyróżnić dwie kategorie odwzorowania procesów niszczenia:

- w jednostkach manewrowych, zarówno ogień pośredni jak i bezpośredni oraz cele są bardzo liczne, ale muszą być agregowane w większą symulowaną jednostkę ;
- jednostki artylerii oraz raketowe (z racji swej natury) do modelowania niszczenia i zaangażowania, reprezentowane są na poziomie elementarnym, tak samo jak w modelach o wysokim stopniu detalizacji (*high resolution*).

Procesy niszczenia w modelach zagregowanych odwzorowane (realizowane) są poprzez matematyczne modele oszacowania strat.

Podczas analizy procesów niszczenia bierze się pod uwagę następujące kwestie:

1. Jak model rozpoczyna oddziaływanie oraz jak określa, na które jednostki ma być skierowane oddziaływanie?
2. Jaki jest mechanizm kończenia oddziaływania?
3. Jaka podstawowa technika jest zastosowana do oszacowania rezultatów oddziaływania (dla każdego typu środków rażenia)?
4. Jak modelowany jest podział ognia pomiędzy poszczególnymi systemami?
5. Jak reprezentowane są kategorie zabijania (niszczenia)?
6. Jak reprezentowane są efekty oddziaływania na systemy i cele nie biorące udziału w walce takie jak lotniska, mosty, stanowiska dowodzenia?
7. Czy reprezentowane jest użycie broni chemicznej i nuklearnej?
8. Czy procesy ogniowe limitowane są dostępnością amunicji?

2.3.5.5. Procesy przydzielania i zaangażowania sił powietrznych

Zaangażowanie sił powietrznych w zagregowanych modelach walki rozpatrywane jest najczęściej w aspekcie jego użycia w operacjach lądowych, czyli wsparcia jakiego mogą udzielić jego komponenty poprzez uderzenia na cele naziemne.

Podczas analizy tego typu procesów bierze się pod uwagę następujące kwestie:

1. Jakie podstawowe jednostki sił powietrznych są odwzorowane oraz jaki jest poziom ich agregacji?
2. Jakiego rodzaju zadania są możliwe do realizacji?
3. Na czym polega logika podejmowania decyzji dotyczącej rozmieszczenia lotnictwa do wykonywania zleconych zadań?
4. Czy symulowane są indywidualne, szczegółowe zadania, czy jest agregacja w kategoriach zadań?
5. Jak są wyliczane efekty oddziaływania lotnictwa (powietrze – ziemia, ziemia – powietrze, powietrze –powietrze)?
6. Jak realizowane jest zarządzanie siłami powietrznymi?

2.3.5.6. Procesy logistyczne

Procesy logistyczne są bardzo ważne szczególnie w długo trwających kampaniach symulowanych w modelach walki. Modele walki wysokiego szczebla są właściwym miejscem do rozważania kwestii zaopatrzenia, odtwarzania, napraw, transportu i długo trwającego zasilania (podtrzymywania) walki.

Logistyczne zadania są stosunkowo proste do modelowania, ponieważ mają one charakter jednostronny. Logistyczna infrastruktura może bronić się i raczej ma charakter obronny i pasywny. Rozmieszczenie dostępnego zaopatrzenia jednostek walczących jest bardzo ważnym aspektem działań logistycznych.

Podczas rozpatrywania procesów logistycznych w modelach walki bierze się pod uwagę następujące kwestie:

1. Jak reprezentowane są jednostki logistyczne, jak głęboko są rozmieszczone od strefy walki?
2. Jakie klasy zaopatrzenia są odwzorowane?
3. Na jakim poziomie jednostki każdej klasy zaopatrzenia jest monitorowana?
4. Na jakim poziomie monitorowane jest zużycie i jak jest wyliczane?

5. Na jakim poziomie jest modelowane odtwarzanie?
6. Czy zadania zaopatrzenia (dostaw) są explicitnie modelowane, czy dostawy są przedmiotem niszczenia?
7. Jakie procesy podejmowania decyzji logistycznych są odwzorowane; Jak podejmowane są decyzje?
8. Jakie są efekty odpoczynków i niedoborów w każdej klasie odwzorowanego zaopatrzenia?

2.4. Modele procesów walki i ruchu

2.4.1. Reprezentacja pola walki w modelach zagregowanych

W zagregowanych modelach walki szczegółowość reprezentacji terenu nie jest wymagana, natomiast istotne są charakterystyki terenu takie jak np. przejezdność, czy możliwa jest ruch poza drogami, z jaką prędkością itp. Atrybuty terenowe mają również wpływ na procesy niszczenia jednostek. W modelach zagregowanych teren reprezentowany jest dwoma sposobami:

Modele z regularną siatką

Modele z regularną siatką pokrywającą powierzchnię pola walki, którą tworzą regularne komórki terenu. Każda komórka jest opisana stosownymi atrybutami. Rozmiar każdej komórki (oczka siatki) wynosi od 1 do 20 km a dane opisujące komórkę są mocno zagregowane. Rozmiar komórki jest tak dobierany, aby odpowiadał powierzchni podstawowej jednostki w modelu walki. Opis komórki terenu jest niezależny od scenariusza, zatem np. dane dotyczące ruchu muszą być jako wejściowe lub pozyskane z modelu dowodzenia i kierowania. Tego typu model jest szczególnie właściwy dla interaktywnej współpracy z graczami.

Sektorowe modele terenu

Sektorowy model terenu to taki, w którym rejon działań bojowych podzielony jest na sektory odpowiedzialności. Sektory te mają nieregularne kształty o zmiennej wielkości. Wielkość i kształt sektorów przede wszystkim zależy od planu użycia sił w walce. Wewnątrz sektora model zapamiętuje wartości atrybutów dla każdego epizodu walki. Tego typu model

terenu jest ściśle związany ze scenariuszem i organizuje walkę odpowiednio do predefiniowanego planu.

Statystyczny model terenu

Statystyczny model terenu nie zawiera (nie odwzorowuje mapy terenu pola walki) lecz posiada ustawione parametry opisujące typowe klasy terenu. Każda klasa terenu definiuje parametry prawdopodobieństwa widoczności, procent przemieszczania i wpływu efektów użycia broni (środków rażenia).

W poszczególnych etapach procesu symulacji (np. gdy jednostka lądowa jest inicjowana, gdy szacowane są efekty użycia artylerii lub gdy jednostka przemieszcza się) konkretny typ terenu jest przyjmowany drogą losowania. Do oszacowania wpływu terenu na przebieg procesu symulacji przyjmowane są wtedy odpowiednie parametry.

Model sieciowy

Tego typu model jest szczególnie używany do modelowania ruchu sił walczących oraz zaopatrzenia. Węzły sieci reprezentują fizyczne położenia na mapie pola walki. Natomiast luki sieci odwzorowują możliwe ścieżki ruchu pomiędzy węzłami, takie jak drogi, linie kolejowe, itp. Każdy węzeł oraz łuk jest opisany atrybutami, które określają np. pojemności transportu, szybkość poruszania się jednostek, długość, itp. Jedną z ważniejszych zalet tego typu modelu jest możliwość stosowania algorytmów optymalizujących np. problem najkrótszej drogi.

2.4.2. Modele ruchu dla zagregowanych jednostek

Modele ruchu w zagregowanych modelach walki są odpowiedzialne za trzy aspekty przemieszczania się jednostek:

1. Przeznaczenie ruchu (punkt docelowy) dla każdej jednostki;
2. Droga, którą będzie przemieszczać się jednostka;
3. Prędkość na każdym odcinku drogi.

Wybór punktu docelowego jest w większości przypadków określany w scenariuszu. Informacje ze scenariusza są przesyłane do modelu różnymi sposobami:

- W symulacji opartej na sektorowym modelu terenu, informacja scenariusza jest wbudowana w reprezentację pola walki. Każda jednostka jest przydzielana do konkretnego

sektora, wtedy przeznaczeniem do manewru jednostki jest linia styczności wewnątrz sektora, a przeznaczeniem dla pozostałych jednostek (jak np. artyleria) jest linia styczności w sektorze najbliższym. Droga jest zwykle linia prosta.

- W innych modelach jednostki posiadają obiekty (punkty) docelowe i drogę. Proces ruchu aktualizuje położenie jednostki stosownie do upływu czasu.

Obie metody mają wady dlatego też użytkownicy muszą redefiniować dane wejściowe aby osiągnąć oczekiwane dane wyjściowe.

W tego typu modelach prędkość dla jednostek jest wyliczana przy pomocy stosunkowo prostych formuł. Maksymalna prędkość jednostki w różnych warunkach jest częścią danych wejściowych modelu ruchu. Prędkość efektywna danej jednostki zależy od wielu warunków do których należą:

- Typ jednostki;
- Ukształtowanie i przejezdność terenu;
- Przeszkody i pola minowe
- Czy przemieszczanie odbywa się w walce, czy jest nie;
- Rodzaj zadania realizowanego w walce;
- Opór przeciwnika.

2.5. Modele walki Lanchestera

Modele walki Lanchestera odnoszą się do różniczkowych równań opisujących zmiany sił, wpływający czas, wielkość sił oraz inne zmienne opisujące procesy walki. Modele te wyrażają straty/ubytki wielkości sił oraz innych skojarzonych wielkości zmiennych w czasie walki.

Modele te mogą być stosunkowo proste, opisywane prostymi formułami oraz bardziej złożone, wymagające w celu rozwiązania, zastosowania różnorodnych analitycznych i symulacyjnych technik. Modele Lanchestera są używane do rozstrzygnięcia kto wygrywa walkę lub do udzielania odpowiedzi na bardziej kompleksowe pytania dotyczące taktyki użycia sił.

2.5.1. Różniczkowe modele walki Lanchestera

W literaturze przedmiotu znane są i powszechnie stosowane w systemach symulacyjnych walki różnorodne modele walki nazywane modelami Lanchestera, bazujące na zakresie i kompleksowości. Koncepcje te dotyczą:

- strat w funkcji wielkości sił i innych parametrów: f (wielkość siły, inne parametry);
- wielkości strat w funkcji czasu, zmienne $x(t)$, $y(t)$ i t są aproksymowane do wielkości dyskretnych;
- gdy rozważa się dwie przeciwstawne (opozycyjne) siły X i Y , gdzie:

$X(t)$ – wielkość siły X jako funkcja czasu;

$Y(t)$ – wielkość siły Y jako funkcja czasu.

Wielkość strat może być opisana jako para równań różniczkowych

$$\frac{dx}{dy} = f(x, y) \quad \frac{dy}{dx} = f(x, y)$$

W 1914 r. F.W. Lanchester, brytyjski wynalazca i inżynier sformułował model różniczkowy do obliczania wielkości strat dla specyficznych warunków walki. Jego celem było kwantytatywne uzasadnienie zasad koncentracji sił w walce zbrojnej. Lanchester sformułował hipotezę, że w minionych wojnach, walka była kolekcją pojedynków jeden na jeden, w których obie strony ponoszą od jednostek przeciwnej strony. Lanchester sformułował kilka modeli opartych na prostych równaniach różniczkowych do sprawdzenia tych hipotez przy zastosowaniu aparatu matematycznego.

Lanchester argumentował, że w modelu pojedynków jeden na jeden, dwie siły o równej wielkości i zdolności do walki powinno się oczekiwać takich samych strat. Jednakże w tego typu pojedynku, nie wszystkie siły X są zaangażowane do oddziaływania na siłę Y i odwrotnie. Tego typu model może być opisany następująco:

$$\frac{dx}{dt} = -a \quad \frac{dy}{dt} = -b$$

Jednostka X przeważa w walce z jednostką Y gdy $b > a$. Obie strony ponoszą straty, aż którakolwiek z nich osiągnie wartość zero, co oznacza koniec walki.

Zależność x i y może zostać wyznaczona równaniem

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{-b}{-a} = \frac{b}{a}$$

uwzględniając wartości początkowe x_0 i y_0 sił, otrzymamy

$$b[x_0 - x] = a[y_0 - y]$$

Badanie tego prostego modelu umożliwia uzyskanie informacji o dynamice walki.

2.5.1.1. Warunki prowadzenia walki zbrojnej

Klasyczny model Lanchestera zakłada zdolność prowadzenia ognia (wielu strzałów) do jednego celu.

Rozważając naturę nowoczesnej walki zbrojnej oraz jak koncentrację ognia jaka powinna być osiągnięta, Lanchester zbadał dwa najważniejsze przypadki w procesie walki ukierunkowanie oraz obszar ognia. Pierwszy, ukierunkowanie ognia, zakłada, że indywidualne cele są identyfikowane i atakowane przez pewną liczbę systemów ognia strony przeciwnej. Drugi przypadek rozważa sytuację, gdzie siły koncentrują swój ogień na głównym obszarze zajmowanym przez przeciwnika, a nie na innych jego celach.

Lanchester określił, że poziom strat x zależy jak y strzela do niego i podobnie poziom strat y zależy jak x na niego oddziałuje. Ujmując to przy pomocy równania otrzymamy

$$\frac{dx}{dt} = -ay \quad \frac{dy}{dt} = -bx$$

Gdzie: a - jest współczynnikiem poziomu strat wyrażonym formułą:

$$(\text{Straty X})/(\text{Siły Y}) \times (\text{czas})$$

b - (analogicznie) jest współczynnikiem poziomu strat wyrażonym formułą:

$$(\text{Straty Y})/(\text{Siły X}) \times (\text{czas})$$

Pierwotnym celem Lanchestera było rozwijanie aparatu matematycznego do wspomaganie taktycznych zasad koncentracji. Wartości współczynników strat (a i b) nie miały rzeczywistego znaczenia w jakościowej argumentacji. Jednakże wymagane jest od

modeli walki podanie rozsądnych ilościowych rezultatów walki. Zatem wartości numeryczne współczynników oddających naturę walki są ważne.

Używając modeli Lanchestera do modelowania walki można uzyskać odpowiedź na wiele pytań dotyczących walki pomiędzy dwoma siłami jak np.:

1. Kto będzie wygranym lub które siły będą unicestwione ?
2. Jaka wielkość sił gwarantuje wygraną?
3. Jaką wielkość sił będzie posiadał wygrany po zakończeniu walki?
4. Jak długo będzie trwała walka?
5. Jak zmienia się poziom sił w czasie walki?
6. Jak zmiany parametrów {np. wartości początkowe sił (x_0 i y_0) lub współczynników strat (a i b)} wpływają na wynik walki?
7. Czy koncentracja sił jest dobrą taktyką?

Wiele formuł matematycznych poszukuje odpowiedzi na te pytania, które są przedmiotem różnorodnych interpretacji, natomiast odpowiedzi na bardziej specyficzne pytania może udzielać model bardziej kompleksowy, oparty o większą liczbę parametrów.

2.5.1.2. Kwadratowy model walki Lanchestera

Lanchester zakłada, że walka pomiędzy jednorodnymi siłami może być modelowana jako:

$$\frac{dx}{dy} = -ay \quad \text{gdzie} \quad x(0) = x_0$$

$$\frac{dy}{dx} = -bx \quad \text{gdzie} \quad x(0) = y_0$$

Równania są właściwe tylko, gdy zarówno $x(t)$ oraz $y(t)$ są dodatnie. Bazując na tych równaniach różniczkowych, można je przekształcić do takiej postaci, która pokaże kto wygrywa walkę, wielkość sił oraz czas trwania walki.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{ay}{bx} = \frac{dx}{dy} \frac{dy}{dt}$$

Separując zmienne, $bx dx = ay dy$ i integrując obie strony otrzymamy

$$bx^2 + c_1 = ay^2 + c_2$$

dodając warunki początkowe

$$b(x_0^2 - x^2) = a(y_0^2 - y^2)$$

Zatem przyjmując wartość a i b dla x i y jest możliwe rozwiązanie równania. Jednakże, co warto odnotować, że z równania nie otrzymamy informacji dana wielkość sił jest osiągnięta.

Wielkość sił jako funkcja czasu

$$x(t) = \frac{1}{2} \left(\left(x_0 - \sqrt{\frac{a}{b}} y_0 \right) e^{t\sqrt{ab}} + \left(x_0 + \sqrt{\frac{a}{b}} y_0 \right) e^{-t\sqrt{ab}} \right)$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \left(\left(y_0 - \sqrt{\frac{b}{a}} x_0 \right) e^{t\sqrt{ab}} + \left(y_0 + \sqrt{\frac{b}{a}} x_0 \right) e^{-t\sqrt{ab}} \right)$$

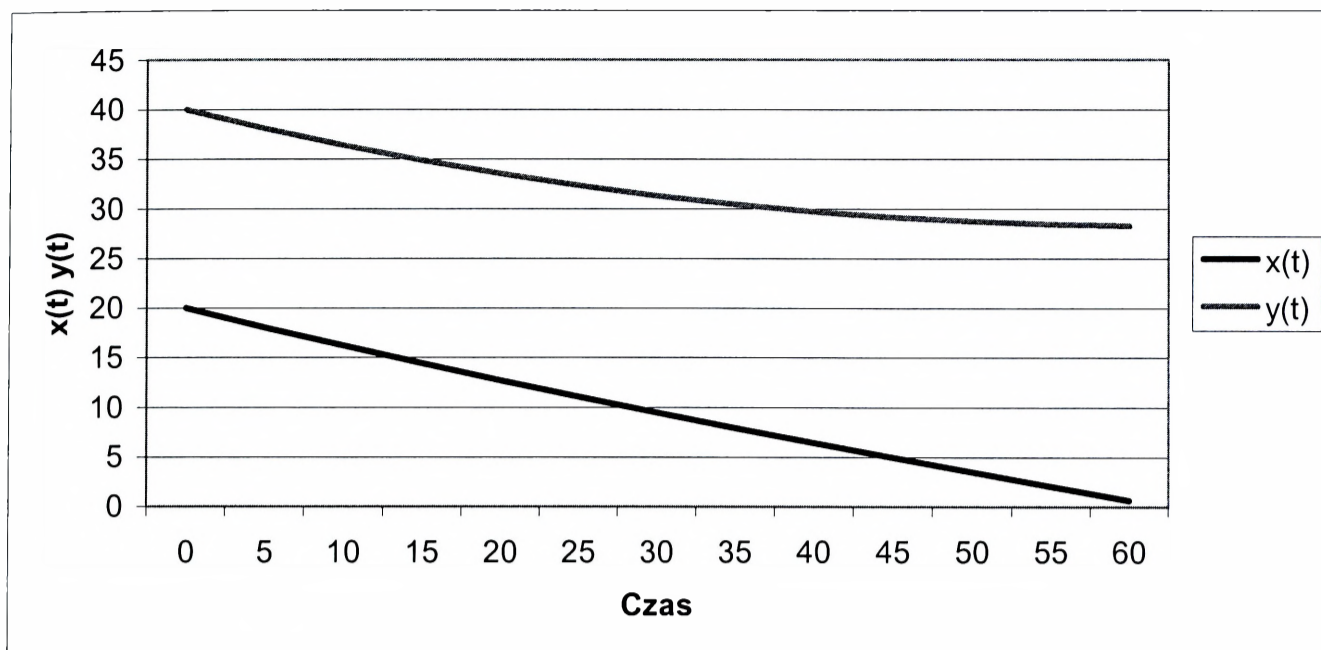
Weryfikacja tych równań może być zrealizowana poprzez obserwację, że $x(0)$ i $y(0)$ posiadają wymagane wartości.

Przykład 1.

Poniższe wykresy pokazują $x(t)$ oraz $y(t)$ dla przypadku gdy:

$A=0.01$, $b=0.02$, $x_0=20$ i $y_0=40$.

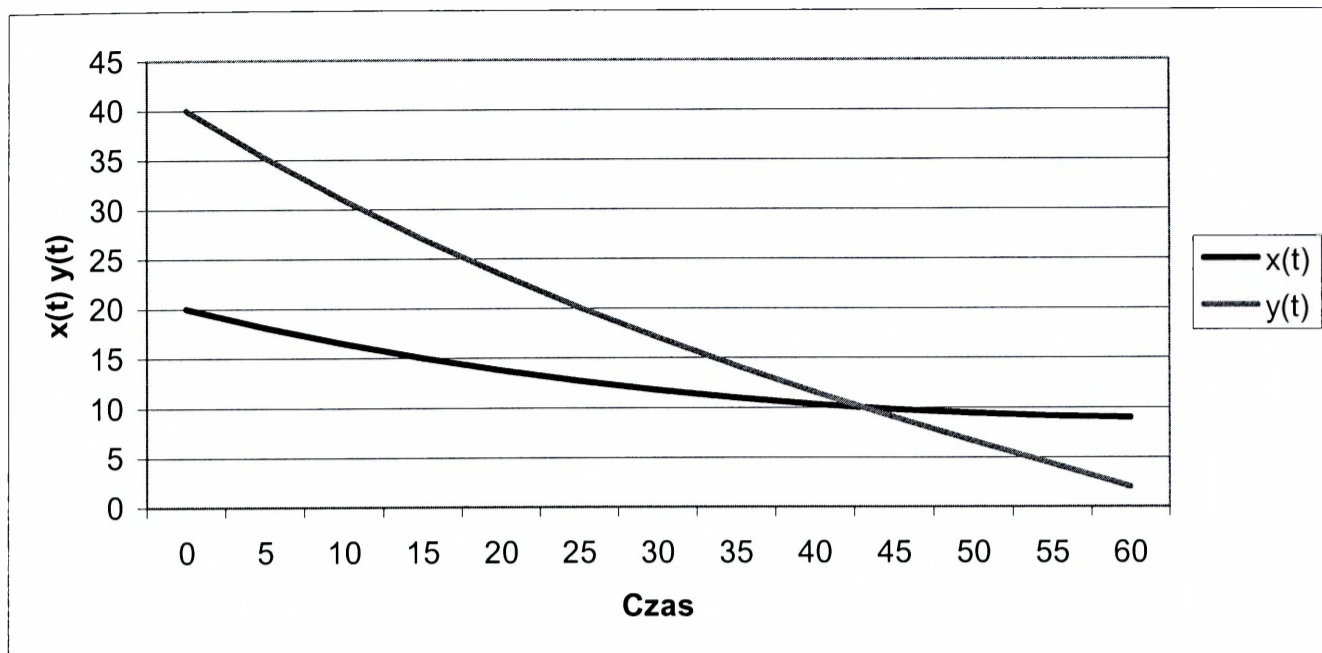
t	x(t)	y(t)
0	20	40
5	18,04835	38,09837
10	16,18699	36,38732
15	14,40659	34,85828
20	12,69825	33,5036
25	11,05344	32,31651
30	9,463909	31,29107
35	7,921721	30,42215
40	6,419158	29,70541
45	4,948704	29,13725
50	3,503004	28,71484
55	2,074826	28,43607
60	0,657027	28,29953



Rys. 5. Kwadratowe równania Lanchestera, gdzie x przegrywa z y.

Dla tych samych warunków, gdy b wzrasta do 0.05

t	x(t)	y(t)
0	20	40
5	18,12096	35,23984
10	16,46867	30,92063
15	15,02245	26,98834
20	13,76421	23,39375
25	12,6782	20,09188
30	11,75083	17,04143
35	10,9705	14,20422
40	10,32745	11,54475
45	9,813624	9,02973
50	9,422595	6,627705
55	9,149471	4,308612
60	8,990836	2,043432



Rys. 6. Kwadratowe równania Lanchestera, gdzie y przegrywa z x .

2.5.1.3. Wyniki oraz czas trwania walki

Do określenia kto wygra walkę niezbędna jest specyfikacja warunków, które te walkę determinują. Zakładając, że strona x podda się lub zostanie zniszczona, inaczej jeżeli $x(t)$ zmniejszy się do x_{BP} , gdzie np. $x_{BP} < x_0$, i podobnie dla strony $y(t)$ i y_{BP} . Rozstrzygnięcie walki następuje gdy $x(t) = x_{BP}$ i $y(t) > y_{BP}$ co czyni wygraną stronę $y(t)$ lub gdy $y(t) = y_{BP}$ i $x(t) > x_{BP}$ co oznacza, że wygraną jest $x(t)$.

Przypadek, gdy Y wygrywa:

Odkąd X przegrywa, liczba ocalałych Y może być wyliczona z poniższego równania przy założeniu $x = x_{BP}$

$$b(x_0^2 - x_{BP}^2) = a(y_0^2 - y_f^2)$$

$$y_f = \sqrt{y_0^2 - \frac{b}{a}(x_0^2 - x_{BP}^2)}$$

Zakładając, że $y_f > y_{BP}$. Kryterium dla strony y do wygrania walki jest następujące

$$b(x_0^2 - x_{BP}^2) < a(y_0^2 - y_f^2)$$

Lewa i prawa strona tego równania może być nazywana „granicą walki” dla dwóch stron. Należy zauważyć, że liczba uczestników strony jest w zależności kwadratowej, a współczynnik siły ognia nie. Wynika stąd, że w kwadratowym równaniu walki jest bardzo lepiej jest posiadać dużo jednostek niż jedną, silną jednostkę walki. Intuicyjnie, dodając jedna jednostkę do równania, uzyskamy dwa cele: jednostka ta oddziałuje na przeciwnika i dodatkowo jednocześnie osłabia ogień przeciwnika przeciwko tej jednostce.

Natomiast zwiększając współczynnik siły zrealizujemy tylko pierwszy cel. Czas trwania walki może być określony poprzez rozwiązanie poniższego równania dla t gdy $x(t) = x_{BP}$

$$x(t) = \frac{1}{2} \left(\left(x_0 - \sqrt{\frac{a}{b}} y_0 \right) e^{t\sqrt{ab}} + \left(x_0 - \sqrt{\frac{a}{b}} y_0 \right) e^{-t\sqrt{ab}} \right)$$

przyjmijmy, że $z = \exp(-t\sqrt{ab})$. Zatem $1/z = \exp(t\sqrt{ab})$ i powyższe równanie staje się równaniem kwadratowym ze względu na z . Rozwiązaniem dla którego $0 < z \leq 1$ jest

$$z = \frac{\sqrt{b(x_{BP}^2 - x_0^2) + ay_0^2} + \sqrt{b}x_{BP}}{\sqrt{b}x_0 + \sqrt{a}y_0}$$

Czas t w którym, $x(t)$ jest x_{BP} jest

$$t = -\ln(z) / \sqrt{ab}$$

Dla przykładu przypuśćmy, że $a=0.01/\text{dzień}$, $b=0.02/\text{dzień}$, $x_0=20$, $y_0 = 40$ oraz $x_{BP}=y_{BP}=0$. Wtedy $z=0.4142$, $t=62.32$ dni i $y_f=28.28$. Pomimo posiadania gorszych jednostek ($a < b$), Y wygrywa z większością nienaruszonych swoich sił.

Przypadek, gdy X wygrywa

Jeżeli $b(x_0^2 - x_f^2) > a(y_0^2 - y_{BP}^2)$

Wtedy $y(t)$ osiągnie wartość y_{BP} przed $x(t)=x_{BP}$ dlatego X wygrywa. Liczba x - ocalałych wynosi:

$$x_f = \sqrt{x_0^2 - \frac{a}{b}(y_0^2 - y_{BP}^2)}$$

Rozwiązując równanie kwadratowe z $y(t)=y_{BP}$ dla z jak powyżej, otrzymamy

$$z = \frac{\sqrt{a(y_{BP}^2 - y_0^2) + bx_0^2} + \sqrt{a}y_{BP}}{\sqrt{a}x_0 + \sqrt{a}y_0}$$

Czas zakończenia walki można obliczyć jak powyżej.

2.5.2. Liniowy model Lanchestera

Podstawową hipotezą (założeniem) liniowego modelu jest

$$\frac{dx}{dt} = -axy \quad \frac{dy}{dt} = -bxy$$

gdzie a i b są traktowane jako współczynniki strat, jednak inaczej rozumiane niż w modelu kwadratowym. W tym przypadku a i b są mierzone w jednostkach (straty/czas) \times (ogień) \times (cele). Porównując te modele można stwierdzić, że modeli liniowy zwykle używany do odwzorowania powierzchniowego rażenia ogniem, tak jak np. ognia artylerii. Wielkość strat powinna być proporcjonalna do liczby celów oraz liczby jednostek ognia.

Wielkość strat w modelu liniowym może być wyrażona następująco:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{-bxy}{-axy} = \frac{a}{b}$$

Innymi słowy, wielkość zmiany y przy ustalonym x jest stała, jak w minionych działaniach wojennych. Dlatego też x i y musi zawsze być wyrażony przez

$$b[x_0 - x] = a[y_0 - y]$$

gdzie: x_0 i y_0 są wartościami początkowymi x i y . Jeżeli przerwaniem walki są x_{BP} i y_{BP} , to siła ognia obu stron wynosi odpowiednio $b(x_0 - x_{BP})$ i $a(y_0 - y_{BP})$. Liniowy model walki Lanchestera wywodzi swoją nazwę z postaci tych wyrażeń. Wygraną jest strona z większą siłą ognia.

Analityczne rozwiązanie $x(t)$ i $y(t)$ jako funkcji czasu jest bardziej skomplikowane, niż dla modelu kwadratowego. W tym opracowaniu zostały pominięte.

2.5.3. Inne odmiany równań Lanchestera

Poniżej zostały pokazane równania, które mogły być użyte w celu odpowiedzi na podstawowe pytania dotyczące walki prowadzonej środkami jednorodnymi. Jednakże, jak wiadomo, walka charakteryzuje się użyciem środków różnorodnych, toteż modele te mają szereg „niedoskonałości” takich jak:

- współczynniki strat mają charakter stały (niezmienny);
- nie jest uwzględnione przesunięcie (ruch) podczas walki;
- nie jest modelowane zakończenie walki;
- nie są rozważany proces podejmowania decyzji taktycznych;
- nie jest rozważany C^3 ;
- nie są odwzorowane procesy logistycznego odtwarzania;
- nie jest uwzględniany podział oraz priorytet niszczenia celów;
- nie uwzględnia się strat poniesionych od działań innych niż walka.

Uwzględnienie wszystkich procesów byłoby prawdopodobnie niemożliwe. Nie można jednak powiedzieć, że oryginalne równania/modely nie są adekwatne, lecz raczej wymagają szeregu udoskonaleń- modyfikacji poprzez uwzględnienie różnorodnych aspektów procesów walki i podejmowania decyzji.

Poniżej przedstawione zostaną rozszerzone i udoskonalone modele Lanchestera. Metodyka rozszerzenia opiera się na dwóch deskryptorach $X|Y$, które definiują wielkość strat dla sił X i odpowiedni dla Y . Straty mogą być zależne od ilości ognia (oznaczonego jako F) i ilości celów (oznaczonego jako T). Stałą i niezależną od F i T wielkość strat oznaczmy jako C .

Walka mieszana (heterogeniczna)

Stosownie do powyższych ustaleń funkcjonalność równań zostanie rozszerzona do ognia skierowanego (równania kwadratowe) i powierzchniowego (równania liniowe) dla jednorodnych środków walki. Najbardziej oczywistą formą walki jest walka mieszana, gdzie jedne siły używają ognia skierowanego, a siły przeciwne używają ognia powierzchniowego ($F|FT$).

Taka sytuacja jest analogiczna, gdy siła X atakuje na uprzednio (zawczasu) przygotowaną siłę Y prowadzącą działania o charakterze obronnym. Obie siły używają ognia skierowanego, ale istotne jest, że czas ukazania obserwacji (rozwinęcia) celu dla Y jest

większy niż dla X, dlatego też należy zastosować równania liniowe. Podobnie można pokazać, że do odwzorowania działań partyzanckich, gdzie jedna strona organizuje zasadzki na drugą. Jeżeli X prowadzi działania otwarte, a Y wciąga X w zasadzkę, wtedy Y używa ognia skierowanego, lecz X musi używać ognia powierzchniowego dopóki nie będą znane pozycje Y. W tym przypadku stan równania może zostać rozszerzony dokładnie jak w liniowym i kwadratowym modelu.

$$\frac{b}{2}(x_0^2 - x^2) = a(y_0 - y)$$

2.5.3.1. Równania logarytmiczne

Następnym rozszerzeniem modeli Lanchestera jest założenie, że początkowy stan małych jednostek może być modelowany jako T|T proces strat

$$\frac{dx}{dt} = -ax \quad \frac{dy}{dt} = -by$$

Process ten jest odniesiony do logarytmicznego równania

$$b \ln \frac{x_0}{x} = a \ln \frac{y_0}{y}$$

Równanie logarytmiczne jest niezbyt „inteligentnym” modelem, ponieważ każda strona degradowe się asymptotycznie do zera niezależnie od wielkości siły strony przeciwnej, lecz mają one większy sens w przypadku, gdy występuje wiele źródeł strat innych (a nie tylko ogień (siły) przeciwnika), a ich oddziaływanie musi zostać uwzględnione.

2.5.3.2. Równania Helmbolda

R. Helmbold wprowadził modyfikację klasycznego modelu Lanchestera. Podał, że względna efektywność ognia zależy od stosunku sił w tym sensie, że jeżeli x/y jest bardzo duży, wtedy X nie może użyć całej swojej broni na siłę Y. Jego rozumowanie oparte jest na uwzględnieniu ograniczonego obszaru walki, maskowania terenu itp., które mogą być przeszkodą w użyciu całej siły ognia. Helmbold sugeruje, że następujące równania różniczkowe były by bardziej odpowiednie.

$$\frac{dx}{dt} = -a \left(\frac{x}{y} \right)^{1-\omega} y \quad i \quad \frac{dy}{dt} = -b \left(\frac{y}{x} \right)^{1-\omega} x$$

gdzie ω jest miarą efektywności, z którą duża siła użyta jest do siły małej. Można również zauważyć, że równania dotyczą ognia skierowanego oraz dla:

- $\omega = 0$, otrzymamy równanie logarytmiczne,
- $\omega = 1$, otrzymamy równanie kwadratowe logarytmiczne
- $\omega = 1/2$, otrzymamy równanie liniowe.

2.5.4. Wzbogacone modele Lanchestera

W tym rozdziale rozważane będą następujące modele :

- zastępowania (luzowanie), wzmocnienia i/lub wycofania;
- stopnia zależności współczynnika strat;
- użycia niejednorodnych sił;
- modele stochastyczne.

Zastępowanie (luzowanie), odtwarzanie i/lub wycofanie

Każda z tych trzech opcji jest realna na polu walki i w praktyce decyzyjnym problemem dowódcy. Podczas gdy każda z nich może być występować pod różnymi warunkami i różnych formach, poniżej zostaną rozważone proste zmiany. W tym celu zdefiniowane zostaną dwa modele:

- kontynuacji zastąpienia / wycofania;
- odtwarzanie jednostki.

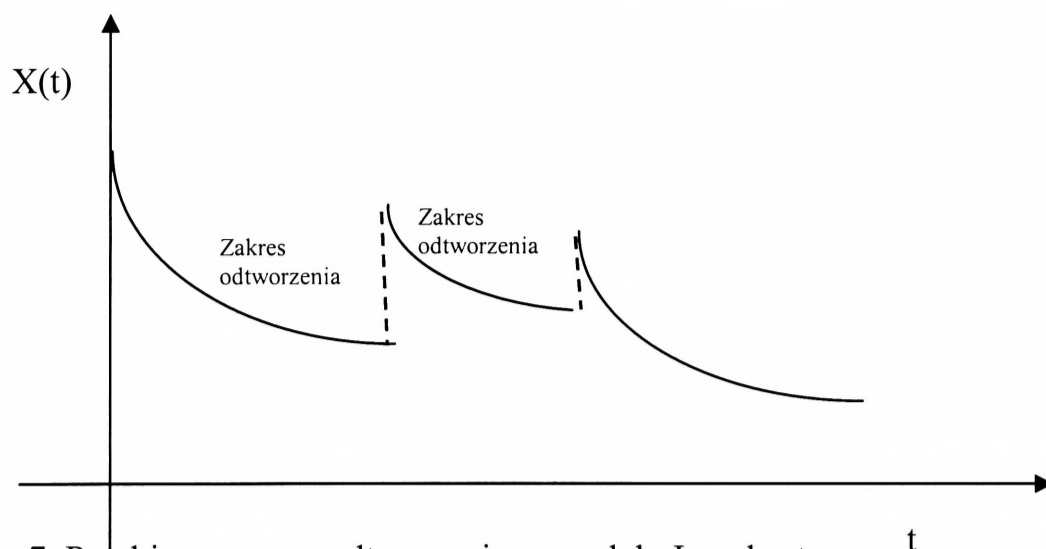
Model kontynuacji w prosty sposób dodaje stałą do każdego równania w celu odwzorowania zastępowania lub wycofania. Morse i Kimball (1950) przyjęli P i Q jako współczynniki odtworzenia dla dwóch stron zarówno w modelu kwadratowym jak i logarytmicznym.

$$dx/dt = P - ay - \beta x \quad i \quad dy/dt = Q - bx - \alpha y$$

gdzie: $x(t)$ i $y(t)$ nie mogą być funkcjami malejącymi.

Równania te pozwalają uzyskać analityczne dość skomplikowane rozwiązanie.

W przypadku modelu odtworzenia, natychmiastowe zmiany w $x(t)$ lub $y(t)$ występują w czasie (t_r), który jest czasem wzmocnienia/wycofania. To oczywiście wymaga zatrzymania równania w czasie t_r i kontynuację walki z inną strukturą.



Rys. 7. Przebieg procesu odtwarzania w modelu Lanchestera

Zakres (stopień) uzależnienia

We poprzednich modelach, efekt jako wynik walki, nie był uzależniony od procesu strat (niszczenia). Doświadczenia wskazują, że straty są uzależnione od wielkości (zakresu) i powinny być rozważane w zależności od poziomu rozwiązania w modelu. Stopień zależności i współczynniki strat są funkcjami w równaniach różniczkowych

$$\frac{dx}{dt} = -a(r)y \quad i \quad \frac{dy}{dt} = -b(r)x$$

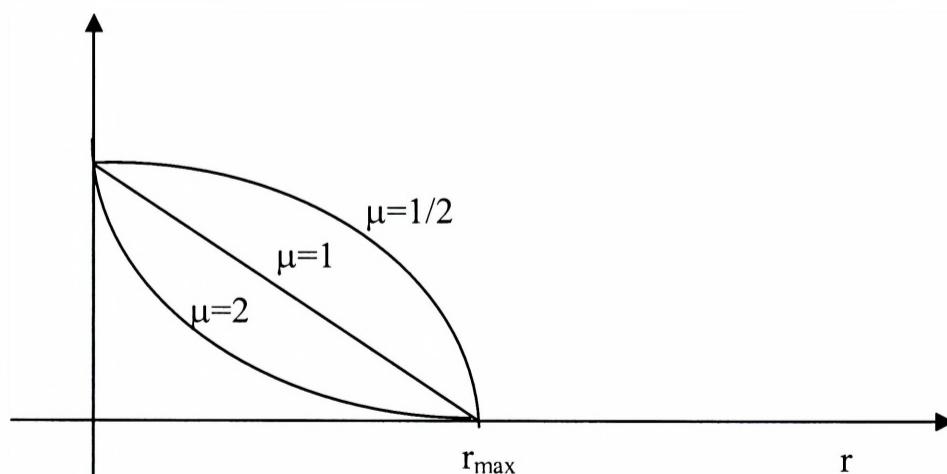
Stałe współczynniki strat mogą być wyrażone jako

$$a(r) = a_0 \left(1 - \frac{r}{r_{\max}}\right)^\mu \quad \text{dla } 0 \leq r \leq r_{\max}$$

$$a(r) \quad \text{dla } r \leq r_{\max}$$

gdzie r_{\max} = maksymalny zakres środka rażenia, i a_0 = maksimum rozmiar strat,

Dokonując wykresu współczynnika strat jako funkcji zakresu dla różnych wartości, możemy zaobserwować wyjście.



Rys. 8. Wykres stopnia zależności współczynnika strat według Bondera

Kiedy rozważamy model ruchu przy stałej prędkości, możemy go wyrazić jako funkcję czasu

$$r(t) = r_0 - vt$$

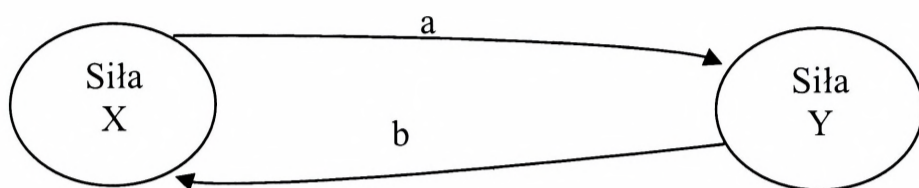
gdzie: r_0 = wartość początkowa, v - prędkość końcowa.

Równania różniczkowe wtedy stają się funkcją czasu i mogą być analizowane.

$$\frac{dx}{dt} = -a[r(t)]y$$

Niejednorodne siły

W powyższych modelach obowiązywało założenie, że indywidualne elementy sił X i Y posiadają identyczne charakterystyki. Zatem tylko liczba elementów walczących $X(t)$ jest istotna do oszacowania strat. Schemat walki jednorodnej jest pokazany na rys.



Rys. 9. Model walki jednorodnej

Teraz rozważmy siły stanowią kombinację różnych rodzajów broni:

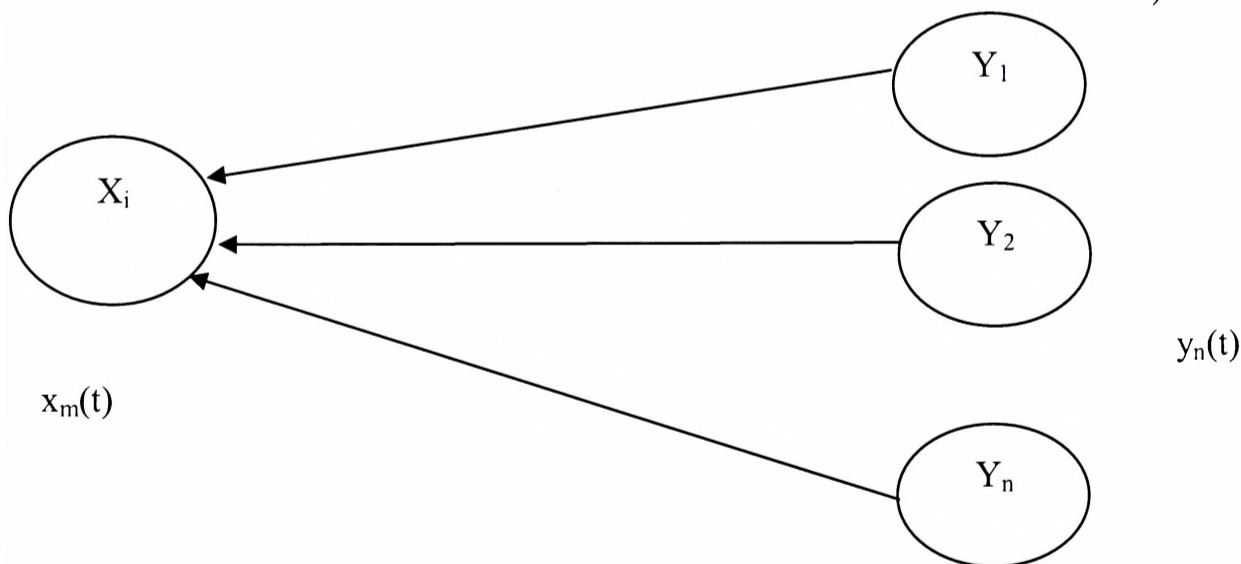
$$X = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$$

$$Y = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t)]$$

Gdzie: $x_i(t)$ – ilość środków rażenia X w czasie t

Siła X (m różnych typów środków rażenia)

Siła Y (n różnych typów środków rażenia)



Rys. 10. Model walki heterogenicznej

Do obliczenia strat model Lanchestera wymaga $m+n$ równań różniczkowych obliczających straty dla x_i, y_i oddzielnie. Dlatego też możemy oszacować straty jako:

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^n (\text{straty } x_i \text{ spowodowane przez } y_j)$$

W modelu niejednorodnym musimy przyjąć dwa założenia: adytywności i proporcjonalności.

Pierwsze założenie oznacza, że nie ma efektu synerгии, a zatem straty danego środka rażenia zależą tylko od y_j . W przeciwnym przypadku, gdy straty zależą od y_j i y_k dla $k \neq j$ można mówić o efekcie synergii.

Drugie założenie, proporcjonalności mówi, że współczynnik strat x_i spowodowany przez y_j jest proporcjonalnie zależny od liczby y_j . Aby lepiej zrozumieć to założenie, przyjmijmy ψ_{ij} jako ułamek y_j ognia przeznaczonego do oddziaływania na cel typu x_i , gdzie $\left(\sum_i \psi_{ij} = 1\right)$. Wtedy możemy powiedzieć, że $y_{ij} = y_j \psi_{ij}$ jest liczbą y_j zaangażowanych do oddziaływania na x_i . Na przykład, jeżeli $y_j = 100$ i $\psi_{ij} = 0.25$ wtedy $y_{ij} = 25$. Oczywiście, nie można powiedzieć, że tylko 25 Y strzela do x_i , lecz raczej średnio y_i sił $\frac{1}{4}$ czasu oddziałuje na cele x_i .

Jeżeli przyjmiemy, że a_{ij} reprezentuje współczynnik strat jednego y_i strzelającego do x_i , to jeżeli cały ogień y_i joddziałuje na x_i , to $a_{ij} \psi_{ij} y_j = a_{ij} y_{ij}$.

Definiując kombinację współczynnika strat (a_{ij}) i ψ_{ij} otrzymamy

$$A_{ij} y_{ij} = a_{ij} y_j \psi_{ij}$$

Stąd kompletny system walki heterogenicznej (uwzględniającej oddziaływanie niejednorodnych środków rażenia) można przedstawić następująco:

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= - \sum_{j=1}^n A_{ij} y_j & i = 1, \dots, m \\ \frac{dy_j}{dt} &= - \sum_{i=1}^m B_{ij} x_i & j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

wraz z warunkami początkowymi $x_i(0) = x_i^0$; $y_j(0) = y_j^0$ oraz przy założeniu, że A_{ij} staje się zerem, gdy $x_i(t) = 0$ lub $y_j(t) = 0$.

Powyższy układ równań nie można rozwiązać w sposób analityczny, gdyż są zbyt złożone i mają dużo współczynników.

Przypadek jest bardzo podobny do kwadratowego równania Lanchestera, lecz odpowiedzi należy szukać w dynamice walki.

Jeżeli przyjmiemy, że macierz współczynników A_{ij} oraz B_{ij} są stałymi, równanie stanie się równaniem kwadratowym, jednakże nie znane są ograniczenia dla każdego równania, gdy mamy do czynienia z heterogenicznym modelem walki. W większości modeli walki używających równań typu Lanchestera do odwzorowania procesów niszczenia,,

heterogeniczne równania przedstawiona powyżej, są zmieniane (dopasowywane) do natury systemu. Zatem serie ij potyczek mogą być permutacją jednorodnych pojedynków. Można zatem przyjąć, że walka heterogeniczna (walka niejednorodnych środków) jest sumą serii pojedynczych jednorodnych środków walki.

Numeryczne rozwiązania wyliczenia strat w kwadratowych równaniach różniczkowych

Wiele kwadratowych równań różniczkowych jest trudnych do rozwiązania w sposób analityczny, szczególnie w przypadkach bardziej złożonych formuł. W związku z tym stosuje się zaawansowane, czasem dość złożone procedury do numerycznego rozwiązania. Jednym z powodów zasotowawania metod numerycznych jest realna dostępność, gdyż tego typu równania bardzo dobrze „zachowują się”, gdy porównujemy do wielu innych równań użytych w badaniach naukowych i pracach inżynierskich (projektowaniu). Szczególnie równanie różniczkowe, są :

- Monotoniczne;
- Nie posiadają wyjątków;
- Mają stabilne rozwiązania.

Wtedy najprostsze numeryczne metody (Euler-Cauch) są efektywne w użyciu. Jest to również korzystne z tego powodu, gdyż metody te odpowiadają symulacji za krótki okres czasu.

Rozważmy następujący model

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -A(x, y, t, \text{inne czynniki}) \\ \frac{dy}{dt} &= -B(x, y, t, \text{inne czynniki}) \end{aligned}$$

gdzie inne czynniki mogą zawierać takie zmienne jak rozmiar, zakres, pogodę, wielkość jednostki, itp. i $x(0)=x_0$, $y(0)=y_0$, warunkami zakończenia walki x_{BP} i y_{BP} . Metoda Euler-Couch jest oparta na aproksymacji prostej skończonej różnicy dx/dt . Wtedy:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &\cong \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = -A(x, y, t, \dots) \\ \frac{dy}{dt} &\cong \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t} = -B(x, y, t, \dots) \end{aligned}$$

lub

$$\frac{x(t + \Delta t) - x(t) = -A(x, y, \dots)\Delta t}{y(t + \Delta t) - y(t) = -B(x, y, \dots)\Delta t}$$

co w rezultacie pozwala na otrzymanie prostej pary równań różnicowych, skąd wynika następująca procedura:

1. zainicjuj wszystkie wartości
2. wybierz wielkość $\bullet t$, opartym na dobrze zdefiniowanej charakterystyce takiej jak czas cyklu prowadzenia ognia;
3. Wylicz x , y oraz t . W kalkulacji A i B należy użyć wartości $x(t)$, $y(t)$ z poprzedniego cyklu obliczeń oraz t jako punkt początkowy interwału czasowego $(t+\bullet t)$. Jeżeli wielkość $\bullet t$ jest zbyt mała w stosunku do zdarzeń zachodzących na polu walki, to nie zmienia to dokładności obliczeń.
4. W celu zakończenia cyklicznego procesu obliczeń, należy sprawdzać warunki przerwania, $x < x_{BP}$ lub $y < y_{BP}$. W przeciwnym przypadku należy powtórzyć kolejny krok obliczeń aż do spełnienia tego warunku.

3. FUNKCJONUJĄCE I PROJEKTOWANE SYMULACYJNE SYSTEMY WALKI

W celu dokonania analizy porównawczej symulacyjnych systemów walki niezbędna jest wiedza na temat aktualnie funkcjonujących oraz będących w fazie wdrażania symulacyjnych systemów walki. Do analizy wybrano systemy aktualnie użytkowane w siłach zbrojnych państw NATO oraz Izraela. Wybór nie jest przypadkowy. Autorzy kierowali się przede wszystkim dostępnością do materiałów źródłowych oraz własnymi doświadczeniami oraz opiniami. Do analizy ukierunkowanej na możliwości funkcjonalne systemu oraz jego wspomaganie na etapie przygotowania ćwiczenia wybrano amerykańskie systemy CBS, BBS, TACSIM, JTLS, JCATS, BCT, OneSAF, WARSIM 2000, SPECTRUM oraz niemieckie takie jak GESI, SimoF, KORA, system izraelski - ABS200, system holenderski - KIBOWI. Szczególną uwagę zwrócono na produkty opracowane w Polsce takie jak „Złocień” oraz SIWOSZ jak również JTLS, który stosowanych jest aktualnie w CSiKGW. W/w systemy zostały przedstawione w zależności od szczebla wspomagania (operacyjnego lub taktycznego) do których zostały szczególnie predysponowane.

3.1. Systemy szczebla operacyjnego

Do systemów tej klasy zaliczono zostały te systemy, których funkcjonalność i stopień odwzorowania jest najbardziej właściwy dla szczebla korpusu lub dywizji.

3.1.1. Corps Battle Simulation (CBS)

System CBS (**Corps Battle Simulation**) tak jak poprzednie systemy opracowany został przez STRICOM. Wspomaga on grupowe szkolenie dowódców dywizji i korpusów oraz ich sztabów, wspiera szkolenie sztabów połączonych, wielonarodowych sił na szczeblach korpusu, dywizji i brygady. Dodatkowo CBS stanowi rdzeń Konfederacji Aggregate Level Simulation Protocol (ALSP) używanej do wsparcia szkolenia sił połączonych do szczebla teatru działań.

System symuluje walkę, wsparcie i zabezpieczenie techniczne stron walczących. Lądowe jednostki bojowe sił sojuszników modelowane są do szczebla kompanii, natomiast siły przeciwnika - do szczebla pułk/batalion. Siły powietrzne własne i przeciwnika modelowane są do szczebla eskadry. Działania specjalne, np. wojsk inżynieryjnych lub artylerii przeciwlotniczej, są modelowane generalnie do niższych szczebli.

Koncepcja modelu oparta jest na zastosowaniu szeregu dostępnych modeli cząstkowych, które określają zakres funkcjonalności oraz adekwatności modelu.

Poniżej przedstawiono modele cząstkowe wchodzące w skład modelu bazowego:

- model ruchu naziemnego;
- model walki naziemnej;
- model artylerii;
- model inżynieryjny;
- model lotnictwa taktycznego;
- model lotnictwa wojsk lądowych;
- model taktycznego przerzutu powietrznego/desant powiertzny;
- model OPL
- modele logistyczne:
 - model zaopatrzenia;
 - model remontowy i usług medycznych;
 - model uzupełnienia;
 - model logistyki wojsk lotniczych.

System CBS umożliwia dwustronne symulowanie, np. elementów:

- walki i manewru wojsk lądowych;
- wojsk lotniczych;
- artylerii;
- rozpoznania;
- obrony przeciwlotniczej;
- logistyki;
- lotnictwa taktycznego;
- obsługi technicznej.

Do określania strat walczącej jednostki system wykorzystuje model Lanchester'a. Straty określone są dla dostępnych systemów walki prowadzących ogień przeciwko każdemu systemowi walki lub wsparcia przeciwnika.

Teren w systemie CBS odwzorowany jest poprzez warstwy informacyjne. Podstawą mapy jest sześciokąt o boku 3 km. System określa charakterystykę terenu (ukształtowanie, zabudowa, przejezdność terenu, rzeki, drogi, mosty itp.). Skala mapy uzależniona jest od szczebla ćwiczenia. Ćwiczenia na szczeblu korpusu wymagają użycia 500 osób, natomiast na

szczeblu dywizji 300 osób. Ćwiczenia na szczeblu dywizji wymagają użycia 40-75 stacji roboczych w zależności od typu ćwiczącej dywizji i zaplanowanego scenariusza.

Główne wady systemu CBS związane są zasadniczo z wykorzystaniem przestarzałych rozwiązań sprzętowych oraz dużą liczbą personelu wymaganego w czasie ćwiczeń.¹⁰

3.1.2. OneSAF

System One Semi-Automated Force (OneSAF) jest produktem amerykańskim. OneSAF przeznaczony jest do szkolenia jednostek od szczebla brygady w górę. Może on wymieniać dane z innymi systemami w standardzie wymiany danych HLA. Dzięki temu może współpracować z takimi systemami jak JANUS, VICTORS, SPECTRUM, BBS, CBS, TACSIM i WARSIM 2000. Wszystkie wymienione systemy wchodzą w skład rodziny systemów symulacyjnych FAMSIM, a ich rozwój nadzorowany jest przez National Simulation Center, które ściśle współpracuje w tej dziedzinie z Simulation, Training and Instrumentation Command (STRICOM).

System OneSAF jest modułowym systemem symulacji pola walki odzwierciedlającym pełny zakres możliwych działań, systemów oraz procesów dowodzenia i kierowania z różnym stopniem wierności od indywidualnych stanowisk platform do szczebla batalionu. Ma on z założenia wiernie odzwierciedlać specyficzne działania bojowe na lądzie (walka z przeciwnikiem i manewr), systemy C4I (dowodzenie, kierowanie, łączność, informatyka i wywiad), wsparcie bojowe oraz zabezpieczenie działań bojowych. Będzie on także dokładnie odzwierciedlał środowisko fizyczne i jego wpływ na prowadzone działania.

Wraz z opracowywaniem systemu OneSAF wdrożone zostały nowe własności jego architektury pozwalające spełnić temu produktowi wymagania wspólne dla wszystkich domen. Wymagania te spełnione są w odniesieniu do symulacji działań jednostek w czasie rzeczywistym.

OneSAF wersji 1.0. to system ModSAF wersji 5.0 - Modułarny System Półautomatycznego Generowania Sił (ModFAS) - który spełnia wymagania w zakresie modelowania i symulowania sił lądowych opracowanych przez Kolegium ds. Oceny Komputerowych Programów Generowania Sił (CGF).

OneSAF został opracowany w celu zastąpienia grupy systemów symulacyjnych, takich jak: ModSAF, Janus, ITEMS, IDEEAS, BEWSS i CCTT-SAF, jednym systemem. Niektóre źródła podają, że system OneSAF ma również zastąpić niektóre aplikacje systemu

¹⁰ opracowano na podstawie materiałów dostępnych na stronach:
<http://members.aol.com./nastmed/Cbs.htm>

JCATS oraz ma być interoperacyjny z systemem WSARSIM w celu zapewnienia możliwości szkolenia sztabów brygad.¹¹

3.1.3. Warfighters' Simulation 2000 (WARSIM 2000)

WARSIM wersji 2000 jest produktem amerykańskiej firmy LOCKHEED MARTIN i należy do symulatorów najnowszej generacji. Jak zapewnia jego producent, system został zaprojektowany jako doskonałe narzędzie do szkolenia dowództw i sztabów dla sił zbrojnych XXI wieku. WARSIM 2000 pozwala na przeprowadzenie realistycznego ćwiczenia operacyjnego z uwzględnieniem warunków uderzenia, rzeźby terenu i stanu pogody dla dowództw i sztabów od batalionu do korpusu i więcej. Symulator wykorzystuje organiczny system C4I oraz standard JTA-A/HLA, co pozwala na niezwykle realistyczne odzwierciedlenie warunków, jakie można spotkać na polu walki. System w sposób symultaniczny szkoli od trzech do pięciu rzutów sił do wielkości korpusu z wysokim uszczegółowieniem symulacji taktycznej. Ćwiczenie realizuje się poprzez przesyłanie właściwych komend, rozkazów itp. Dodatkowo WARSIM 2000 pozwala symulować siły przeciwnika i jednostek otaczających. WARSIM 2000 pozwala przeprowadzić bitwę korpusu, brygady, batalionu, symulację taktyczną z uwzględnieniem wielkiego realizmu sytuacji dla ćwiczących. System może stanowić integralną część większego systemu, np. Joint Simulation System (JSIMS).

System WARSIM zapewnia symulację:

- działań bojowych;
- klęsk żywiołowych;
- akcji ratowniczych;
- operacji pokojowych.

Zakłada się, iż WARSIM w pierwszej kolejności zastąpi takie systemy symulacyjne jak BBS, CBS, TACSIM, CSSTSS (Combat Service Support Training Simulation System). Z uwagi na to, iż system jest ciągle w fazie opracowywania (przedstawienie pełnych walorów WARSIM 2000 zaplanowano na rok 2004) przedstawiono jedynie ogólny opis.¹²

¹¹ Opracowano na podstawie „Battle Staff Trajner – One Saf Interface Overview” dostępnym na stronie www.onesaf.com

¹² Opracowano na podstawie materiałów dostępnych na stronach: <http://members.aod.nastmed/warsim.htm>

3.1.4. Korps Rahmen Simulationsmodell Für die Offizierseusbildung (KORA/OA)

Model symulacji komputerowej KORA/OA (Korps Rahmen Simulationsmodell Für die Offizierseusbildung) został opracowany dla potrzeb armii niemieckiej.

KORA/OA jest systemem komputerowej symulacji pola walki przeznaczonym do wspierania kierownictwa w trakcie przygotowywania i prowadzenia ćwiczeń jedno- i dwustronnych na szczeblu brygady, dywizji i korpusu. Umożliwia on prowadzenie ćwiczeń dowódczo-sztabowych i seminaryjnych, modeluje scenariusze działań lądowych i powietrznych. System składa się z kilku modułów realizujących różne zadania oraz baz danych zawierających dane wyjściowe struktur organizacyjnych wojsk własnych i wojsk przeciwnika, możliwości i parametry taktyczno-techniczne sprzętu bojowego, dane geograficzne i inne. Centralnym układem systemu jest moduł kalkulacyjny umożliwiający między innymi dokonanie porównania potencjałów bojowych walczących stron.

System KORA/OA charakteryzuje się łatwą obsługą, stosunkowo krótkim czasem przygotowania ćwiczeń oraz niewielkimi potrzebami w zakresie personelu obsługującego.

Koncepcja budowy systemu oparta jest na następujących modelach cząstkowych:

- model wojsk zmechanizowanych i pancernych;
- model artylerii;
- model lotnictwa wojsk lądowych;
- model wsparcia powietrznego;
- model obrony przeciwlotniczej;
- model rozpoznania;
- model wojsk inżynieryjnych;
- model logistyki:
 - zaopatrzenie;
 - zabezpieczenie medyczne;
 - zabezpieczenie techniczne;
- model uzupełniania wojsk;
- model ruchu wojsk;

Teren przedstawiony jest w postaci kwadratów o boku 125 lub 500 m. Bazy danych o terenie dostarczają informacji na temat cech terenowych danego kwadratu tj. ukształtowania, pokrycia, infrastruktury drogowej itp.

Do określania strat system wykorzystuje matematyczny model Lanchestera. Podczas obliczeń model uwzględnia szereg czynników, m.in. stan techniczny sprzętu, porę dnia, rodzaj i ukształtowanie terenu.

3.1.5. SimoF

System symulacyjny SimoF jest przeznaczony do wspomaganie szkolenia jednostek szczebla operacyjnego od szczebla brygady do szczebla korpusu w zakresie ćwiczeń połączonych działań lądowych i powietrznych. Realizuje wspomaganie ćwiczeń jedno- lub dwustronne. System symulacji SimoF można wykorzystać w fazie przygotowania ćwiczenia, podczas prowadzenia ćwiczenia oraz umożliwia analizę przebiegu ćwiczenia i opracowanie wyników i wniosków.

System SimoF charakteryzuje się łatwą obsługą, stosunkowo krótkim czasem przygotowania ćwiczeń oraz niewielkimi potrzebami w zakresie personelu obsługującego. System SimoF zbudowany jest z kilku oddzielnych modułów wraz z bazami danych, które przeznaczone są do realizacji różnych zadań. Centralną częścią systemu jest moduł symulacyjny, który umożliwia symulowanie działań bojowych walczących stron.

Bazy danych systemu SimoF zawierają dane:

- geograficzne;
- dotyczące struktur organizacyjnych wojsk własnych i przeciwnika;
- dotyczące parametrów taktyczno-technicznych sprzętu bojowego;
- inne.

SimoF umożliwia pełne odwzorowanie i sterowanie ruchem wojsk oraz ogniem artylerii, przy czym jest możliwe sterowanie ręczne przez operatora. Zastosowany w systemie SimoF model Lanchestera umożliwia dokonywanie obliczeń strat z wykorzystaniem współczynników prawdopodobieństwa zniszczenia celu, uwzględniających warunki terenowe, porę doby, czas przygotowania. Zobrazowanie terenu przedstawiane jest bądź za pomocą wewnętrznego modelu reprezentacji terenu, bądź na zeskanowanych mapach w skali od 1:100 000 do 1:1 000 000. Teren działań bojowych podzielony jest na sektory w kształcie kwadratu o boku 500m. lub 2 km. Każdy kwadrat zawiera informacje na temat pokrycia terenu oraz topografii. Położenie wojsk oraz pozycja w czasie przemieszczania podawana jest z dokładnością do 100m. we współrzędnych UTM.

Podczas prowadzenia ćwiczenia system umożliwia:

- symulację w czasie rzeczywistym;
- tzw. szybką symulację umożliwiającą „przeskoki operacyjne”
- typ ćwiczenia seminaryjnego z cyklami decyzyjnymi.

3.1.6. ABS 2000

System symulacji ABS 2000-Command Simulator (Symulator Dowodzenia) jest produktem izraelskiej firmy RAFAEL. Jest symulatorem działań bojowych sił połączonych przeznaczonym do szkolenia dowódców i sztabów od szczebla batalionu do szczebla korpusu. W systemie zaimplementowane są wszystkie możliwe modele walk, z wyjątkiem modelu zwalczania okrętów podwodnych z powietrza i modelu walki w powietrzu. W zależności od szczebla dowodzenia, jednostki lub formacje wojskowe prezentowane są jako obiekty zagregowane. Im wyższy poziom dowodzenia tym większy stopień agregacji. Działania prowadzone przez batalion stanowią sumaryczny efekt działań kompanii wchodzących w skład tego batalionu. System posiada wbudowane modele fizyczne pozwalające w pełni realizować symulację pola walki w czasie rzeczywistym.

System oferuje symulację wielopoziomową, która umożliwia prowadzenie ćwiczeń wieloszczeblowych (na szczeblu operacyjnym, taktycznym lub na obu jednocześnie).

Podstawowym zadaniem systemu ABS 2000 jest szkolenie dowódców, oficerów operacyjnych oraz pozostałego personelu w zakresie dowodzenia siłami połączonymi.

W celu spełnienia tego zadania system wspiera następujące działania:

- przygotowanie ćwiczenia i określenie sytuacji wyjściowej wojsk;
- prowadzenie ćwiczenia, zapewnienie interfejsów dla różnych użytkowników komunikujących się z systemem oraz symulowanie działań zachowań jak na realnym polu walki;
- ocenę osiągnięć ćwiczących w ramach podsumowania ćwiczenia.

W razie potrzeby symulator oferuje wspólną podstawową platformę, która może służyć różnorodnym celom, niezależnie od narzędzi, które mają w dyspozycji dowódcy. Może być ona wykorzystana do różnych celów militarnych jako uzupełnienie do szkolenia i testowania.

System ABS 2000 może służyć także jako narzędzie badawcze do:

- badania możliwych skutków użycia nowych systemów uzbrojenia (których parametry fizyczne można wprowadzić do statycznej parametrycznej bazy danych) w złożonym środowisku pola walki;

- przetestowania różnych alternatywnych metod zaopatrzenia poprzez porównanie ich skuteczności w podobnych scenariuszach działań;
- weryfikowania istniejących planów operacyjnych (w większości na szczeblu armii) oraz określania możliwych trudności w ich realizacji, poprzez analizowanie ich efektywności oraz wskazywanie niedociągnięć; jest to najlepsza metoda, gdy plan ma być wykonany w warunkach rzeczywistych (przez oficerów i dowódców w czasie realnej wojny), kiedy możliwe jest prześledzenie skutków jego realizacji dla wszystkich szczebli dowodzenia.

Wbudowane modele fizyczne pozwalają na w pełni realną symulację pola walki. Modele są ze sobą wzajemnie powiązane i oddziałują na siebie (np. w czasie symulacji każda wymiana ognia powoduje pomniejszenie zapasów środków bojowych, a każde użycie sprzętu wpływa na jego stopień zużycia i zdolność bojową na polu walki).

Podczas ćwiczeń z udziałem dwóch stron rozwijane są zarówno siły własne jak i przeciwnika, z których każda reaguje na wydarzenia zachodzące na polu walki. Wydarzenia te tworzone są w komputerze, poczynając od sytuacji początkowej (wyjściowej), tak jak zachodzą one naturalnie na polu walki.

System ABS 2000 posiada dwa rodzaje modeli symulacji:

- 1) modele bazowe;
- 2) modele specjalistyczne.

Modele bazowe symulują rzeczywiste działania i procesy. W zależności od potrzeb do obliczeń mogą być użyte:

- model ruchu;
- model ognia bezpośredniego.

Modele specjalistyczne reprezentują i odwzorowują różne typy jednostek. Ich celem jest symulowanie cech charakterystycznych tych jednostek.

System posiada następujące modele specjalistyczne:

- model piechoty;
- model artylerii;
- model rozpoznania;
- model oddziaływania lotnictwa;
- model oddziaływania śmigłowców;
- model obrony przeciwlotniczej;

- model logistyki:
 - zaopatrzenie;
 - zabezpieczenie medyczne;
 - uzupełnianie kadrowe;
 - zabezpieczenie techniczne;
- model inżynierski.

Ćwiczący (dowódcy i sztaby) rozlokowani w sztabach i na stanowiskach dowodzenia (naturalne środowisko) wysyłają rozkazy i otrzymują meldunki z podległych poziomów dowodzenia (POC – *Point Of Contact*) - punkty kontaktowe) reprezentujących podległe lub równorzędne jednostki.

Punkt kontaktowy (POC) na szczeblu dowódcy batalionu lub kompanii prowadzi walkę na ekranie komputera, na którym pole walki reprezentowane jest przez mapę topograficzną. Na ekranie widoczne są: współpraca z modelem cyfrowym terenu (DTM) i geograficznym systemem informacji (GIS), pełna reprezentacja obiektów naturalnych i sztucznych, taktyczne symbole reprezentujące jednostki, wielkości jednostek, wskaźniki powiązań oraz działań.

Główne własności systemu ABS 2000 to:

- pełna reprezentacja i realizacja pola walki;
- modelowanie rzeczywistości z wykorzystaniem obiektów fizycznych;
- symulacja oparta jest o zasadę „skutku i przyczyny”, w której wszystkie zdarzenia i działania wzajemnie na siebie wpływają w sposób ciągły;
- „nagradzanie i karanie” ćwiczącego za każdą jego decyzję, co motywuje go do wykazania się inicjatywą i determinacją, tak jakby działał w rzeczywistych warunkach bojowych;
- możliwość szkolenia różnych grup oficerów oddzielnie w ich specjalnościach wojskowych.

Scenariusze walk zaprojektowane są w oparciu o najnowsze doktryny wojenne i systemy uzbrojenia.

Rezultaty walki są oceniane za pomocą aktywnych narzędzi After Action Review (AAR) (podsumowania działań) z wykorzystaniem funkcji rekonstrukcji wszystkich zdarzeń z ćwiczenia oraz uzyskanie szerokiego spektrum wymienianych meldunków zarówno w formie graficznej, jak i tabelarycznej.

Interfejsy użytkownika działają na zasadzie wybierania pozycji menu w wyświetlanym oknie warstwowym, przez co są przejrzyste i łatwe w użyciu.

Architektura systemu umożliwia jego rozbudowę ze względu na modułową budowę oprogramowania i konfigurację sprzętową.

Zobrazowanie terenu przedstawiane jest za pomocą map warstwowych (rastrowych, wysokościowych i symboli graficznych obiektów terenowych) nakładanych na mapę topograficzną stanowiącą podkład dla wszystkich informacji. Format rastrowy jest podkładem mapowym dla POC i nie jest wymagany do symulacji, format wysokościowy służy do obliczania linii widoczności z zadanego punktu, natomiast niezbędne do symulacji dane topograficzne – obiekty terenowe są zdefiniowane w systemie jako kompletna lista obiektów zawierająca takie elementy, jak obszary zabudowane, mosty, pojedyncze budynki, rzeki, roślinność, tunele, przeprawy wodne, drogi itp. System symuluje również warunki meteorologiczne i pory dnia.

Sprzęt ABS 2000 składa się z ogólnie dostępnych produktów komercyjnych. System pracuje w otwartej lokalnej sieci LAN (Local Area Network) opartej na nowoczesnych stacjach graficznych RISC lub stacjach roboczych podłączonych do serwerów dużej mocy (symulatorów RSC) pracujących w środowisku klient/serwer. System pracuje na bazie sieci stacji graficznych X wykorzystywanych do zobrazowania sytuacji dla użytkowników na poszczególnych stanowiskach roboczych.

System ABS2000 pozwala na wykorzystywanie standardowego, komercyjnego sprzętu komputerowego. System jest przenośny, łatwy w obsłudze i utrzymaniu. Składają się na niego serwery UNIX, do których podłączone są stacje robocze SUN i stacje graficzne X-Windows, zapewniające sprzężenie ze stanowiskami końcowymi.

Oprogramowanie zostało stworzone w oparciu o strukturę obiektowo-zorientowaną i jest łatwe w konserwacji. Językiem programowania jest C++ połączony z zaawansowanym interfejsem użytkownika OSF/Motif Man-Machine (MMI) (w wolnym tłumaczeniu: wzorzec człowiek-maszyna).¹³

3.1.7. The Joint Theater Level Simulation (JTLS)

The Joint Theater Level Simulation (JTLS) to produkt amerykański. Jest on interaktywnym symulatorem wspieranym komputerowo, umożliwiającym wielopoziomowe

¹³ Opracowano na podstawie materiałów dostępnych na stronach: www.AutomatedBattlebook.com

symulowanie działań jednostek połączonych (wojsk lądowych, sił powietrznych i marynarki wojennej). oraz działań sił specjalnych i wywiadu. JTLS symuluje działania sił połączonych na szczeblu operacyjnym (teatru działań). Symulacja może być wykonywana w czasie rzeczywistym (ciągłym) lub w czasie dyskretnym.

JTLS może być wykorzystywany jako:

- 1) Narzędzie analityczne w procesie planowania;
- 2) System wspomagający proces edukacyjny;
- 3) System wspomagania ćwiczeń i szkoleń;
- 4) Podstawowe narzędzie do badania rezultatów walki.

JTLS jest dyskretnym systemem symulacji, tzn. symulacja może być taktowana odcinkami czasowymi lub konkretnymi zdarzeniami, które zachodzą w czasie. Działania na polu walki są symulowane w taki sposób, aby stan systemu zmieniał się prawidłowo po wystąpieniu zdarzenia. Zdarzenia muszą być wykonywane w określonej sekwencji odpowiadającej kolejności zdarzeń w systemie rzeczywistym.

JTLS zbudowany jest z sześciu głównych modułów programowych oraz licznych programów wspomagających, które w połączeniu ze sobą służą przygotowaniu scenariusza gry wojennej, prowadzeniu gry oraz analizie otrzymanych rezultatów.

JTLS posiada wbudowany model symulacyjny, który nie jest zależny od konkretnego teatru działań. Jest oparty na modelach cząstkowych, które określają zakres funkcjonalności i adekwatności modelu. Należy wspomnieć, że wiele z tych modeli cząstkowych występuje w innych modelach symulacyjnych takich jak JANUS, ABS2000, lecz bazują one na innych modelach walki.

Poniżej przedstawiono modele cząstkowe wchodzące w skład modelu bazowego:

- model działań na lądzie;
- model działań w powietrzu;
- model działań wywiadowczych;
- model działań logistycznych;
- model działań na morzu;

Główne możliwości modelu to:

- sprzężenie na poziomie operacyjnym w celu podjęcia najlepszej decyzji;
- szerokie spektrum aktywności wojsk modelu symulacyjnego;
- wsparcie sytuacji kryzysowej przed wybuchem konfliktu;
- wykorzystanie przez międzynarodowe Połączone Siły Zbrojne NATO;

- różne wyposażenie sprzętowe i systemów uzbrojenia sił koalicyjnych;
- duży obszar działania (2000 x 2000 mil morskich).

Rodzaje wspieranych przez model Operacji Połączonych to:

- operacje lądowe z wykorzystaniem dowolnych batalionów i brygad, z elementami transportu, przemieszczenia wojsk, użyciem artylerii, wojsk inżynieryjnych i lotnictwa lądowego;
- operacje Powietrzne od jednej do wielu misji połączonych z wykorzystaniem wariantów ataku z powietrza, walki w powietrzu, transportu lotniczego, zrzutów lotniczych, tankowania w powietrzu, eskorty, patrolu AWACS, walki elektronicznej oraz poszukiwania i ratowania rozbitków;
- operacje Morskie od jednej do wielu operacji sił nawodnych i podwodnych z wykorzystaniem wariantów transportu morskiego, walki podwodnej, nawodnej, obrony przeciwlotniczej i przeciwpodwodnej konwojów, wsparcia ogniowego z artylerii burtowej oraz operacji desantu z amfibii;
- inne operacje, np. operacje logistyczne, rozpoznania, systemów łączności i informatyki CIS, operacje specjalne itp.

Główne czynniki uwzględniane w modelu:

- różne ukształtowanie terenu z podanymi przeszkodami, obiektami strategicznymi, wysokość i głębokość terenu;
- warunki pogodowe włącznie z frontem atmosferycznym przechodzącym przez obszar teatru działań wojennych;
- osiągi, zasięgi i skuteczność systemów uzbrojenia, statków powietrznych oraz dane z rozpoznania;
- warunki dnia i nocy.

Kategorie celów, jakie zastosowano w modelu, to: ważne obiekty strategiczne, pola minowe, pasy startowe lotnisk, schrony samolotów, stanowiska dowodzenia, obiekty wsparcia, linie zaopatrzenia, bazy mps, mosty, tunele, skrzyżowania, ważne punkty, porty, okręty i statki możliwe do użycia w działaniach wojennych, pojazdy, statki powietrzne, amfibie oraz jednostki służb wsparcia. Jako potencjalne cele zakwalifikowano do nich również rurociągi ze stacjami pomp, linie kolejowe, autostrady i drogi szybkiego ruchu, rzeki nawigacyjne zdadne do żeglugi dla barek statków, infrastrukturę portów, stanowisk obrony przeciwlotniczej i mosty.

Pozwala to użytkownikowi na wyświetlanie danych o terenie, które nakładają się na wybraną mapę wektorową.

W systemie istnieją narzędzia, które udostępniają następujące informacje o terenie:

- współrzędne geograficzne
- współrzędne pól sześciokątnych;
- Uniwersalna Siatka Merkatora (UMT);
- wojskowa siatka współrzędnych.

JTLS został uznany przez natowską Agencję ds. Konsultacji, Dowodzenia i Kierowania za oficjalny system symulacyjny dla Połączonych Sił Zbrojnych NATO.

JTLS oparty jest na otwartych platformach systemowych (POSIX-complaint) np. Sun Sparc/Ultra stations, Helwet-Packard workstations lub większość systemów UNIX-owych. Scenariusz mały można realizować, wykorzystując stacje robocze klasy Sun Sparc 5 wyposażony w 32 Mbit pamięć RAM i dysk twardy o pojemności 1,2 Gbit. Dostępny jest również system operacyjny LINUX dla JTLS wersji 2.5.

System JTLS może pracować na pojedynczym komputerze lub w sieci.

3.2. Systemy szczebla taktycznego

Do systemów tej klasy zaliczono zostały te systemy, których funkcjonalność i stopień odwzorowania jest najbardziej właściwy dla szczebla brygady lub niższego.

3.2.1. Brigade Battle Simulation (BBS)

System BBS (Brigade Battle Simulation) należy do rodziny produktów opracowanych przez STRICOM. BBS został zaprojektowany jako system symulacyjny oferujący dowódcom brygad i batalionów manewrowych, a także ich sztabom możliwość szkolenia się w podejmowaniu decyzji, ćwiczenia doktryn walki w powietrzu i na lądzie w realistycznym środowisku bojowym, przy występowaniu wielu zagrożeń i dużej presji czasowej.

Zapewnia on środowisko do ćwiczenia i stymulowania wszystkich funkcji sztabu. Jest on szczególnie przydatny do ćwiczenia procedur sztabowych i integracji sztabu.

Pomimo, że BBS został opracowany głównie jako sterownik w ćwiczeniach Command Post Exercise (CPX) dla jednostek bojowych, to służy on także jako trener

sztabowy dla sił wsparcia bojowego Combat Support Units (CS) i zabezpieczenia bojowego Combat Service Support (CSS).

Dowódcy i ich sztaby muszą opracowywać, korygować oraz oceniać duże ilości danych taktycznych i logistycznych, formułować oceny sytuacji oraz podejmować szybkie decyzje dotyczące dowodzenia i kierowania oraz synchronizacji działań przydzielonych sił operacyjnych, sił wsparcia i sił zabezpieczenia, a także sił lotniczych.

System BBS umożliwia:

- doskonalenie procesu podejmowania decyzji;
- doskonalenie współdziałania;
- ćwiczenie procedur dowodzenia i łączności pomiędzy stanowiskami dowodzenia i podległymi im służbami;
- ćwiczenie procedur operacyjnych obowiązujących na polu walki pomiędzy stanowiskami dowodzenia a siłami realizującymi zadania.

Właściwości systemu BBS:

- manewrowość - ruch pojazdów, wymiana ognia, użycie lotnictwa taktycznego, lotnictwa wojsk lądowych, operacje aeromobilne, status operacyjny jednostek;
- wsparcie ogniowe;
- obrona przeciwpowietrzna (funkcjonujące podmodele MANPAD (Stinger), SHORAD (BSFV, Chaparral, Avenger, Vulcan), HIMAD (HAWK, Patriot), zasięg radaru do 40 km, do 50 jednostek na radarze, możliwość symulacji ataku przez samoloty przeciwnika SU-24, MIG-29);
- dowodzenie i kontrola - postawienie zadań, wydanie rozkazów, odzwierciedlenie terenu na mapie wyświetlanej na monitorze;
- wsparcie służb pola walki (wsparcie transportowe, obsługa techniczna, wsparcie medyczne, raporty podsumowujące);
- rozpoznanie;
- mobilność (pokonywanie pól minowych, przeszkód wodnych)
- zdolność przetrwania w warunkach skażenia bronią nuklearną, biologiczną lub chemiczną.

BBS oferuje w pełni zautomatyzowane narzędzia analityczne. Moduł Analityczny Symulacji Walki dla Batalionu / Brygady (BBSAAR) umożliwia zapamiętywanie i odtwarzanie informacji o działaniach bojowych z rozdzielczością jednej minuty z ostatnich 48

godzin. Jest to zdolność odtwarzania, która musi być uzupełniona informacjami z zewnętrznych systemów analitycznych AAR.

Do celów symulacji BBS wykorzystuje cyfrowe mapy terenu zapisane w formacie ADRG (ARC digitized raster graphic) i JPEG (Joint Photographic Experts Group). Oprócz tego system może korzystać z danych zawartych w cyfrowym modelu terenu (DTED-1) i DFAD (digital features analysis data). Model terenu DFAD zawiera dane o terenie, takie jak miasta, drogi rzeki, posycie roślinnością, które odpowiadają danym umieszczonym na klasycznych mapach papierowych w skali 1:250000. Normalny teren gier obejmuje obszar 175 km na 175 km.

Czas szkolenia interakcyjnego na stacji roboczej wynosi 608 godzin (ok. 1 miesiąca).

BBS jest w pełni rozproszonym systemem osadzonym na pięciu komputerach MicroVax 3100-40 wykorzystujących system pamięci wirtualnych VMS 6.1 i pracuje pod systemem operacyjnym VMS 5.5 OS. System wykorzystuje stacje robocze, tworząc sieć LAN przy użyciu kart sieciowych ETHERNET. Każda stacja robocza składa się z trzech terminali DEC VT 320. Każdy komputer MicroVAX zabezpiecza pracę dwóch stacji roboczych. W sieci pracuje 21 komputerów MicroVAX co daje możliwość podłączenia maksymalnie 42 stacji roboczych.

Gra może być prowadzona ze stanowisk oddalonych poprzez zastosowanie multiplexerów, modemów oraz standardowych linii telefonicznych.

System wymaga dużej ilości personelu wspomagającego w czasie organizacji ćwiczeń.

3.2.2. The Tactical Simulation (TACSIM)

System symulacji TACSIM (The Tactical Simulation) jest amerykańskim systemem przeznaczonym do szkolenia załóg jednostek rozpoznania. Posiada możliwości symulowania dowolnego źródła informacji na poziomach od narodowego do szczebla dywizji.

System TACSIM wykonuje poszczególne misje poprzez ich symulację lub stymulowanie całego zakresu operacji zwiadowczych. System może dostarczać możliwości prowadzenia ćwiczeń od ćwiczeń połączonych w szerokim zakresie do treningów przeznaczonych dla grup (drużyna, pluton) wykonujących wyspecjalizowane zadania rozpoznawcze. Źródła informacji odtwarzane są ze zbioru wysoko stochastycznych

modeli, które są ściśle zależne od ich rzeczywistych odpowiedników. Program posiada wyspecjalizowane narzędzia pozwalające użytkownikom na generowanie własnych źródeł informacji, wyposażonych w nowe (prototypowe) rodzaje sprzętu rozpoznawczego.

System TACSIM złożony jest z kilku części:

- główny symulator;
- narzędzia peryferyjne które wspierają analizę komputerową meldunków;
- zbiór systemów narodowych;
- procesor wsparcia komunikacyjnego.

System TACSIM może być wykorzystywany w dwóch rodzajach pracy:

- 1) w trybie pracy samodzielnej (Stand Alone mode) jako system symulacyjny pozwalający szkolić personel rozpoznawczy, pododdziały i jednostki w specyficznych warunkach treningowych i dowolnych sytuacjach, niezależnych od innych symulacji;
- 2) w tzw. trybie pracy „Linked” (bardziej popularna metoda szkolenia) polegającym na połączeniu systemu z innymi systemami symulacyjnymi; w takim układzie system TACSIM występuje jako model rozpoznania lub jako sterownik połączony z innym symulatorem, np. Army’s Corps Battle Simulation (CBS), Air Warfare Simulation (AWSIM), Navy’s Research Evaluation and System Analysis (RESA) i Joint Electronic Combat Electronic Warfare Simulation (JECEWSI).

Przy wykorzystywaniu w symulowaniu działań bojowych np. systemu CBS specyficzne zadania dla trenujących jednostek rozpoznania (generowane przez TACSIM) są podporządkowane ogólnym operacyjnym celom treningowym, jakie postawiono ćwiczącym. Obie metody działania systemu TACSIM dostarczają personelowi rozpoznania bardzo realistyczne środowisko treningowe.¹⁴

3.2.3. Battlefield Command Trainer (BCT)

Symulator dowodzenia pola walki BCT amerykańskiej firmy HUGHES TRAINING INC Link Division przeznaczony jest do szkolenia dowództw i sztabów od plutonu poprzez kompanię, batalion, brygadę aż do korpusu. Optymalnym

¹⁴ Opracowano na podstawie materiałów dostępnych na stronach:
<http://www.stricom.army.mil/PRODUCTS/TACSIM/>

poziomem jest szkolenie batalionu. Jednakże duża różnorodność modyfikacji prezentowanego systemu stała się bazą wyjściową do stworzenia innych symulatorów, takich jak:

- JUNIOR LEADERSHIP TACTICAL TRAINER (JLTT) przeznaczony do szkolenia pododdziałów na szczeblu od plutonu do kompanii, stosowany w wojskach lądowych U.S.Army;
- INTEGRATED TACTICAL ENVIRONMENT MANAGEMENT SYSTEM (ITEMS) przeznaczony do szkolenia indywidualnego żołnierza oraz pododdziałów do szczebla kompanii, stosowany w wojskach lądowych U.S.Army i armii brytyjskiej;
- FORCE LEVEL SIMULATION (FLS) używany także do szkolenia indywidualnego żołnierza oraz pododdziałów do szczebla kompanii, stosowany wyłącznie w wojskach lądowych SERVIC.E.S. Army;
- COMBAT SERVICE SUPPORT TRAINING SIMULATION SYSTEM (CSSTSS), przeznaczony do szkolenia jednostek wojskowych szczebla taktycznego i operacyjnego, stosowany w siłach zbrojnych USA;
- WARSIM 2000, przeznaczony do szkolenia jednostek wojskowych od szczebla batalionu do szczebla korpusu (opis przedstawiono w dalszej części pracy).

Symulator BCT pozwala na realistyczną symulację walki i szkolenie dowództwa i sztabu od 24-godzinnej bitwy do 6-tygodniowej batalii włącznie.

System BCT, w zależności od szczebla szkolonych jednostek, umożliwia prowadzenie:

- bitwy kontaktowej;
- bitwy powietrznej;
- wsparcia ogniowego;
- rozpoznania;
- skoordynowanej bitwy powietrzno-lądowej.

Ogólna charakterystyka systemu symulacji BCT:

- całkowita liczba jednostek w scenariuszu - 3000;
- liczba typów jednostek - 40;
- typy statków powietrznych używanych w operacjach powietrznych - 24;
- liczba obiektów zobrazowanych - 1200;
- liczba misji logistycznych - 200;

- artylerii;
- wsparcia inżynierskiego;
- rozpoznania;
- śmigłowców szturmowych, do zwalczania broni pancernej i śmigłowców transportowych;
- samolotów bombowych;
- obrony przeciwpowietrznej;
- wsparcia logistycznego;
- ofiar i wsparcia medycznego.
- skażenia nuklearnego, biologicznego i chemicznego (tylko dla wersji GESI-BRIGADE).

Działanie symulatora GESI oparto na następujących założeniach:

- dowódca i jego ćwiczący sztab znajdują się na stanowiskach dowodzenia, używają realnego wyposażenia i mają bezpośredni kontakt z procesem symulacji;
- na poziomie batalionu dowódca i jego sztab znajdują się na polu ćwiczebnym (daleko od budynku symulatora) i używają własnego stanowiska dowodzenia i wyposażenia;
- na poziomie brygady stanowisko dowodzenia brygady, cztery z jego walczących batalionów oraz batalion artylerii znajdują się w różnych miejscach w terenie;
- dowódcy kompanii ćwiczą w zamkniętych pomieszczeniach przy stacjach roboczych w budynku symulatora;
- ta sama koncepcja zastosowana jest zarówno do poziomu batalionu, jak i brygady.

Ogółem w wersji GESI dla batalionu kontrolowanych jest około 2000 elementów, natomiast w wersji GESI dla brygady- 4000-6000 elementów.

Stanowisko instruktora pozwala na pełne monitorowanie systemu, nagrywanie ćwiczenia na nośnikach magnetycznych, wydruku notatek (ręcznie i automatycznie) w czasie ćwiczenia. Ponadto łączność radiowa na wszystkich częstotliwościach jest cyfrowo rejestrowana. Pozwala to potem w czasie omawiania ćwiczenia podawać przykłady popełnionych błędów. Sytuacja taktyczna może być w każdej chwili zapisana w formie zrzutu ekranowego bądź nagrywana dynamicznie w formie pliku multimedialnego. Możliwa jest rejestracja sytuacji na stanowisku dowodzenia na taśmie VHS.

System GESI posiada tzw. edytor scenariuszy, który służy do modyfikacji sytuacji wstępnej. Pozwala to definiować następujące warunki ćwiczenia:

- początek i czas trwania ćwiczenia;
- prędkość wiatru i jego kierunek;
- temperaturę;
- zachmurzenie;
- przejrzystość powietrza;
- fazy księżyca.

Dodatkowo:

- w ćwiczeniu na poziomie batalionu dowódca brygady jest kierownikiem ćwiczenia, natomiast w ćwiczeniu na poziomie brygady kierownikiem jest dowódca dywizji;
- Instruktor ćwiczenia sprawuje ogólną kontrolę nad prawidłowością ćwiczenia, instruuje ćwiczący sztab;

W budynku symulatora, oprócz sali odpraw wyposażonej w kolorowy rzutnik komputerowy, zgrupowany jest cały system łączności jako połączenie typowego wyposażenia radiowego i systemu łączności wewnętrznej. System łączności w ćwiczeniu batalionowym składa się z 10 zarezerwowanych dla niego częstotliwości, zapewniających doskonałą łączność pomiędzy stanowiskiem dowodzenia batalionu a dowódcami kompanii, pododdziałów wsparcia itp.

Edytor systemów uzbrojenia stosuje się do interaktywnej manipulacji parametrów symulacji a także do generowania, prezentowania i modyfikacji obiektów symulacji, a w szczególności do konfiguracji:

- podstawowej jednostek od plutonu do korpusu;
- systemów uzbrojenia (wozów bojowych, grup piechoty, śmigłowców samolotów myśliwsko-bombowych);
- parametrów uzbrojenia;
- symboli i znaków taktycznych.

System łączności składa się z dwóch zasadniczych składowych: systemu łączności radiowej i systemu łączności wewnętrznej w budynku symulatora. W ćwiczeniu batalionowym stosuje się 10 radiostacji, które wraz z antenami ulokowane są na polu treningowym. Każda z radiostacji jest sprzężona z systemem łączności wewnętrznej i posiada

10 różnych kanałów. Częstotliwości stron przeciwnych są różne, nie istnieje zatem możliwość wzajemnego podsłuchiwania komunikatów.

Edytor bazy danych terenu pozwala użytkownikowi tworzyć i modyfikować dowolne dane użyte w symulacji.

Oprogramowanie używa graficznego interfejsu opartego na platformie UNIX/X-Windows. Istnieje możliwość importowania zewnętrznych danych terenu.

Komputery używane w ćwiczeniu GESI pracują w systemie operacyjnym UNIX. Inny system operacyjny jest możliwy do zastosowania opcjonalnie na wyraźne życzenie użytkownika.

3.2.5. SPEKTRUM

System symulacyjny SPECTRUM jest symulatorem przeznaczonym dla jednostek wojskowych, organizacji rządowych i pozarządowych, organizacji politycznych i ekonomicznych w skali kraju lub regionu. Został opracowany przez National Simulation Center (NSC) w 1995 r. w celu wsparcia ćwiczeń zabezpieczenia wojskowych operacji innych niż wojna (Military Operations Other Than War - MOOTW) i operacji zabezpieczenia pokoju (Stability and Support Operations - SASO). W zastosowaniu wojskowym system SPECTRUM obejmuje swoim zakresem szkolenie dowódców i sztabów od szczebla kompanii do szczebla strategicznego.

SPECTRUM symuluje walkę, zabezpieczenie działań bojowych, zabezpieczenie techniczne, medyczne, działania psychologiczne (PSYOPS), klęski żywiołowe i inne zdarzenia występujące w sferze cywilnej oraz działania terrorystyczne. System ma wbudowany model analiz regionalnych (Regional Analysis Model).

Nie posiada on możliwości współpracy z innymi symulatorami lub taktycznymi systemami dowodzenia i łączności. Najnowsza wersja oprogramowania systemu SPECTRUM – SPECTRUM 2000 v. 1.6. jest w trakcie opracowywania i będzie zaimplementowana jako jeden z elementów systemu OneSAF. System SPECTRUM nie dostarcza modelowania walki, ale jest dobrze przygotowany do symulacji operacji utrzymania pokoju i działań innych niż wojenne.¹⁵

¹⁵ Opracowano na podstawie materiałów dostępnych na stronach:
<http://members.aol.com/nastmed/spect.htm>

3.2.6. KIBOWI

System symulacyjny KIBOWI opracowany został dla potrzeb armii holenderskiej przez firmę TNO. Obecna wersja systemu KIBOWI przeznaczona jest do szkolenia jednostek wojskowych od szczebla batalionu do szczebla dywizji. Umożliwia szkolenie w zakresie współdziałania jednostek równorzędnych np. batalion-batalion, lub jednostek o zróżnicowanej wielkości, np. dywizja-brygada. KIBOWI umożliwia szkolenie ćwiczącego dowództwa i sztabu na polu manewrowym w wozach dowodzenia ćwiczących oraz w budynku symulatora KIBOWI imitującego stanowiska dowodzenia. Do łączności pomiędzy wozami dowodzenia znajdującymi się na polu manewrowym i elementami ćwiczącymi w budynki stosowany jest podsystem łączności radiowej. System KIBOWI umożliwia stosowanie procedur dowodzenia w kilku językach (francuski, niemiecki, angielski, holenderski), co umożliwia symulowanie działań jednostek wielonarodowych.

Podczas symulacji system KIBOWI umożliwia użycie:

- artylerii;
- lotnictwa (samoloty, śmigłowce);
- pododdziałów inżynierskich;
- jednostek pancernych;
- jednostek zmechanizowanych;
- pododdziałów rozpoznania;
- wsparcia lotniczego;
- artylerii przeciwpancernej.

Do zobrazowanie sytuacji militarnej wykorzystuje mapy cyfrowe terenu. Minimalna rozdzielczość stosowanych map wynosi 100x100 km.

Wymagania sprzętowe i oprogramowanie:

Serwer typu mainframe (1 szt.) – ALPHA STADION 600 5/333, 256MB pamięci operacyjnej, 68,8 GB pamięci zewnętrznej;

Stacje robocze (3 szt.) – ALPHA STADION 500/500, 256MB pamięci operacyjnej, 21 GB pamięci zewnętrznej;

Stacje robocze (50 szt.) – ALPHA STADION 500/333, 256MB pamięci operacyjnej, 21 GB pamięci zewnętrznej;

Rzutnik SMART-BOARD z ekranem dotykowym „touch screen”.

System wykorzystuje sieć komputerową typu FAST ETHERNET. KOBOWI pracuje na systemie operacyjnym OPEN VIS.

3.2.7. Joint Conflict and Tactical Simulation (JCATS)

JCATS (*Joint Conflict and Tactical Simulation*) powstał w 1997r. poprzez połączenie i unowocześnienie dwóch starszych systemów JCT (*Joint Conflict Model*) – zaawansowaną wersję systemu JANUS i JTS (*Joint Tactical Simulation*). JCATS został zaprojektowany w celu dostarczenia rzeczywistego, elastycznego i analitycznego modelu treningowego poprzez symulację połączonych operacji od szczebla taktycznego do strategicznego. W czasie treningu podstawowe procedury systemu umożliwiają analizę wsparcia oraz procesu planistycznego. JCATS bazuje na koncepcji treningu symulacyjnego, jest wysoce interaktywny i umożliwia przeprowadzenie symulacji od jednostek najmniejszych do korpusu włącznie. Został on zaprojektowany w taki sposób, aby mógł zapewnić efektywność operacji połączonych w pełnym zakresie ciągłości działań operacyjnych typu zapewnienia pokoju, operacje reagowania kryzysowego lub ratownictwa cywilnego.

Jedną z głównych zalet systemu JCATS jest zdolność zapewnienia wszystkich szczegółów dla walki w terenie zurbanizowanym. Umożliwia on symulowanie do 60 tys. indywidualnych elementów. Typowy maksymalny obszar symulacji ma wymiary 660 x 660 km. Grający, stosując opcję „zoom” mogą powiększyć wybrany wycinek terenu w celu określenia detali takich jak ulice, pojedyncze budynki i inne obiekty i dalej mają możliwość analizy tych obiektów.

Charakterystyka JCATS:

- pozwala na szczegółowe modelowanie działań małych grup bojowych w terenie wiejskim i zurbanizowanym;
- daje możliwość dynamicznego przegrupowania (skupienie/rozproszenie) jednostek podczas gry;
- stanowi efektywne narzędzie do trenowania, analizy i planowania misji;
- jako narzędzie analityczne, dostarcza możliwości dokonywania alternatywnych zmian w scenariuszu podstawowym w celu opracowania alternatywnych rozwiązań.

3.2.8. Symulacyjny model działań bojowych sił morskich -SIWOSZ

Symulacyjny model działań bojowych sił morskich -SIWOSZ został opracowany w Centrum Techniki Morskie w Gdyni i aktualnie po realizacji badań kwalifikacyjnych jest na etapie wdrożenia.

Głównym celem tego systemu jest umożliwienie prowadzenia szkolenia w ramach ćwiczeń CAX poprzez utworzenie symulowanego środowiska operacyjno – taktycznego symulację działań sił morskich. Dodatkowym zadaniem systemu jest dopasowanie jednego z interfejsów do systemu ŁEBA2 w celu umożliwienia wykonywania komputerowo wspomaganym ćwiczeń dowódczo-sztabowych, treningów sztabowych kadry dowództw i sztabów i treningów obsad Dyżurnej Służby Operacyjnej.

System SIWOSZ umożliwia:

- Realizację funkcji zautomatyzowanego systemu dowodzenia MW,
- Symulację działań sił i środków MW,
- Ilościową ocenę efektywności użycia uzbrojenia i środków rażenia,
- Archiwizację przebiegu symulacji;

oraz pozwala realizować:

- ćwiczenia kadry dowództw i sztabów na poziomie operacyjno – taktycznym,
- treningi obsad DSO COM w zakresie prowadzenia działań ratowniczych.

Podmiotem szkolenia w systemie symulacyjnym SIWOSZ jest kadra dowództw i sztabów związku operacyjnego i związków taktycznych MW RP oraz obsady dyżurnej służby operacyjnej COM.

Zakres szkolenia może obejmować:

- Planowanie, organizacja i prowadzenie samodzielnych lub wspólnych działań bojowych sił okrętowych i lotnictwa morskiego w ramach operacji obronnej
- Planowanie, organizacja i prowadzenie działań wojskowych jednostek ratowniczych związanych ratowaniem życia ludzkiego na morzu

System ten zapewnia realizację następujących form szkolenia:

- Jednostronne, jedno lub dwuszczelbowe ćwiczenia dowódczo – sztabowe;
- Treningi.

W celu odwzorowania istoty funkcjonowania kadry dowództw i sztabów MW na poziomie operacyjno – taktycznym w systemie zaimplementowano następujące modele cząstkowe:

a) Modele działań bojowych

- Ogniowej Grupy Uderzeniowej (OGU)
- Ogniowej Przygotowanie (OP);
- Ogniowej Grupy Przygotowania (OGPU);
- Logistycznej Grupy Przygotowania Uderzenia (LGPU);
- Logistycznej Grupy Uderzeniowej (LGU);
- Ogniowa Grupa Trałowania (OGT).

b) Modele działań ratowniczych:

- Model zachowania obiektu nawodnego po utracie zdolności ruchu;
- Model zachowania załogi statku powietrznego po jego awarii;
- Model działania obiektu nawodnego po odebraniu sygnału wzywania pomocy;
- Model działania nawodnej jednostki ratowniczej podczas akcji;
- Model działania śmigłowca ratowniczego podczas akcji;

c) Modele działania innych obiektów:

- Model działania morskich min kotwicznych i dennych
- Model działania morskiej kontaktowej miny pływającej
- Model oddziaływania trałów na miny morskie
- Model działania pławy radio-hydroakustycznej

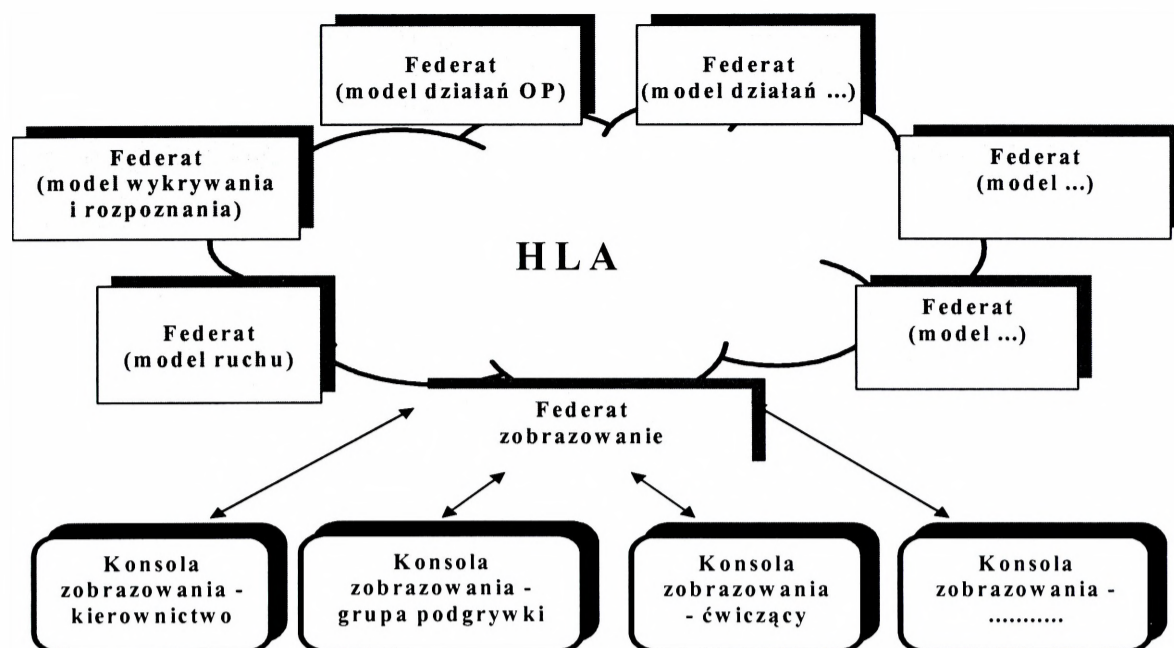
d) Inne modele symulacyjne

- Model odtwarzania gotowości bojowej obiektów morskich
- Model odtwarzania gotowości bojowej statków powietrznych
- Model wyznaczania rewersów paliwowych obiektów morskich

f) Model środowiska - Model symulacji warunków meteorologicznych i hydrologicznych w rejonie działań;

g) Model zobrazowania -Model opracowania obrazu sytuacji operacyjno – taktycznej dla potrzeb ćwiczących i kierownictwa ćwiczenia.

System został wykonywany jest w oparciu o architekturę HLA. W ramach federacji działają federaci, którzy komunikują się ze sobą poprzez infrastrukturę RTI.



Rys. 11. Architektura oprogramowania systemu

Pod pojęciem architektury oprogramowania symulatora rozumiane jest oprogramowanie zapewniające środowisko pracy, komunikację i współpracę dla modeli symulacyjnych i oprogramowania konsol. System wykonany został w oparciu o standard HLA¹⁶ przy wykorzystaniu implementacji tego standardu zrealizowanej przez DMSO¹⁷. HLA-RTI¹⁸ realizuje komunikację pomiędzy wszystkimi uczestnikami symulacji (tzw. federatami) w oparciu o mechanizm przesyłania zdarzeń i modyfikacji predefiniowanych obiektów symulacji. W celu ujednoczenia sposobu wykorzystywania HLA-RTI API¹⁹ i ułatwienia implementacji modeli symulacyjnych zaprojektowano dodatkową warstwę pośrednią pokrywającą część HLA-RTI API; warstwa ta w dalszej części dokumentu będzie nazywana SHLA (Symulator HLA)

¹⁶ HLA – High Level Architecture – Architektura Wysokiego Poziomu – Standard oprogramowania klasy middleware dla systemów symulacyjnych, zatwierdzony przez IEEE jako IEEE 1516

¹⁷ DMSO – Defense Modeling and Simulation Office – Biuro Modelowania i Symulacji dla Obronności. DMSO sponsoruje i udostępnia implementację HLA dla środowisk i zastosowań militarnych

¹⁸ HLA-RTI – RunTime Infrastructure for High Level Architecture – Infrastruktura Czasu Wykonania dla Architektury Wysokiego Poziomu. Przez RTI-HLA należy rozumieć oprogramowanie implementujące standard HLA

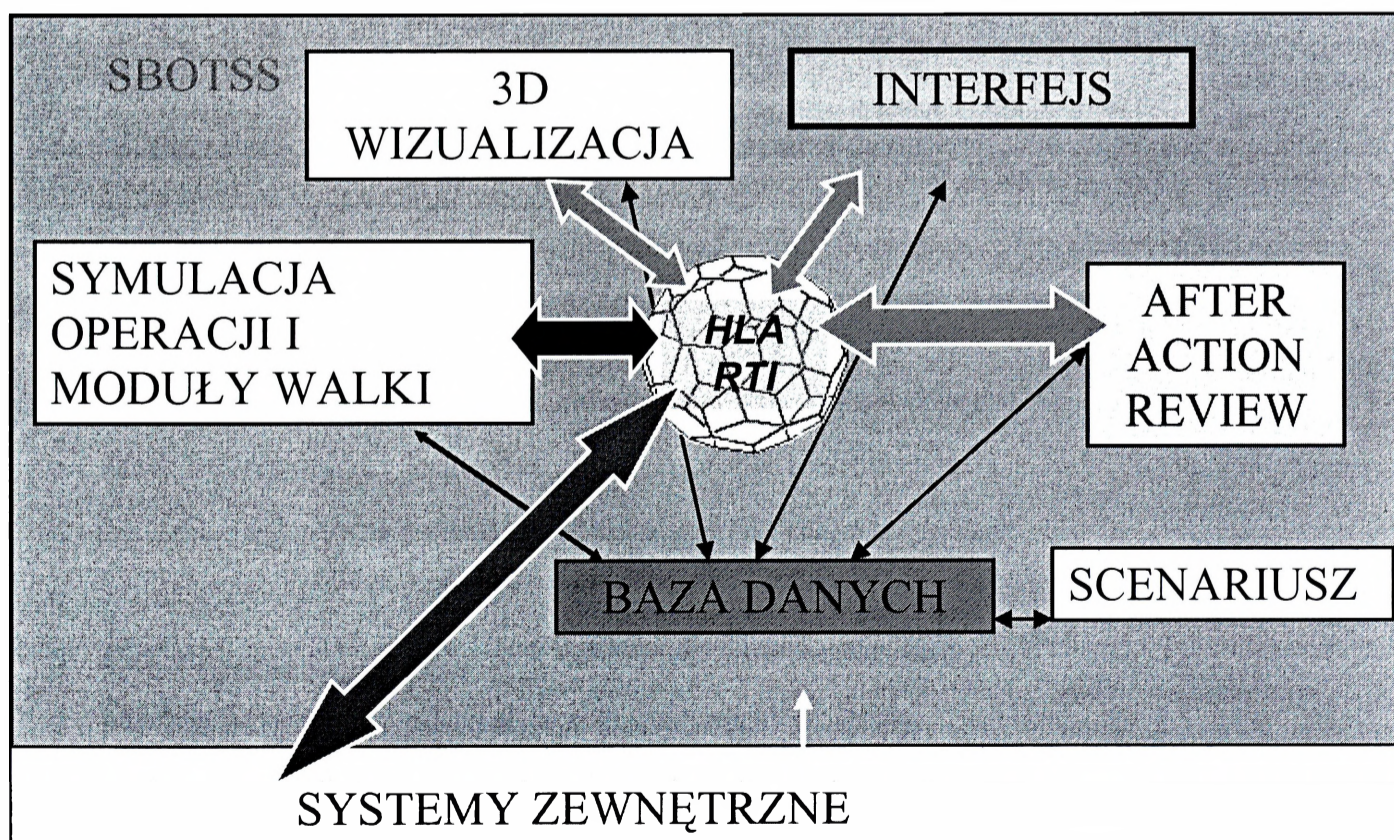
¹⁹ API – Application Programmers Interface – Interfejs Programowy

3.2.9. System Symulacyjnego Wspomagania Szkolenia Operacyjnego - „ZŁOCIEN”

Systemu symulacyjnego wspomaganie szkolenia operacyjnego (SSWSO) umożliwiającego szkolenie dowództw na szczeblu brygady, dywizji i korpusu, spełniającego funkcje:

- ÷ Symulowanie działania podległych wojsk zgodnie z zadaniami postawionymi przez sztaby i uwzględniające przy tym możliwości tych wojsk oraz warunki działania
- ÷ Wspomagania procesu planowania i kierowania wojskami realizowanego przez sztaby na podstawie analizy wyników symulowanych konfliktów
- ÷ Jako narzędzie badawcze w celu optymalizacji struktur wojsk oraz sposobu ich użycia w operacjach na podstawie analizy wyników z symulacji operacji i walki

System przeznaczony jest przede wszystkim dla Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych, w którym realizowane będą między innymi szkolenia dowództw i sztabów na różnych szczeblach dowodzenia. Aktualnie znajduje się na etapie wdrażania.



Rys. 12 Koncepcja systemu

W systemie zostały zaimplementowane następujące modele i algorytmy operacji i walki:

- Struktura pola walki;
- Stan strony konfliktu;
- Dekompozycja na jednostki podstawowe i złożone (elementarne i wyższych szczebli)
– unifikacja opisu;
- Stan jednostki;
- Modele decyzji na szczeblu elementarnym i wyższym;
- Algorytmy działania różnych typów jednostek;
- Odwzorowanie otoczenia – teren, warunki meteo.

1. Struktura stron konfliktu, która zawiera:

Zakres algorytmizacji operacji i walki;

Struktura pola walki i stron konfliktu.

2. Modele jednostek podstawowych i algorytmy ich działań z odwzorowaniem wpływu warunków otoczenia (terenowych i innych) takie jak:

- Model otoczenia pola walki;
- Zunifikowany model jednostki podstawowej;
- Modele i algorytmy jednostek walczących;
- Modele i algorytmy jednostek dowodzenia i łączności;
- Modele i algorytmy jednostek artylerii;
- Modele i algorytmy jednostek artylerii przeciwlotniczej;
- Modele i algorytmy jednostek WRE;
- Modele i algorytmy jednostek rozpoznania;
- Modele i algorytmy jednostek lotnictwa wojsk lądowych ;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia materiałowego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia technicznego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia inżynieryjnego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia przeciwchemicznego;
- Modele i algorytmy jednostek zabezpieczenia medycznego;
- Modele i algorytmy oddziaływania marynarki wojennej.

3. Modele jednostek złożonych i algorytmy ich funkcjonowania

- Modele i algorytmy złożonych jednostek walczących;
- Modele i algorytmy złożonych jednostek wspierających;
- Modele i algorytmy złożonych jednostek zabezpieczenia działań bojowych.

4. Model otoczenia - model wyznaczanie charakterystyk terenu na podstawie zawartości informacyjnej mapy cyfrowej obejmujący:

- sieć terenu w oparciu o podział na kwadraty o regularnych bokach (przyjęto długość boku kwadratu na poziomie szerokości nacierającego plutonu, tj. około 200m);
- modele sieci budowane są w oparciu sieć drogowo-kolejowa w terenie z mapy cyfrowej.

5. Model i algorytmizacja zmian wektora stanu warunków atmosferycznych.

Charakterystyka procesów symulacji

Symulacja działań podstawowej jednostki walczącej obejmuje (PJW):

- przemieszczanie,
- wykrywanie wizualne przeciwnika,
- oddziaływanie ogniowe (strzelanie),
- podejmowanie decyzji,
- uzupełnianie ŚBiM i UiSW,
- wykonywanie umocnień i przejść w polach minowych i zasięgach przeciwnika.

Każda podstawowa jednostka walcząca opisana jest następującymi atrybutami:

- stan osobowy i-tej jednostki;
- numer kwadratu środkowego jednostki;
- wektor prędkości jednostki i-tej w chwili t;
- morale;
- aktualnie realizowana decyzja;
- rodzaj działań: obrona, atak, marsz, wycofanie;
- liczba systemów walki danego typu przydzielonych do danego sektora;
- część całości systemu ognia l-tego typu, których ogień bezpośredni skierowany będzie przeciwko systemowi walki typu k strony B;
- obszar do ostrzału przez SO prowadzące ogień pośredni;
- droga natarcia;
- liczba sprawnych SW k-tego typu w j-tym sektorze w chwili t;
- liczba SO k-tego typu w j-tym sektorze w stanie r-tym;
- stopień spieszności piechoty w chwili t;
- zbiór identyfikatorów jednostek podstawowych strony B, które mogą być rażone przez SO jednostki id strony A;

- zbiór identyfikatorów jednostek podstawowych strony B, których SO mogą razić SW jednostki id strony A;
- zapas amunicji SO;
- zasób paliwa jednostki id w chwili t.

Zakłada się, że systemy ognia bezpośredniego mogą znaleźć się w jednym ze stanów:

- wyszukiwanie celu;
- ładowanie i celowanie - stan składający się z dwóch faz.

Czas wyszukiwania jest zmienna losowa o rozkładzie wykładniczym (γ), a parametr rozkładu zależy od:

- typu środka wykrywającego i wykrywanego,
- odległości między nimi,
- warunków atmosferycznych i terenowych,
- stosowanych technik maskujących.

Model jednostki podstawowej WRiA obejmuje:

- stan jednostki
- położenie,
- prędkość,
- stan osobowy,
- stan wyposażenia,
- stan środków artyleryjskich,
- stan środków transportowych (pojazdów),
- stan amunicji i paliwa,
- realizowane zadanie,
- stan morale.

Symulacja jednostek inżynierskich obejmuje:

- rozbudowę fortyfikacyjną terenu (rejonów, rubieży, punktów i stanowisk),
- budowę zapór inżynierskich, wykonanie niszczeń i wykonanie przejść w zaporach.,
- urządzenie i utrzymanie przepraw,
- wydobywanie i oczyszczanie wody,
- przygotowanie i utrzymanie dróg (osłona techniczna dróg),
- przedsięwzięcia inżynierskie w ramach maskowania wojsk,
- rozpoznanie inżynierskie przeciwnika i terenu

Modele logistyczne obejmują:

- liczbę batalionów walczących;
- opis plutonu dowodzenia;
- opis plutonu zaopatrzenia.

Modele decyzji jednostek logistycznych zależą w dużej mierze od typu jednostki (zaopatrzenia, remontowa, medyczna, transportowa, baza materiałowa, baza remontowa, itd.) i szczebla dowodzenia (różnią się środkami logistycznymi, sprzętem logistycznym, zakresem działania, obiektami rozwijanymi, itd.)

Każda jednostka podstawowa posiada wbudowany automat decyzyjny, który obejmuje działania:

- Plan_Natarcia_Przelamania(id) zawierający następujące metody:
 - Ustal_Syt_Dec(id)
 - Ustal_Warianty_Nat(id)
 - Alg_Ugrupowanie(id)
 - Alg_Harmonogram(id)
 - Alg_Ocena_Wariantu(id)
 - Wybór_Wariantu(id)
 - Postaw_Zadania(id)
 - Generuj_Meldunek(id)
- Realizuj_Plan_Natarcia(id)
 - Realizuj_zadania(id'), $id' \in \Gamma(id, t)$
 - Analizuj_Meldunek_Sytuacyjny(id')
- Generuj_Meldunek_Sytuacyjny(id)
- Aktualizuj_Plan_Natarcia(id)

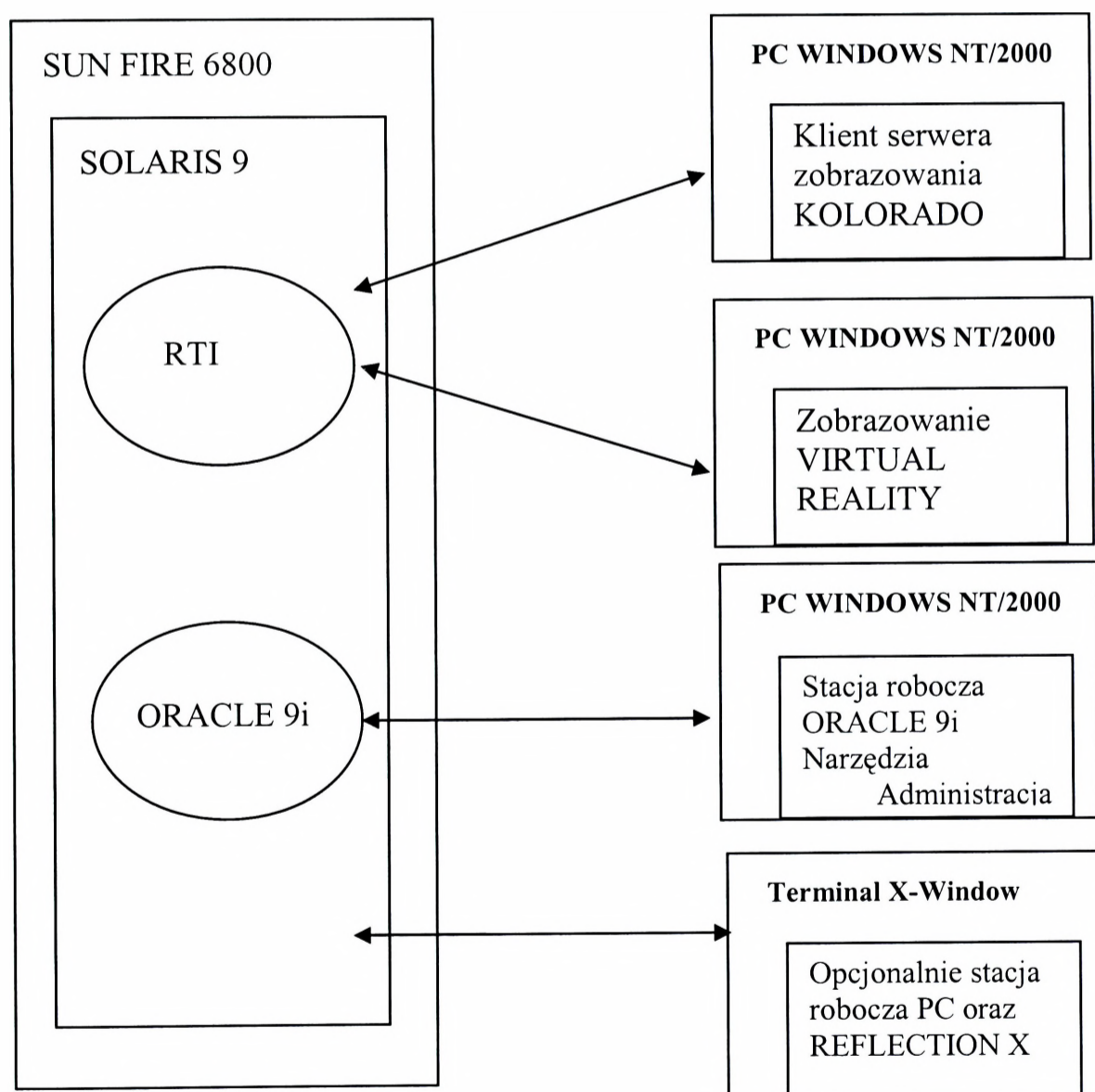
W wyniku symulacji w modelu uzyskuje się następujące wyniki walki:

- straty po wykonaniu zadania:
 - niezgodność czasów realizacji zadań;
 - stopień realizacji zadania bojowego;
 - możliwość prowadzenia działań w chwili t ;
 - czas walki poszczególnych elementów zgrupowań w operacji;
 - liczba wszystkich starć jednostek elementarnych i podstawowych do chwili t ;
 - stopień wykorzystania jednostki w działaniach bojowych;

- liczność grupy jednostek strony w trakcie walk;
- liczba meldunków i-tej jednostki;
- czas pokonania jednostki w operacji;
- czas pokonania zgrupowania w operacji;
- zobrazowanie sytuacji w interfejsie systemu ZSyD Kolorado.

Wymagania sprzętowe i oprogramowanie

Sprzęt SSWSO-Złocien składa się z ogólnie dostępnych produktów komercyjnych. System pracuje w otwartej lokalnej sieci LAN (*Local Area Network*) opartej na nowoczesnych stacjach graficznych lub stacjach roboczych podłączonych do serwera dużej mocy SUN FIRE 6800. System pracuje na bazie sieci stacji graficznych wykorzystywanych do zobrazowania sytuacji dla użytkowników na poszczególnych stanowiskach roboczych.



Rys. 13. Schemat konfiguracji sprzętowej i programowej środowiska SWSO Złocien.

Do serwera SUN FIRE 6800 dołączone są poprzez sieć LAN stacje kliencie o następującym przeznaczeniu:

- PC/Windows 200 – utrzymujący serwer zobrazowania KOLORADO;
- Stacja robocza PC/Windows – umożliwiająca zobrazowanie w systemie wirtualnej rzeczywistości;
- Stacje robocze PC z systemem operacyjnym Windows NT/2000 będące klientami serwera baz danych ORACLE 9i;
- Opcjonalnie stacje robocze PC/Windows wraz z oprogramowaniem klienckim Reflection X (jako uzupełnienie lub zamiennik dla terminali X-Window).
- W systemie występują komputery pełniące funkcje serwerów i komputery pełniące funkcje stacji klienckich oraz komputer wraz z terminalami graficznymi (architektura host-terminal). Terminale graficzne (SunRay)) pełnią rolę stacji klienckich.

Pod systemem Solaris pracują następujące serwery aplikacji:

- Serwer aplikacyjny symulacji „ARES”;
- Serwer licencji MAK RTI Runtime;
- Serwer WWW z obsługą PHP;
- Serwer Samba udostępniający katalogi systemu Solaria dla systemu Windows;
- Serwer LDAP przechowujący hasła i konta użytkowników;
- Oprogramowanie aplikacji systemu Złocięń.

* * *

Zamieszczone pracy krótkie charakterystyki systemów symulacyjnych przedstawione zostały w zróżnicowanym stopniu szczegółowości. Przyczyn takiego zróżnicowania można doszukiwać się w dość skąnym zapleczu fachowej literatury dostępnej w kraju. Większość informacji została pozyskana z anglojęzycznych stron internetowych firm zajmujących się projektowaniem i produkcją systemów symulacyjnych. Głównym źródłem wiedzy nt. opisanych modeli były strony internetowe oraz materiały opracowane w Akademii Obrony Narodowej. Dostępne w Internecie materiały informacyjne zawierają zróżnicowany poziom szczegółowości opisów i udostępniane są jedynie przez firmy i organizacje pochodzące z

USA. Informacji nt. systemów symulacyjnych pochodzących z krajów europejskich jest bardzo niewiele a ich zawartość jest skąpa i ogranicza się jedynie do krótkich wzmianek.

Analiza literatury publikowanej przez "Cubic Defense Applications" - jedną z głównych pozycji zajmujących się projektowaniem i wdrażaniem modeli symulacyjnych w U.S.Army wskazuje, iż prace naukowo-badawcze ukierunkowane są na dalszy rozwój dwóch modeli symulacyjnych, tj. OneSAF i WARSIM.

System WARSIM zastąpi system CBS, natomiast OneSAF zastąpi między innymi systemy BBS, JANUS, JCATS.

System OneSAF będzie odgrywał znaczącą rolę w przyszłościowym systemie szkolenia jednostek armii amerykańskiej od szczebla brygady w dół, włączając elementy zabezpieczenia medycznego, żandarmerii wojskowej oraz serwis.

Powstała również koncepcja utworzenia Multi-level Resolution Modeling (MRM), który ma za zadanie integrowanie systemów symulacyjnych JTLS i JCATS. Celem konfederacji jest połączenie właściwości tych dwóch systemów podczas szkolenia. JTLS będzie zapewniać symulację na poziomie teatru działań, natomiast JCATS – na poziomie działań taktycznych. Koncepcja taka została przedstawiona podczas 5-tej międzynarodowej konferencji użytkowników systemu JTLS w październiku 2002r.²⁰

Prace nad systemami symulacyjnymi w NATO doprowadziły do opracowania NATO Modeling and Simulation Master Plan (NMSMP), który dostarcza wskazówek dla organizacji NATO w zakresie M&S (modelowania i symulacji). W tym celu powstała federacja The Distributed Multi-National Defense Simulation (DiMuNDS 2000) w której biorą udział niektóre państwa NATO, takie jak Francja, Niemcy, Holandia, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone i NC3 Agency. Projekt DiMuNDS 2000 jest pierwszym krokiem w celu zapewnienia odpowiednich zdolności i możliwości w zakresie ćwiczeń CAX dla jednostek CJTF.²¹

W Polsce prace nad zaawansowanymi technologicznie systemami realizowane są w WAT oraz AON. Efektem tej współpracy jest SSWSO Złocień, który przeznaczony jest przede wszystkim dla Centrum Symulacji i Komputerowych Gier Wojennych, w którym realizowane będą między innymi szkolenia dowództw i sztabów przede wszystkim na szczeblu brygady. Aktualnie system tej znajduje się na etapie wdrożenia.

²⁰ Opracowano na podstawie informacji dostępnych na stronach: www.JCATS-JTLS.com

²¹ Opracowano na podstawie materiałów dostępnych na stronach [www. Agencji NC3A](http://www.AgencjiNC3A): Richard A. Briggs „Experiences in the NATO pre-pathfinder DIMUNDS 2000 federation” Virtual Technology Corporation.

4. ANALIZA PORÓWNAWCZA SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH WALKI W ASPEKTCIE ICH FUNKCJONALNOŚCI

Symulacja komputerowa to metoda badania lub naśladowania systemu rzeczywistego lub teoretycznego poprzez zbudowanie modelu i jego implementacji komputerowej, a następnie eksperymentowanie na modelu w czasie rzeczywistym lub w czasie dyskretnym i analizowanie uzyskanych wyników (patrz rozdział 2).

Każdy system symulacyjny obejmuje model, czyli fizyczną, matematyczną lub logiczną reprezentację obiektu, zjawiska lub procesu oraz informatyczne narzędzia do eksperymentowania na nim, czyli sprzęt komputerowy i odpowiednie oprogramowanie.

System symulacyjny, wspomagający ćwiczenia dowódczo - sztabowe różnych szczebli, powinien umożliwiać przygotowanie gry wojennej, weryfikację różnych wariantów działań bojowych stron (y) oraz powinien posiadać narzędzia do oceny przebiegu ćwiczenia.

Z istoty swojego przeznaczenia system symulacyjny musi zapewniać **symulację interaktywną**, w której uczestnik gry mógłby wpływać na przebieg procesów walki poprzez zmianę / korektę decyzji – zmianę wartości zmiennych decyzyjnych modelu symulacyjnego.

Reasumując, można wyróżnić następujące podstawowe elementy systemu symulacyjnego:

- Model symulacyjny;
- Moduł zobrazowania mapowego (informacji geograficzno – przestrzennej);
- Zewnętrzną lub wewnętrzną bazę danych;
- Systemy zewnętrzne;
- Środowisko integracji.

Przez systemy zewnętrzne należy rozumieć inne systemy symulacyjne, inne platformy technologiczne lub rzeczywiste systemy dowodzenia. Współdziałanie różnych systemów uzyskać można poprzez:

1. Zastosowanie Rozproszonej Symulacji Interaktywnej (*Distributed Interactive Simulation-DIS*). Istotą tej symulacji jest możliwość jej prowadzenia w rozproszonym środowisku komputerowym, w którym dzięki zastosowaniu oprogramowania wspomagającego zapewnia się właściwą synchronizację procesów, transparentny przepływ strumienia

danych i instrukcji. Od razu należy wspomnieć, że kraje NATO odchodzą od symulacji DIS.

2. Zastosowanie Architektury Wysokiego Poziomu (*High Level Architecture* - HLA). Jest to standard wymiany danych pozwalający sprzęgać ze sobą różne systemy symulacji, nawet te opracowane niezależnie w poszczególnych państwach NATO. Generalnie jednym z wyróżników jakości współczesnych systemów symulacyjnych jest ich zdolność do pracy w trybie HLA. Niemal wszyscy producenci deklarują taką zdolność, ale z doświadczenia wiadomo, że niektóre parametry systemowe ulegają pogorszeniu przy pracy w tym trybie, a niektóre systemy pracują nie tylko zdecydowanie wolniej, ale stają się również bardziej zawodne. Przy pozyskiwaniu takich systemów zaleca się żądanie od producenta lub dostawcy testów wydajnościowych dla systemu pracującego autonomicznie oraz poprzez interfejs HLA.

4.1. Kryteria oceny systemu symulacyjnego

Przeprowadzenie analizy porównawczej systemów symulacyjnych walki jest niezwykle trudnym i złożonym problemem. Przyczyn tego faktu jest kilka. Po pierwsze autorzy dysponują różną wiedzą (i materiałami) dotyczącymi tych systemów. Różne także jest ich doświadczenie w pracy z tymi systemami. Po drugie analizy takie prowadzone powinny być w zbiorze możliwie jednorodnych przedmiotów, a więc systemów symulacyjnych: tego samego (podobnego) szeregu dowodzenia, tego samego rodzaju sił zbrojnych, podobnych procesów walki odwzorowywanych w modelach – a więc z punktu widzenia potrzeb użytkownika systemu. Natomiast ze względu na technologię, w jakiej analizowane systemy zostały opracowane oraz instrumentarium niezbędnego do ich użytkowania, analizy prowadzone powinny być w aspekcie finansowym. Kryteriów, ze względu na które należałoby poddać ocenie analizowane systemy symulacyjne jest wiele. Właściwy wybór pewnego ich podzbioru zależy w pełni od celu, jaki badacz (decydent) chce osiągnąć. Niemniej, wyodrębnić można pewną wiązkę kryteriów uniwersalnych. Autorzy uważają, że może ona być postaci:

- Funkcjonalności standardowe;
- Funkcjonalności niestandardowe;
- Konfigurowalność systemu
- Przyjazny interfejs użytkownika

- Interfejs zgodny ze zautomatyzowanymi systemami dowodzenia;
- Elastyczność we współpracy z różnymi systemami zarządzania bazą danych;
- Zgodność ze standardami (GIS,);
- Jakość modeli procesów pola walki;
- Uciążliwością opracowania eksperymentu symulacyjnego;
- Jakością obróbki wyników eksperymentu symulacyjnego;
- Nowoczesnością technologiczną
- Nie wygórowanymi kosztami (zakupu, wdrożenia, użytkowania, up grate'owania i pielęgnacji)

Autorzy uważają, że zasadne jest rozpatrywanie systemów symulacyjnych w następujących makrokryteriach:

1. **Funkcjonalności operacyjnej** (ujmującej możliwości modelowania różnych form i rodzajów działań operacyjno – taktycznych wojsk oraz możliwości jego zastosowania w organizacji różnorodnych form ćwiczeń dowódczo - sztabowych);
2. **Funkcjonalności informatycznej** (ujmującej jakość zastosowanych modeli matematycznych opisujących obiekty i procesy uwzględnione w systemie – model koncepcyjny, środowisko jego implementacji i zastosowane technologie informatyczne);
3. **Ekonomiczne** (ujmujące aspekty finansowo – organizacyjne dotyczące użytkowania systemu).

W związku z założeniami przyjętymi powyżej proponuje się stosować następujące kryteria oceny systemu symulacyjnego (bez uporządkowania ich ważności (znaczenia), które może być różne dla różnych decydentów):

Funkcjonalność operacyjna:

1. Zdolności systemu do spełnienia stawianych mu wymagań.

- a) Szczegółowe dowodzenia, które obejmuje model symulacji;
- b) Elastyczność w organizowaniu ćwiczeń w różnych formach;
- b) Rodzaje i formy działań bojowych realizowane w systemie symulacji;

2. Dotychczasowa ocena, poglądy i doświadczenia użytkowników

3. Intuicyjny interfejs użytkownika

4. Uwarunkowania sojusznicze

- a) Czy dany system symulacji ma szansę stać się standardowym rozwiązaniem w NATO?
- b) Czy system pozwoli na organizację ćwiczeń sojuszniczych w środowisku symulacyjnym zgodnie z wymaganiami NATO?
- c) Czy system symulacji może pracować w środowisku HLA lub DIS, co obecnie stanowi podstawowy warunek jego interoperacyjności z innymi systemami symulacyjnymi NATO?

Funkcjonalność informatyczna:

1. Adekwatność odwzorowania procesów rzeczywistych przez modele symulacyjne

- a) Jakość matematycznych modeli (deterministyczne, probabilistyczne, stochastyczne; liniowe, nieliniowe; itp.);
- b) Wielość odwzorowywanych realnych procesów pola walki w modelach;

2. Elastyczność konfigurowania sprzętu i oprogramowania.

3. Użyteczność narzędzi wspomagających opracowanie (adaptację) scenariusza eksperymentu symulacyjnego oraz opracowania wyników eksperymentów symulacyjnych

4. Elastyczność realizacji eksperymentów symulacyjnych

5. Platforma techniczno - technologiczna

- a) Wymagany sprzęt komputerowy i sieciowy (uniwersalny, specjalizowany);
- b) Wymagane oprogramowanie (operacyjne sieciowe; użytkowe (zobrazowanie mapowe, bazy danych, graficzne i tekstowe interfejsy użytkownika, programy synchronizacji czasowej, itp.), wspomagające, środowisko programistyczne).

- c) Dostęp do kodów źródłowych;
- d) Bezpieczeństwo sieci.

Ekonomiczne:

1. Warunki pozyskania lub zakupu

- a) Cena zakupu w stosunku do liczby licencji;
- b) Koszty wdrożenia i szkolenia personelu;
- c) Warunki serwisowania;
- d) Implementacja nowszych wersji oprogramowania (up-grade);

4.2. Aspekty organizacyjne – zespoły funkcyjne i zadania użytkownika

W zależności od systemu symulacyjnego stosowane są różne terminy na określenie różnych zespołów funkcyjnych zaangażowanych w gry operacyjne w środowisku symulacyjnym. Zawsze jednak występują cztery zasadnicze grupy użytkowników, niezależnie od typu systemu symulacyjnego.

1. Konstruktor gry, kierownik ćwiczenia lub kontroler ćwiczenia oraz jego zespół.

Jest to na ogół przedstawiciel wyższego szczebla dowodzenia niż szczebel ćwiczący. Opracowuje on konkretny scenariusz gry i może ingerować w jej przebieg. Ważnym pojęciem jest scenariusz ćwiczenia lub gry symulacyjnej. Istotnym jego elementem jest ustalenie składu i położenia wyjściowego stron oraz określenie głównych celów w prowadzonych działaniach bojowych.

2. Ćwiczący, gracze

Reprezentuje ćwiczący sztab. Może to być zespół osób funkcyjnych wypracowujących decyzje, które są następnie w postaci poleceń wprowadzane do systemu symulacyjnego w trybie interaktywnym. Powodują one zmianę stanu modelu symulacyjnego (np. zmiana sytuacji operacyjnej, zmiana w zdolności bojowej jednostek). Zespół ćwiczący dokonuje analizy nowej sytuacji i wypracowuje na tej podstawie nowe decyzje. W zależności od rodzaju ćwiczenia, ćwiczący mogą reprezentować sztab sił własnych, sztab sił przeciwnika, sztab sił neutralnych, sztab sił koalicyjnych, itd.

3. Obserwatorzy, rozjemcy.

Monitorują przebieg symulacji i w sytuacjach wymagających interwencji wprowadzają do systemu określone informacje. Mogą reprezentować różne organizacje, tak wojskowe jak i cywilne.

4. Zespół analityczny

Dokonuje oceny ćwiczących na podstawie uzyskanych rezultatów. Działa w imieniu kierownictwa ćwiczenia. Innym zadaniem jest opracowanie materiałów do podsumowania przebiegu ćwiczenia. Większość współczesnych systemów symulacyjnych posiada wbudowane moduły analityczne AAR (*After Action Review*).

System symulacyjny powinien „obsłużyć” wymienione wyżej zasadnicze grupy użytkowników za pomocą modułów programowych realizujących określone funkcje.

4.3. Aspekty merytoryczne – modele procesów walki

W symulacyjnych systemach walki odwzorowane są obiekty (ich stan i struktura) walczące oraz procesy (akcji i reakcji) zachodzące pomiędzy nimi na polu walki (w określonej sytuacji operacyjno – taktycznej i w określonym środowisku).

W takich systemach przeprowadza się symulację działań bojowych stron zgodnie z decyzjami operacyjno - taktycznymi stron, uzyskując wyniki - w postaci strat stron i ruchu obiektów w terenie, czyli otrzymując skutki podjętych decyzji.

Podstawą **modelu symulacyjnego walki** są **modele podstawowe**. Modele te posiadają naturę fizyczną i symulują rzeczywiste działania obiektów. Opracowane zostały w postaci modeli matematycznych. W zależności od potrzeb używają również **modeli specjalizowanych**. Ich implementacja w zaawansowanym technologicznie środowisku programistycznym powinna zapewnić uzyskanie wiarygodnych wirtualnych sytuacji taktycznych, zbliżonych do sytuacji taktycznych rzeczywistego pola walki.

Wyróżnia się następujące modele podstawowe:

Model ruchu (przemieszczenia wojsk podczas walki)

Model oblicza - dla obiektów w bezpośredniej styczności - w każdym kroku symulacji przyrost przebytej drogi przez obiekty uwzględniając:

- ponoszone straty podczas walki,
- warunki terenowe,
- warunki atmosferyczne,
- porę doby,
- możliwości techniczne wozów bojowych i innych pojazdów.

Model zatrzymuje ruch obiektów gdy zabraknie im mps. Ruch jest możliwy do przodu i do tyłu. Do przodu poruszają się obiekty prowadzące działania ofensywne. Do tyłu poruszają się obiekty, które wskutek przewagi przeciwnika, intensywności ognia i ponoszonych strat, niezależnie czy prowadzą działania ofensywne czy defensywne, zmuszone są do wycofania się z pola walki. Zatrzymanie się obiektów następuje w wyniku napotkania przeszkody, której obiekt nie jest w stanie samodzielnie pokonać (przeszkoda wodna, pole minowe) lub przejścia z działań ofensywnych do obrony. Ruch obiektów może się odbywać po drogach ale w trakcie walki na ogół na przelaj. Kierunek ruchu obiektów determinuje otrzymane zadanie i cel.

Model ognia bezpośredniego

Jest modelem matematycznym, który pozwala obliczyć zadawane i ponoszone straty w bezpośredniej walce różnych systemów broni opartych na ogniu bezpośrednim. Wzajemne oddziaływanie (uderzenia i straty) generowane są przy pomocy probabilistycznego modelu (zmodyfikowany układ równań Lanchestera). Od jakości tego modelu zależy jakość całego systemu. Model ten uwzględnia:

- prawdopodobieństwo trafienia, które uzależnione jest od:
- systemu broni,
- odległości,
- warunków terenowych,
- warunków pogodowych,
- rodzaju celu i jego zachowania,
- jakość wykrycia i rozpoznania celu,
- intensywność ognia,

- zużycie amunicji.

Dla każdego typu systemu broni wyspecyfikowana jest intensywność ognia oraz zużycie amunicji. Obiekty automatycznie otwierają ogień do znajdujących się w ich zasięgu, widocznych i rozpoznanych celów. Intensywność ognia i zużycie amunicji są określane przez operatora oraz zależy od posiadanego zapasu amunicji. Zmniejszenie się stanu amunicji poniżej 50% automatycznie powoduje zmniejszenie intensywności ognia i zużycia amunicji. Walka jest prowadzona przez poszczególne typy systemów broni obiektów podstawowych między sobą.

Model terenu

Model opiera się na:

- **mapie wektorowej** terenu, dzięki któremu można określać pokrycie terenu, przeszkody terenowe, rodzaje dróg, mosty i wiadukty - ich długość i nośność, tunele, rzeki, jeziora, lasy, obszary zurbanizowane, obszary przemysłowe, rodzaje gruntów itp.
- **numerycznym modelem terenu**, który z kolei pozwala na określenie widoczności optycznej i radiowej, kąty spadków i wzniesień itp.

Mapy wektorowe i numeryczny model terenu znajdują się w bazie danych systemu i są zarządzane systemem GIS (zobrazowania informacji geograficzno - przestrzennej). Dzięki zastosowaniu narzędzi GIS możliwe jest korzystanie z obu rodzajów map, sięganie do atrybutów obiektów terenowych, dokonywanie analiz i dzięki temu uwzględnianie warunków terenowych we wszystkich obliczeniach.

Model środowiska

Model środowiska opiera się na:

- **generatorze warunków meteorologicznych** na podstawie przygotowanej do ćwiczenia prognozie pogody,
- **zegarze czasu operacyjnego**, na podstawie którego znana jest pora roku, pora doby, czas wschodu i zachodu słońca.

Model taktycznych zasad walki

Model opisuje zasady i reguły taktyki, działania i zachowania się obiektów podstawowych. Dotyczy to działania pododdziałów zmechanizowanych i pancernych. Pozwalają one automatyzować ich działanie. Reguły te są zapisywane w tablicach bazy danych. Zawierają one zgodne z zasadami taktyki możliwe reakcje każdego obiektu podstawowego na różne sytuacje na polu walki. Oznacza to, że określają możliwe reakcje tych obiektów na zdarzenia. Opisują możliwe ścieżki przechodzenia obiektu z jednego stanu do drugiego w określonych warunkach pola walki. Z kolei wszystkie normy obiektów, z których korzysta podczas symulacji model walki są zapisane w bazie normatywno-kodowej. Oczywiście zasady działania pododdziałów przeciwnika powinny być zgodne z zasadami taktyki domniemanego przeciwnika.

Oprócz wyżej wymienionych modeli podstawowych wprowadza się **modele specjalistyczne**, których zadaniem jest odwzorowanie zachowania różnych obiektów wyposażonych w specjalizowane systemy broni. Ich celem jest symulacja unikalnej natury tych obiektów. Modele te dziedziczą i rozszerzają naturę modeli podstawowych.

Wyróżnia się następujące modele specjalistyczne:

- model rozpoznania;
- model wojsk zmechanizowanych i pancernych;
- model artylerii;
- model uderzeń lotnictwa - samolotów;
- model uderzeń lotnictwa wojsk lądowych – śmigłowców;
- model logistyki (zużycia amunicji i mps);
- model inżynieryjny (stawiania pól minowych).

Każdy z modeli specjalistycznych spełnia określone funkcje w procesie symulacji działań i ma wpływ na zachowanie się obiektów i relacje między obiektami.

Model rozpoznania

Model rozpoznania spełnia dwie zasadnicze funkcje:

- rozpoznanie i wykrywanie celów dla walczących obiektów. Jest rozpoznaniem prowadzonym przez obiekty i jest głównie oparta na rozpoznaniu wzrokowym i służy dla modelu ognia bezpośredniego. Prawdopodobieństwo wykrycia obiektów

przeciwnika zależy od: odległości, warunków terenowych, pogody, pory doby, posiadanych na wyposażeniu obiektu przyrządów.

- rozpoznanie i wykrywanie obiektów przeciwnika i informowanie o wynikach operatora, który na ich podstawie planuje i organizuje działanie podległych wojsk. Prowadzenie tego typu rozpoznania uzależnione jest od operatora, od posiadanych obiektów rozpoznawczych oraz przydzielonego mu limitu rozpoznania lotniczego. Zwykle dotyczy to rozpoznania prowadzonego przez bezpilotowe jak również pilotowe środki rozpoznania lotniczego. Rozpoznanie to jak również informacje od kierownictwa ćwiczenia są dla operatora ćwiczącego sztabu wskazówką, co do zamiarów przeciwnika.

Wyróżnia się następujące poziomy wykrywania (rozpoznania):

- **wykrycie** - znany jest rodzaj działania, ale nie jest znana siła;
- **rozpoznanie** - znany jest typ jednostki (czołgi, piechota), rodzaj działania oraz liczba pojazdów;
- **identyfikacja** - oprócz powyższych danych, znany jest także typ pojazdów(T-72, M-113, itp.)

Model wojsk zmechanizowanych i pancernych

W modelu wojsk zmechanizowanych i pancernych rozróżnia się działanie:

- Działanie na pojazdach, gdy żołnierze znajdują się w wozach bojowych i są chronieni przed ogniem broni strzeleckiej przeciwnika. Aktywny jest wtedy system broni pokładowej, którym razi się przeciwnika. Zniszczenie lub poważne uszkodzenie pojazdu pociąga za sobą również wyższe straty w sile żywej.
- Model piechoty jest stosowany do symulacji działań bojowych, w których żołnierze nie poruszają się w wozach bojowych. Mogą prowadzić ogień z broni strzeleckiej do przeciwnika i są narażeni na podobne oddziaływanie ze strony przeciwnika. Wozy bojowe i czołgi jeśli towarzyszą piechocie, wspierają swymi systemami broni piechotę. Jednak tempo działania musi być dostosowane do możliwości spieszonych żołnierza. W obronie żołnierze zwykle znajdują poza pojazdami w zależności od rodzaju obrony odpowiednio ukryci.

Tempo natarcia na wozach bojowych jest wyższe niż w przypadku natarcia wojsk spieszonych.

Model artylerii

Model artylerii odwzorowuje kierowanie przez operatora jednostkami artylerii i moździerzy. Różnica między modelem ognia bezpośredniego, a modelem artylerii polega na tym, że w modelu artylerii, pododdziały artylerii nie prowadzą ognia automatycznie, lecz decyzja o tym jest podejmowana przez operatora i także on wskazuje cele (obiekty przeciwnika) dla artylerii. Model sprawdza odległość między stanowiskami artylerii, a celem i informuje operatora o odległości przekraczającej zasięg posiadanych systemów broni. Operator decyduje o intensywności ognia i rodzaju amunicji. Jeśli pododdziały artylerii nie znajdują się na stanowiskach ogniowych to ogień może być prowadzony dopiero po czasie niezbędnym na zajęcie przez pododdziały artylerii stanowisk ogniowych. Efekt strzelania jest rozpraszany wokół punktu, który jest celem. Model uwzględnia w swoich obliczeniach warunki terenowe, atmosferyczne, rodzaj amunicji oraz parametry systemu broni.

Model uderzeń lotnictwa - samolotów

Model ataku lotnictwa symuluje oddziaływanie lotnictwa na jednostki i obiekty terenowe. Umożliwia trening dowódców w koordynacji wspomaganie powietrzne. Atak sił powietrznych może być prowadzony w różny sposób:

- polegający na wskazaniu celu lub wielu celów ataku. Cele te są wcześniej rozpoznane i jest to konkretne zadanie dla lotnictwa.
- polegający na wyznaczeniu tras lub stref, które lotnictwo ma patrolować i niszczyć wykryte cele. W tym przypadku lotnictwo prowadzi jednocześnie rozpoznanie i niszczenie. Kolejność niszczenia celów jest określona na liście priorytetów.

Straty obiektów ataku zależą od rodzaju systemu broni, w który są wyposażone atakujące samoloty, rodzaju obiektu i jego możliwości w zakresie OPL, a także warunków terenowych i atmosferycznych. Warunki atmosferyczne mogą uniemożliwić wykonanie zadania. Istnieje również prawdopodobieństwo wykonania ataku na obiekty własne znajdujące się w strefie lub blisko celu ataku.

Model oddziaływania lotnictwa wojsk lądowych (śmigłowców)

Model ten jest przeznaczony do symulacji oddziaływania śmigłowców na polu walki, treningu dowódców w stosowaniu broni przeciwpancernej (w obronie i natarciu). W modelu jest możliwa symulacja ataku, wykrycia celów, otwarcia ognia bezpośredniego przeciwko wykrytym obiektom na ziemi. Operator wyznacza rubież i czas ataku. Model współdziała z modelem terenu, który określa wysokość, z której widoczne są obiekty przeciwnika. Skuteczność ataku zależy od odległości, warunków terenowych, atmosferycznych oraz użytych systemów broni, a także rodzaju obiektu ataku i jego odporności, możliwości stosowania zakłóceń, ukrycia. Strefa ognia specyfikuje koło wewnątrz którego znajdują się cele, które są niszczone według określonego priorytetu. Kolejność oraz priorytet jest częścią procesu kierowania ogniem gdy cele nie są specyfikowane.

Model logistyki

Model logistyki ogranicza się jedynie do:

- modelu zużycia materiałów pędnych (mps). Obliczenia w modelu opierają się na normach zużycia tych materiałów przez obiekty podstawowe podczas różnych form działania i ich intensywności. Obliczenia mają charakter pewnego przybliżenia do rzeczywistego zużycia. Niemniej pozwala to zwrócić uwagę na istotny czynnik powodzenia w walce. Brak materiałów pędnych zatrzymuje obiekty w miejscu i ogranicza skuteczność prowadzenia ognia z jednej strony, a wystawia na łatwiejsze zniszczenie przez przeciwnika. Stan mps podległych obiektów operator może odczytać w każdej chwili.
- modelu zużycia amunicji. Obliczenia w modelu ograniczają się do rejestrowania zużycia amunicji podczas walki. Zużycie zależy od intensywności prowadzonego ognia, którą z kolei zarządza operator. Gdy zapas amunicji maleje poniżej 50% model sam zmniejsza intensywność ognia.
- model uzupełniania mps i amunicji nie odzwierciedla całego procesu zaopatrzenia i uzupełniania. Jest on jedynie pewną imitacją tego procesu. Pozwala on operatorom na zamawianie mps i amunicji u przełożonego do najwyższego szczebla ćwiczenia włącznie, który zamówienie składa w kierownictwie ćwiczenia. Zmusza to ćwiczące sztaby do częściowego realizowania procesu zaopatrzenia. Kierownictwo ćwiczenia po określonym czasie przydziela amunicję i mps po kolei wszystkim ćwiczącym obiektom bezpośrednio uzupełniając w bazie danych stany amunicji i mps. Nie dzieje się to automatycznie. Musi bowiem minąć stosowny czas od złożenia zamówienia do chwili otrzymania go przez walczące obiekty. Proces uzupełniania może być losowo

zakłócany w zależności od aktualnej sytuacji na polu walki, podejmowanych działań przez stronę przeciwną, jego aktywności szczególnie lotnictwa na tyłach. Spóźnione zamówienie amunicji lub mps może spowodować, że uzupełnienie będzie spóźnione i obiekty utracą zdolność bojową. Tak więc model nie rozwiązuje w pełni problemu jednak pozwala na wyostrenie uwagi ćwiczących na problem zaopatrzenia.

Model inżynieryjny

W modelu inżynieryjnym odwzorowywane są jedynie procesy:

- stawiania pól minowych przez obiekty podstawowe. Model uwzględnia możliwości (wydajność) tych obiektów w tym zakresie. Czas stawiania pola minowego zależy od jego wielkości, rodzaju min oraz sposobu ich stawiania.
- rozminowywania pól minowych. Podobnie jak minowaniu model uwzględnia możliwości pododdziału inżynieryjnego na wykonanie przejść w polu minowym. Czas rozminowania zależy od rodzaju min, wielkości pola minowego oraz od sposobu rozminowania,

Przedstawione **modele podstawowe** i **specjalistyczne** stanowią jądro podsystemu symulacji walki. Uszczegółowienie koncepcji rozwiązania i algorytmizacja każdego z modeli oraz ich implementacja powinna następować w kolejnych etapach prac.

4.4. Zestawienie porównawcze podstawowych charakterystyk systemów ABS2000, SimoF, JTLS oraz Złocien

Lp	Charakterystyka	SimoF	ABS2000	JTLS	Złocien
1	Szczebel prowadzonych ćwiczeń	Korpus do batalionu	Korpus do batalionu	Korpus do batalionu	Korpus do batalionu
2	Modelowane rodzaje działań	Połączone operacje powietrzno-ładowe	Połączone operacje powietrzno-ładowe oraz działania inne niż wojna	Modeluje współdziałanie na polu walki wszystkich komponentów sił powietrznych, lądowych i morskich z uwzględnieniem różnorodności wsparcia logistycznego, operacyjnych sił specjalnych oraz elementów rozpoznania oraz operacji innych niż wojna.	Symulowanie działania podległych wojsk zgodnie z zadaniami postawionymi przez sztaby i uwzględniające przy tym możliwości tych wojsk oraz warunki działania.
3	Rodzaje ćwiczeń	Wieloszczeblowe, jedno i dwustronne	Wieloszczeblowe, jedno i dwustronne	Wieloszczeblowe, jedno, dwustronne i wielostronne	Wieloszczeblowe, jedno i dwustronne
4	Fazy wspomaganie ćwiczeń	Wszystkie fazy przygotowania, prowadzenia i oceny ćwiczeń	Wszystkie fazy przygotowania, prowadzenia i oceny ćwiczeń	Wszystkie fazy przygotowania, prowadzenia i oceny ćwiczeń	Wszystkie fazy przygotowania, prowadzenia i oceny ćwiczeń
5	Struktura organizacyjna systemu	Oddzielne moduły do realizacji wybranych zadań	Oddzielne moduły do realizacji wybranych zadań	Oddzielne moduły do realizacji wybranych zadań.	Oddzielne moduły systemu w ramach platformy HLA
6	Rodzaje baz danych	Struktury organizacyjne stron; Parametry sprzętu i wyposażenia;	Geograficzno-przestrzenna; Środowiska (meteo); Parametrów statycznych; Struktury organizacyjne stron	Struktury organizacyjne stron; Parametry sprzętu, uzbrojenia i wyposażenia. Baza danych jednostek zawiera symbole	Struktury organizacyjne stron; Parametry sprzętu, uzbrojenia i wyposażenia. Systemy dowodzenia pola

		Geograficzno-przestrzenna.	Parametry sprzętu i wyposażenia.	graficzne, systemy dowodzenia pola walki, wsparcia, uwzględnia prędkość pojazdów i marszu piechoty oraz dane rozpoznawcze. Modelowanie terenu metodą kwadratów o boku 200 m w oparciu o mapę cyfrową uwzględnia zarówno ogólne jak i szczegółowe charakterystyki terenu jak zdolność do przemieszczeń wojsk, ukształtowanie poziome i pionowe terenu oraz skażenie chemiczne i nuklearne.	walki, wsparcia, uwzględnia prędkość pojazdów i marszu piechoty oraz dane rozpoznawcze. Modelowanie terenu metodą kwadratów o boku 200 m w oparciu o mapę cyfrową uwzględnia zarówno ogólne jak i szczegółowe charakterystyki oraz model sieci drogowo-kolejowej.
7	Epizody (rodzaje) działań odwzorowywane w modelu	Prawie wszystkie	Wszystkie epizody	Wszystkie epizody	Prawie wszystkie. Każda jednostka podstawowa posiada wbudowany automat decyzyjny
8	Forma zobrazowania obiektów	Standardowe: obiekty indywidualne	Niestandardowe: obiekty zagregowane	Niestandardowe: obiekty zagregowane	Zobrazowanie z KOLORADO oraz ADatP3
9	Forma odwzorowania	Graficzny interfejs (GUI); Bazy danych; Wzorcowe bazy danych; Możliwość modyfikacji baz danych i parametrów; Manualne sterowanie przez operatora modelami specjalistycznymi.	Graficzny interfejs (GUI); Automatyczna dekompozycja rozkazu szerebla nadrzędnego do podwładnych i automatyzm działania inicjowany przez automatyzm obiektów elementarnych.	Graficzny interfejs (GUI); Program do obsługi komunikatów i wiadomości oraz program do przedstawienia informacji w sposób zagregowany (zestawienia tabelaryczne).	Interfejs graficzny. Dekompozycja rozkazu szerebla nadrzędnego do podwładnych i automatyzm działania inicjowany przez automatyzm obiektów elementarnych.
10	Faza analizy	Dostęp do wszystkich stanów przebiegu eksperymentu; Zestawienia statystyczne	Bogata oferta możliwości powtarzania przebiegów, raportowania i analizy statystycznej.	Bogata oferta możliwości powtarzania przebiegów, wykonywania punktów kontrolnych oraz raportowania i analizy statystycznej.	Dostęp do wszystkich stanów przebiegu eksperymentu; Zestawienia statystyczne

11	Odwzorowywane działania (koncepcja symulacji)	<p>analizy przebiegów alternatywnych</p> <p>Stosowane modele: Piechoty zmechanizowanej; Artylerii; Obrony Przeciwpowietrznej; Wojsk inżynieryjnych; Lotnictwa wojsk lądowych; Sił powietrznych; Rozpoznawczych; Logistyki; Przegrupowanie wojsk.</p>	<p>Stosowane modele: Modele bazowe: (ruchu i ognia bezpośredniego); Modele specjalistyczne: model piechoty; model artylerii; model lotnictwa (samolotów i śmigłowców); model OPL; model logistyki (zaopatrzenie, odtwarzania, zabezpieczenie medyczne i kadrowe); model inżynieryjny.</p>	<p>Stosowane modele: Wojska lądowe – prowadzenie ognia bezpośredniego i pośredniego, przemieszczenie jednostek, ataku, przygotowanie stałej i pospiesznej obrony, działania opóźniające, wycofanie sił, minowanie terenów, wsparcie powietrzne wojsk lądowych, monitoring skażenia bronią NBC, minowanie przy pomocy min opóźniających i czyszczących, budowanie i przetrzucanie przepraw mostowych, walkę bezpośrednią jednostek.</p> <p>Lotnictwo – użycie samolotów AWACS, walkę elektroniczną, tankowanie w powietrzu, użycie eskorty myśliwców, samolotów pomocniczych wsparcia, rozpoznanie uzbrojone i nieuzbrojone, wykonanie zrzutów powietrznych, załadunku powietrzego i zaopatrzenia statków powietrznych, zrzutu min lądowych i morskich z powietrza, walkę powietrzną, zastosowanie bezpośredniego wsparcia lotniczego, walki z okrętami podwodnymi, rozpoznania przy</p>	<p>Uwzględnia: Struktura pola walki Stan strony konfliktu ekompozycja na jednostki podstawowe i złożone (elementarne i wyższych szczebli) – unifikacja opisu Stan jednostki Modelowanie decyzji na szczeblu elementarnym i wyższym Algorytmy działania różnych typów jednostek Odwzorowanie otoczenia – teren, warunki meteo</p> <p>Stosowane modele: Model otoczenia pola walki; Zunifikowany model jednostki podstawowej; Modele jednostek walczących; Modele jednostek dowodzenia i łączności; Modele jednostek artylerii; Modele jednostek artylerii przeciwlotniczej; Modele jednostek WRE; Modele jednostek rozpoznania; Modele jednostek lotnictwa wojsk lądowych;</p>
----	---	--	---	--	---

		<p>Model jednostek zabezpieczenia materiałowego; Model jednostek zabezpieczenia technicznego; Model jednostek zabezpieczenia inżynierskiego; Model jednostek zabezpieczenia przeciwchemicznego; Model jednostek zabezpieczenia medycznego; Model oddziaływania marynarki wojennej; Model jednostek złożonych i algorytmy ich funkcjonowania; Model złożonych jednostek walczących : Model złożonych jednostek wspierających: Model złożonych jednostek zabezpieczenia działań:: bojowych Model otoczenia:</p>
		<p>pomocy kosmicznych obiektów wywiadowczych, operacje poszukiwania i ratowania rozbitków SAR, uwzględnienie systemów rozpoznania samolotów „swój-obcy”.</p> <p>Marynarka wojenna – operacje powietrzne z lotniskowców, załadunek okrętów i statków, przeszukiwanie radiolokacyjne obszarów morskich, użycie pocisków woda-woda, użycie artylerii okrętowej, stawianie zapór ogniowych, operacji desantowych i podwodnych, patrolowanie akwenów morskich, morskiej walki przeciwminowej i stawianie min, śledzenie okrętów wroga. Jednostki specjalne – działania sabotażowe na tyłach wroga, rozpoznanie, akcje bezpośrednie i zasadzki przeciwko określonym typom jednostek i obiektów.</p> <p>Logistyka – działania logistyczne w warunkach działań bojowych włącznie z obsługą i odtworzeniem gotowości bojowej sprzętu wojskowego i uzbrojenia, uzupełnianie zapasów, przemieszczanie jednostek transportem kolejowym,</p>

					drogowym i na barkach, tankowanie z wykorzystaniem rurociągów, załadunek i rozładunek w portach, poszukiwanie i rozpoznawanie jednostek logistycznych przeciwnika. Rozpoznanie – wywiad okresowy, rozpoznanie z desantu i z orbity okołozemskiej.	
12	Modele matematyczne	Równania Lanchestera z wykorzystaniem współczynników i prawdopodobieństwa zniszczenia, wyliczanych dla zmieniających się warunków takich jak czas przygotowania, atak na skrzydło, pora doby i teren	dla modeli ognia bezpośredniego – zmodyfikowany (probabilistyczny układ równań Lanchestera); dla innych modeli – metody Monte Carlo; dla modelu wykrywania-model Jonsona		Model walki Lanchestera określony jako: <i>mieszany, heterogeniczny, zatrzymywany czasem</i> . W działaniach lotniczych oraz działaniach ziemia-powietrze do obliczenia rezultatów potyczki użyto zmiennych losowych: pK, pH i pE.	Równania Lanchestera z wykorzystaniem współczynników i prawdopodobieństwa o zróżnicowanych rozkładach zniszczenia, wyliczanych dla zmieniających się warunków takich jak czas przygotowania, pora doby i teren
13	Platforma sprzętowa	Sun/Sparc oraz PC/Intel	Sun/Sparc		Sun/Sparc oraz PC/Intel	Sun/Sparc oraz PC/Intel
14	System operacyjny	Solaris, Windows NT	European Solaris (Unix SVR4)		Solaris, Windows NT, Linux	Solaris, Windows NT
15	Stosowane technologie	Fortran 77 oraz C standard	Środowisko obiektowe C++		Środowisko obiektowe SIMSCRIPT, C++	ADA, C++, RTI, ORACLE
16	Zgodność ze standardami i normami				Pełna zgodności JTLS z architekturą HLA oznaczająca kompatybilność współdziałania JTLS z innymi ośrodkami symulacyjnymi. Zgodny ze standardem określonym przez Agencję NC3A dla symulatorów	Pełna zgodności JTLS z architekturą HLA oznaczająca kompatybilność współdziałania z innymi systemami.

17	Inne zastosowania				NATO. Operacje inne niż wojna: operacje utrzymania pokoju, operacje przeciwko kartelom narkotykowym, operacje wymuszenia pokoju, operacje antyterrorystyczne.	
----	-------------------	--	--	--	--	--

Tabela 1. Porównanie symulacyjnych systemów walki SomoF, ABS2000, JTLS I Złocien.

Zestawienie architektury sprzętowo - programowej dla wybranych systemów symulacji walki przedstawia Tabela 2.

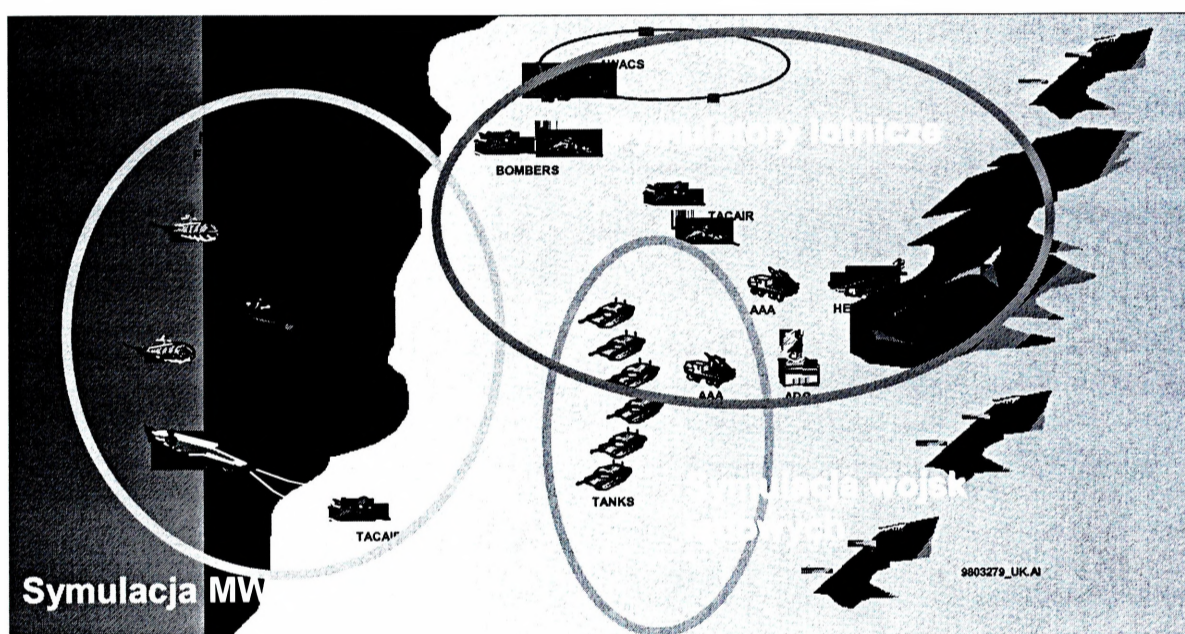
LP	Nazwa systemu	Platforma sprzętowa/Procesor	System operacyjny	Stanowiska pracy
1	JTLS	Sun /Sparc	Solaris	Stacje robocze, Terminale graficzne
		Intel/Pentium IV	X86 Solaris	
			Linux	
2	ABS2000	Sun/Sparc	European Solaris (Unix SVR4)	Stacje robocze X-Terminale
			Open Widows v.3	
3	SimoF	Sun/Sparc	Solaris 2.x	Stacje robocze
		PC	Linux	
			Windows NT	
4	Złocień	Sun /Sparc	Solaris	Stacje robocze X-Terminale
		Intel/Pentium IV	Linux	
		PC	Windows NT/2000	

Tabela 2. Zestawienie architektury sprzętowo-programowej.

Zestawienie powyższe wskazuje, że nie istnieje jeden uniwersalny modeli walki zbrojnej. Wybór konkretnego modelu może być podyktowany wieloma czynnikami jak np. wielkością , co wiąże się różnorodnością obiektów, rodzajami walczących jednostek, uzbrojeniem, taktyka, itp. Platforma sprzętowa i programowa również nie jest tak zróżnicowana.

5. INTEGRACJA SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH WALKI

Technologie informatyczne na współczesnym etapie rozwoju powinny zapewnić jednorodne środowisko pracy i podobny jakościowo stopień i zakres wspomagania. Nie jest bowiem akceptowalna praca na różnych, odizolowanych systemach informatycznych przez osoby ćwiczące. Zatem kluczową sprawą w najbliższej perspektywie czasu jest integracja systemów symulacyjnych oraz systemów dowodzenia stosowanych w poszczególnych rodzajach sił zbrojnych. Toteż wydaje się, że konieczne jest wskazanie problemów, które muszą być rozwiązane w trakcie przeprowadzania integracji systemów symulacyjnych, a także zasygnalizowanie możliwych rozwiązań.



Rys. 14. Koncepcja integracji symulacji działań połączonych.

5.1. Narzędzia integracji systemów symulacyjnych –technologia HLA

Aktualnie stosowane i projektowane systemy symulacyjne budowane są lub muszą pozwalać na wymianę danych na bazie platformy systemowej nazywanej HLA, czyli *High Level Architecture*. Standard HLA obejmuje w sobie szereg zagadnień ułatwiających projektowanie i integrację systemów symulacyjnych, ograniczając liczbę koniecznych decyzji konstrukcyjnych przez narzucenie określonych rozwiązań. Przy łączeniu systemów symulacyjnych opracowanych zgodnie ze standardem HLA, zbiór zagadnień koniecznych do rozwiązania staje się zawężony – lecz należy zaznaczyć – nie oznacza to, że jest to zadanie

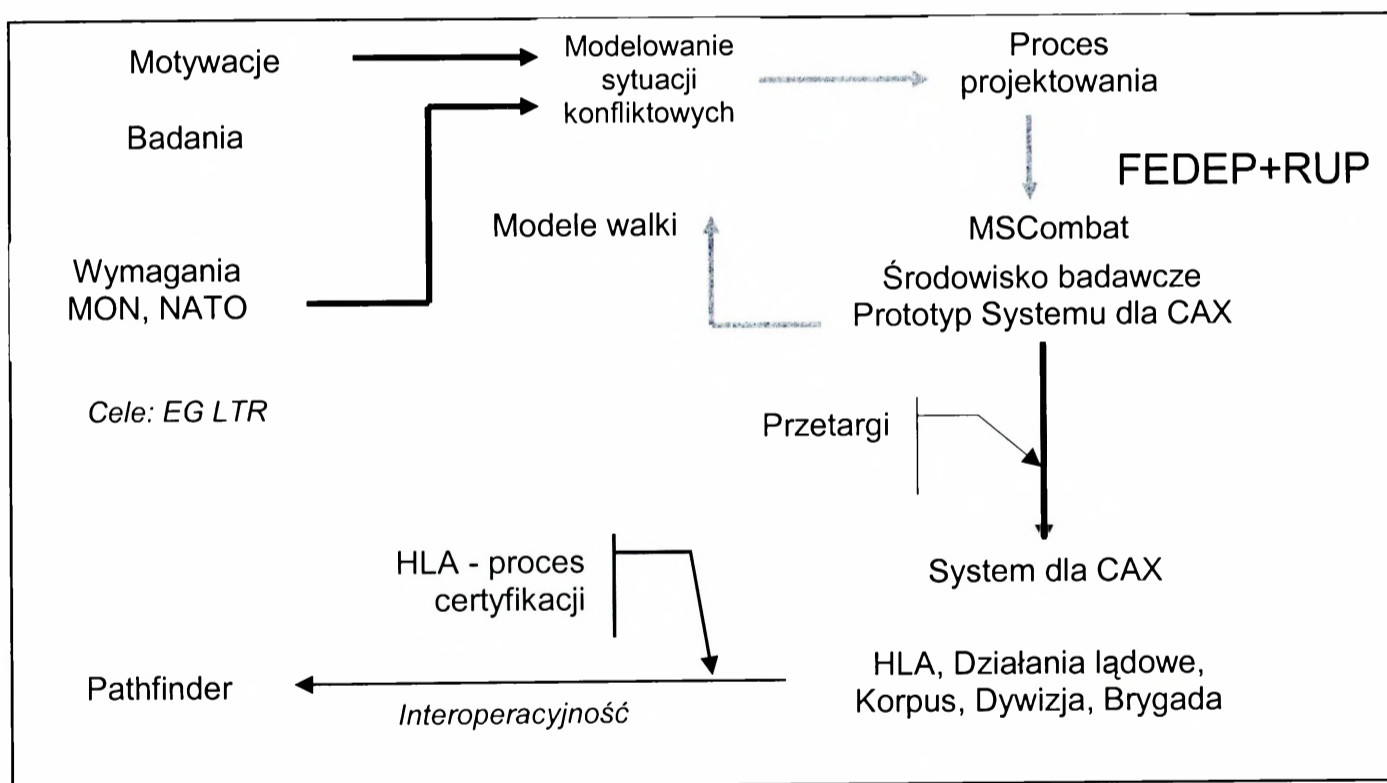
łatwe. Konieczne jest dokładne zdefiniowanie zasad wymiany danych, kontroli symulacji, modeli obiektowych itp.

HLA jako najnowszy standard integracji systemów symulacyjnych zapewnia:

- wspólną architekturę umożliwiającą prowadzenie eksperymentów symulacyjnych w syntetycznym środowisku rozproszonym.
- standard integrujący ludzi, sprzęt i systemy informatyczne, w tym różnego typu symulatory;

oraz przede wszystkim:

- ÷ interoperacyjność powiązanych symulatorów,
- ÷ możliwość wielokrotnego wykorzystania elementów systemów symulacyjnych,
- ÷ rozdzielenie warstw elementów symulacyjnych i warstwy elementów pomocniczych środowiska.



Rys. 15. Uwarunkowania projektu systemu symulacyjnego

Dokumenty definiujące HLA

HLA jest definiowana przez trzy podstawowe dokumenty:

- ÷ HLA Framework and Rules
IEEE P1516;
- ÷ HLA Federate Interface Specification;
IEEE P1516.1

÷ HLA Object Model Template (OMT)
IEEE P1516.2

Federation Object Model (FOM) – (An identification of the Essentials) klasy obiektów, atrybuty obiektów, interakcje obsługiwane przez federację. W dodatku, klasy opcjonalne dodatkowej informacji wyspecyfikowane w celu bardziej kompletnego opisu struktury federacji lub jej „zachowania”. NATO MSMP 1998

HLA, jest standardem definiującym zbiór funkcji na potrzeby budowania systemów symulacyjnych. Wykorzystywanie oprogramowania zgodnego z HLA daje następujący korzyści:

- możliwość rozproszonego wykonywania symulacji na wielu komputerach,
- ułatwienie zarządzania czasem symulacji,
- prostą komunikację pomiędzy rozproszonymi elementami symulacji,
- możliwość współpracy z innymi symulacjami zbudowanymi w oparciu o HLA.

Model HLA operuje na kilku podstawowych pojęciach:

- federacja : cała symulacja,
- federat : pojedynczy element symulacji,
- model obiektowy: obiekty²² i interakcje²³ tworzone i przekazywane przez federatów.

W praktyce na symulację budowaną w oparciu o HLA składa się zbiór federatów podłączających się do federacji (tworzących federację). Federaci tworzą obiekty, zmieniają wartości atrybutów obiektów, rejestrują się na zmiany atrybutów, przesyłają i otrzymują interakcje.

Standard HLA narzuca zbiór zasad, które muszą być spełnione by można było mówić o zgodności ze standardem. W związku z powyższym, konsekwencją założenia zgodności symulatora ze standardem HLA jest przyjęcie, że poszczególni federaci wytworzeni będą zgodnie z następującymi regułami²⁴:

- każdy federat powinien być w stanie wysyłać i otrzymywać informację o zmianie atrybutów obiektów zdefiniowanych w SOM oraz wysyłać i otrzymywać interakcje zdefiniowane w SOM

²² Obiektem w sensie HLA jest struktura danych podlegająca znanemu z metodologii obiektowej dziedziczeniu. Istotną różnicą jest fakt, że obiekt HLA nie ma powiązanych ze sobą metod / funkcji. Obiekty HLA mogą istnieć przez dowolnie długi czas trwania symulacji.

²³ Interakcją w sensie HLA jest Obiekt HLA którego czas życia ogranicza się do czasu przesłania informacji, tj. jest on tworzony, wysyłany i niszczone zaraz po odebraniu go przez adresata.

²⁴ Por. **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** s. 1-2 do 1-3

- każdy federat powinien mieć zdefiniowany własny model obiektowy symulacji SOM²⁵ (*Simulation Object Model*),
- każdy federat powinien być w stanie oddać lub pobrać odpowiedzialność za aktualizację wybranych atrybutów obiektów zgodnie z definicją w SOM,
- każdy federat powinien być w stanie ustalić warunki na których wysyła informacje o zmianie atrybutów zgodnie z definicją w SOM,
- każdy federat powinien być w stanie zarządzać swoim lokalnym czasem symulacji.

Ponadto cała federacja (symulacja) musi przestrzegać następujących reguł:

- federacja powinna posiadać zdefiniowany swój model obiektowy federacji FOM²⁶ (*Federation Object Model*),
- wszystkie obiekty federacji występujące w FOM powinny mieć swoją reprezentację w odpowiednich federatach, a nie w infrastrukturze HLA,
- podczas pracy federacji wymiana danych FOM powinna odbywać poprzez infrastrukturę HLA,
- każdy federat federacji powinien kontaktować się z HLA zgodnie ze zdefiniowanym interfejsem do HLA,
- podczas pracy federacji każdy atrybut obiektu FOM powinien być w posiadaniu tylko jednego federata (w tym samym czasie).

5.1.1. Infrastruktura programowa systemów symulacyjnych w środowisku HLA

Systematyzując oprogramowanie systemów symulacyjnych w standardzie HLA można podzielić na następujące bloki:

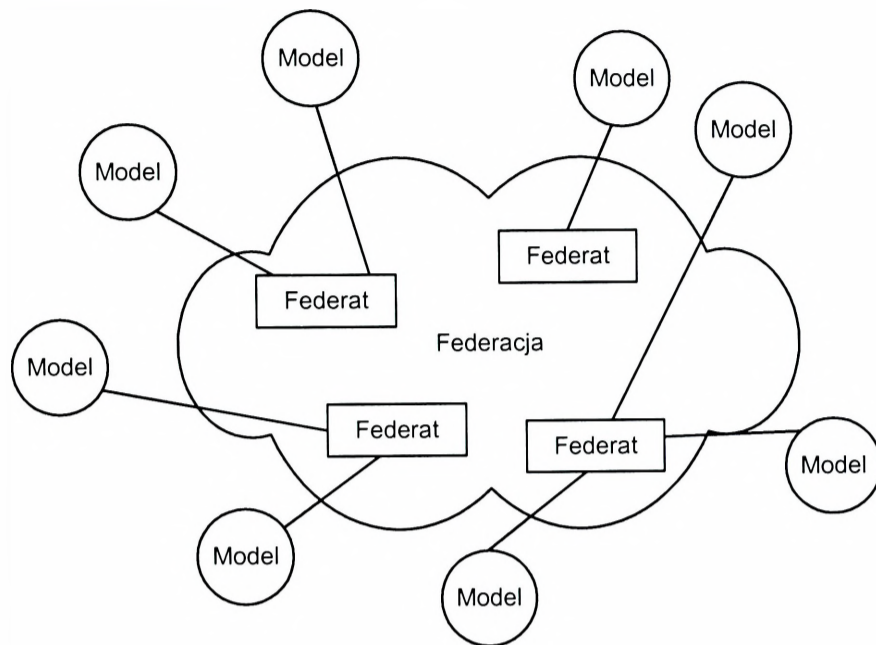
- federacja – kompletny system składający się z pojedynczych modułów symulacyjnych i modułów dodatkowych (np. zobrazowania) – federatów
- federat – najmniejszy samodzielny element systemu realizujący określoną część funkcjonalności. Istotną cechą federata jest możliwość komunikacji tylko i wyłącznie za pośrednictwem SHLA. Federaci mogą zawierać w sobie jeden lub więcej modeli symulacyjnych.

²⁵ Pod pojęciem model obiektowy SOM rozumiany jest model obiektowy reprezentujący wszystkie symulowane obiekty i interakcje, które są przez danego federata wykorzystywane.

²⁶ Pod pojęciem model obiektowy FOM rozumiany jest model obiektowy wszystkich symulowanych obiektów w ramach całej federacji

- model symulacyjny – elementarny moduł oprogramowania zapewniający funkcjonalność elementu symulowanego świata pracujący w ramach federata.

W tak przygotowanej infrastrukturze mogą być osadzone poszczególne modele symulacyjne.



Rys. 16. Koncepcja modeli w ramach federatów symulacji.

Grupowanie modeli w ramach jednego federata zostało podyktowane dwoma powodami:

- wydajnościowym – ograniczenie liczby federatów,
- logicznym – łączenie modeli operujących na podobnych lub tych samych danych.

Odpowiedzialność modeli symulacyjnych ogranicza się do:

- sterowanie czasem symulacji,
- rejestrowanie się na zmiany atrybutów i odbiór interakcji,
- wysyłanie zmian atrybutów obiektów oraz wysyłanie interakcji,
- przetwarzanie informacji o zmianach atrybutów i o zaistniałych interakcjach,
- właściwą współpracę w infrastrukturą HLA.

W istocie cała „logika” symulatora zawarta jest w modelach. Dodatkowo modele czerpią wiedzę o symulowanym świecie z bazy danych sił i środków. Specjalizowane zadania systemu symulacyjnego takie jak archiwizacja czy też wizualizacja aktualnej sytuacji także realizowane będą przez odpowiednio zaimplementowane specjalizowane modele.

Traktowanie całego systemu jak zbioru modeli ma swoje zalety i wady; do zalet możemy zaliczyć:

- podział pracy na ściśle zdefiniowane zadania (modele),
- łatwość testowania,
- łatwość przyszłej rozbudowy systemu.

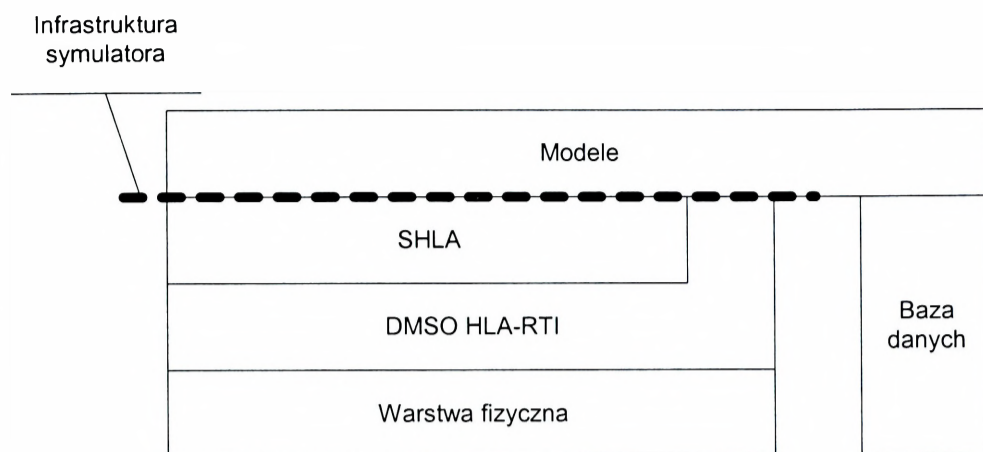
do wad możemy zaliczyć:

- możliwość wystąpienia dużego obciążenia medium komunikacyjnego w przypadku przypisania ściśle ze sobą współpracujących modeli symulacyjnych do różnych federatów.

Projektując infrastrukturę programową systemów symulacyjnych należy zakładać, że modele symulacyjne będą grupowane ze sobą uwzględniając podobieństwo funkcjonalne i intensywność komunikacji. Grupowanie takie nie wpływa na możliwości rozbudowy oprogramowania symulatora ponieważ modele symulacyjne będą mogły komunikować się ze sobą tylko i wyłącznie za pośrednictwem dobrze zdefiniowanego interfejsu programowej infrastruktury symulatora. Podział symulatora na poszczególne modele i federatów uwzględniający powyższą zasadę grupowania modeli symulacyjnych pozwoli na uniknięcie możliwości wystąpienia przeciążenia medium komunikacyjnego symulatora. W ramach optymalizacji możliwe jest także stosowanie dodatkowych mechanizmów komunikacyjnych rozszerzających funkcjonalność projektowanej infrastruktury.

5.1.2. Model warstwowy środowiska pracy SHLA

Wszystkie powyższe zadania model realizuje poprzez warstwę SHLA lub bezpośrednio odwołując się do HLA-RTI, dodatkowo model pobiera i zapisuje dane w bazie danych.



Rys. 17. Model warstwowy infrastruktury oprogramowania symulatora.

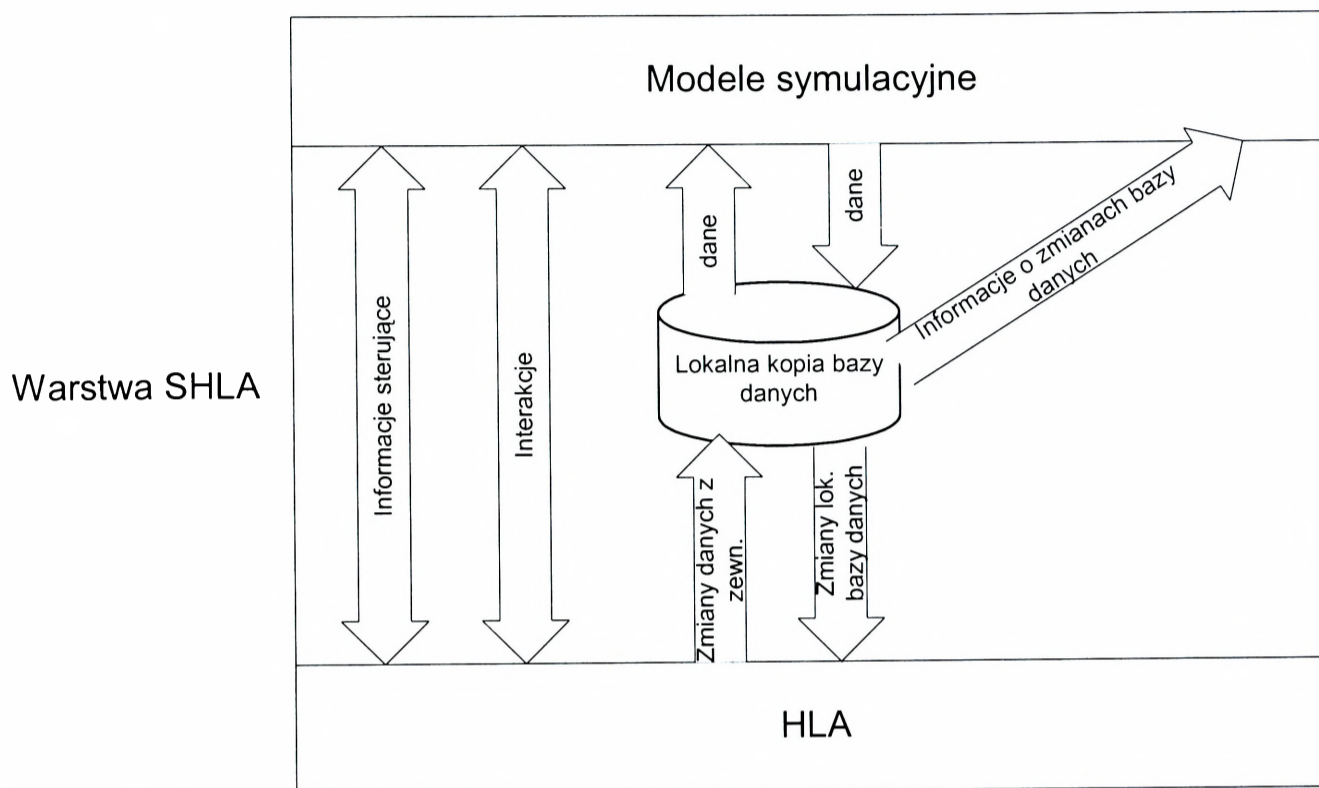
Warstwa SHLA udostępnia za swoim pośrednictwem następującą funkcjonalność :

- sterowanie czasem symulacji,
- rejestrowanie / wyrejestrowywanie na zmiany atrybutów i interakcje,
- wysyłanie zmian atrybutów,
- wysyłanie interakcji,
- powiadamianie modeli o zmianach atrybutów,
- powiadamianie modeli o odbiorze interakcji,
- powiadamianie modeli o innych zdarzeniach zachodzących w infrastrukturze HLA.
- przechowywanie danych przesyłanych o obiektach przesyłanych za pośrednictwem HLA

Wprowadzona funkcjonalność przechowywania danych w ramach SHLA pozwala na traktowanie SHLA jako dynamicznej rozproszonej bazy danych symulatora. Baza ta jest rozproszona, ponieważ jej fragmenty są rozproszone po poszczególnych federatach. Baza ta jest dynamiczna, ponieważ wszelkie zmiany jej zawartości są natychmiast dystrybuowane do wszystkich zainteresowanych federatów. Na rysunku na stronie 116 zaprezentowana została warstwa SHLA w otoczeniu HLA i modeli symulacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem miejsca dynamicznej rozproszonej bazy danych.

Zgodnie ze standardem HLA każdy z federatów ma obowiązek informowania HLA-RTI o wszystkich obiektach i interakcjach, które są przez niego obsługiwane. Wykorzystując tę wiedzę SHLA tworzy w ramach federata lokalną kopię dynamicznej rozproszonej bazy danych w zakresie danych dla federata niezbędnych. Wszelkie zmiany w lokalnej kopii bazy

danych wykonywane przez federata są automatycznie dystrybuowane do kopii baz danych wszystkich baz danych federatów zainteresowanych tymi danymi²⁷. Także zgłoszenie przez federata zainteresowania określoną grupą danych oznacza że w zakresie tych danych jego lokalna baza danych będzie informowana o wszystkich zmianach bazy generowanych przez pozostałych federatów.



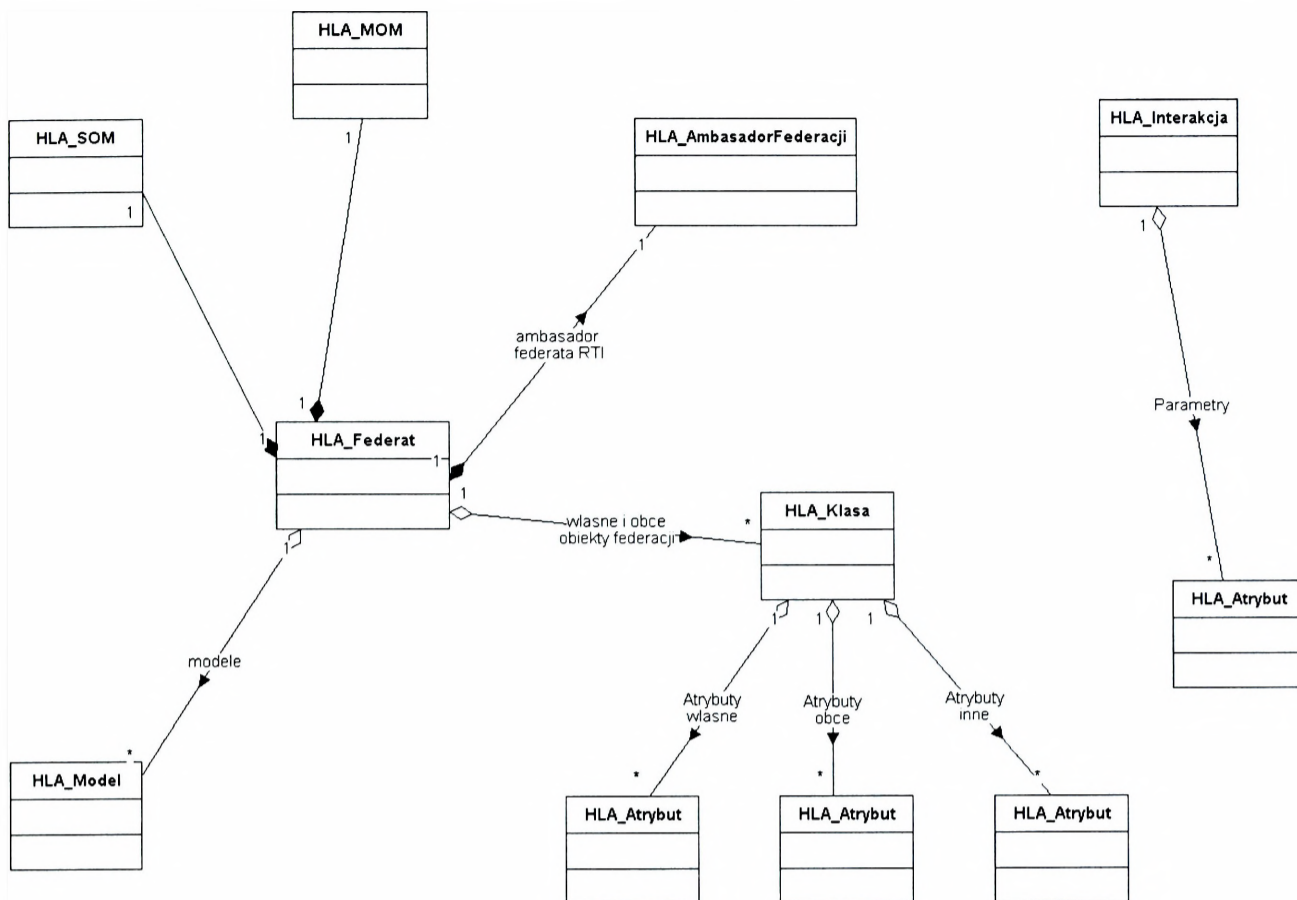
Rys. 18. Przepływy danych w ramach warstwy SHLA

Mechanizm zapewniający modyfikację lokalnej kopii dynamicznej rozproszonej bazy danych przekazuje modelom symulacyjnym informację o zmianach w bazie. Dzięki temu modele symulacyjne mogą natychmiast reagować na wszelkie zmiany w danych dynamicznych opisujących symulowany świat.

5.1.3. Model obiektowy SHLA

Warstwa SHLA zaprojektowana została w metodologii obiektowej. Model obiektowy SHLA przedstawiony został na poniższym rysunku.

²⁷ Np. federat odpowiedzialny za fizykę ruchu obiektów nawodnych zmieniając pozycję geograficzną obiektów automatycznie przekaże tą informację do wszystkich federatów którzy z pozycji geograficznej obiektów korzystają.



Rys. 19. Model obiektowy warstwy SHLA.

W dalszej części przedstawiona została przewidywana funkcjonalność klas projektowanej infrastruktury programowej symulatora.

HLA_Atrybut jest podstawową klasą wykorzystywaną do przechowywania atrybutów (wartości parametrów) symulowanych obiektów, np. prędkości okrętu, kursu okrętu, stanu morza itp.. Klasa **HLA_Atrybut** zapewnia jednolity sposób przechowywania parametrów symulowanych obiektów i jednocześnie umożliwia automatyczną i przezroczystą dla modeli symulacyjnych wymianę informacji o zmianach wartości atrybutów w ramach całego symulatora. Tj. zmiana wartości atrybutu w jednym z federatów spowoduje automatyczną zmianę wartości atrybutu we wszystkich federatach zainteresowanych tym atrybutem.

HLA_Klasa łączy w sobie zbiór atrybutów w kompletny opis symulowanych obiektów. Klasa ta udostępnia możliwość dodawania i usuwania atrybutów, wyszukiwania atrybutów po nazwach, ustalania identyfikatorów atrybutów i klas w ramach symulacji. **HLA_Klasa** przewidywana jest do przechowywania obiektów które mogą istnieć w symulowanym świecie przez określony czas, tak jak np. okręt, POWTiL. Obiekty ulotne

służące tylko przekazywaniu informacji (np. meldunek, rozkaz) realizowane będą przy pomocy klasy HLA_Interakcja. HLA_Klasa łącznie z HLA_Atrybut i HLA_Interakcja tworzy kopię rozproszonej bazy danych zawierającą bieżące dane o symulowanym świecie

Klasa HLA_Interakcja jest to klasa która umożliwi informowanie o obiektach symulacji które są ulotne, tj. istnieją w symulacji tylko w czasie przekazywania informacji. Dobrym przykładem takiego obiektu jest meldunek, który jest tworzony, przesyłany i usuwany po otrzymaniu przez odbiorcę. HLA_Interakcja podobnie jak HLA_Klasa składać się może ze zbioru atrybutów przenoszących właściwą informację. Istotną różnicą w stosunku do HLA_Klasa jest czas życia obiektu. Obiekt symulacji reprezentowany przez HLA_Klasa istnieje tak długo aż model nie zdecyduje że należy go usunąć. Natomiast HLA_Interakcja jest usuwana po przekazaniu do adresata. W związku z powyższym nie jest możliwe aktualizowanie pojedynczych atrybutów interakcji – musi być ona stworzona i wysłana razem z kompletem zdefiniowanych atrybutów.

Klasa HLA_Federat jest podstawową klasą federata. Klasa ta obejmuje sobą szeroki zakres funkcjonalności związany z współpracą oprogramowania modeli symulacyjnych z warstwą komunikacyjną HLA. HLA_Federat udostępnia następujące możliwości:

- tworzenie federacji,
- nawiązywanie połączenia z federacją,
- rezygnację z udziału w federacji,
- usuwanie federacji,
- tworzenie i przechowywanie obiektów symulacji,
- tworzenie i przechowywanie modeli symulacji,
- wysyłania informacji o zmianie parametrów,
- wysyłania interakcji,
- powiadamianie modeli o zdarzeniach HLA,
- powiadamianie modeli o zmianach parametrów obiektów symulacji,
- powiadamianie modeli o interakcjach

Funkcjonalność przedstawiona powyżej obejmuje sobą kompletny zbiór operacji niezbędnych do poprawnej współpracy oprogramowania z HLA uwalniając jednocześnie

tworzącego modele symulacyjne z obowiązku wykonywania szeregu czynności administracyjnych związanych z obsługą symulowanych obiektów i ich atrybutów.

Klasa ta umożliwia także uruchamianie wielu modeli symulacyjnych w ramach pojedynczego federata przez zapewnienie demultipleksacji zdarzeń zachodzących w symulacji na poszczególne modele.

Odbiór informacji o zdarzeniach zachodzących w federacji wykonywany jest za pośrednictwem klasy HLA_AmbasadorFederacji.

Klasa HLA_AmbasadorFederacji zapewnia bezpośredni dostęp do HLA przez informowanie federata o zdarzeniach zachodzących w federacji. Funkcjonalnością swoją pokrywa kompletny zbiór zdarzeń, które mogą pojawić się w federacji.

Klasa HLA_SOM jest istotnym elementem federata umożliwiającym zdefiniowanie wszystkich obiektów które będą wykorzystywane przez danego federata. Przy pomocy HLA_SOM możliwe jest tworzenie poszczególnych obiektów obecnych w symulacji wraz z przypisanymi do nich atrybutami. Dzięki umiejscowieniu kompletnej wiedzy o konstrukcji symulowanych obiektów w jednym miejscu możliwe jest automatyczne tworzenie i usuwanie obiektów na skutek informacji pochodzących od innych federatów.

Przykładowo obiekt utworzony w federacie odpowiedzialnym za podsystem radarowy zostanie automatycznie utworzony w federacie odpowiedzialnym za zobrazowanie.

Klasa HLA_MOM udostępnia podstawowe informacje zarządzające pobierane z federacji (MOM – *Management Object Model* – Model Obiektów Zarządzania). Przewidywane jest pobieranie i udostępnianie informacji o wszystkich zbieranych przez MOM parametrach HLA RTI

Klasa HLA_Model jest podstawową klasą na bazie, której tworzone będą modele symulacyjne. Interfejs pomiędzy HLA_Federat a HLA_Model zapewnia informowanie modeli symulacyjnych o wszystkich istotnych zdarzeniach zachodzących w federacji (np. zmiany atrybutów symulowanych przez model obiektów). Model implementowany przy pomocy klasy HLA_Model jest w istotny sposób odizolowany od szczegółów zarządzania dostępem do HLA, a jednocześnie może swobodnie korzystać z udogodnień jakie daje HLA.

W celu uproszczenia dostępu do obiektów symulacji i ich atrybutów oraz interakcji symulacji i ich parametrów założono, że dostęp do tych komponentów odbywa się poprzez nazwy. W implementacji HLA dostęp do wymienionych elementów odbywa się poprzez odpowiednie identyfikatory (handle). Nazwy obiektów, atrybutów, interakcji i parametrów są to dowolnej długości ciągi znaków alfanumerycznych. Mogą np. występować znaki specjalne (np. spacja) lub polskie znaki (np. ą, ę, ć ..).

5.1.4. Model obiektowy SHLA przy tworzeniu modeli symulacyjnych

Utworzenie federata na potrzeby symulacji wymaga realizacji następujących etapów:

- stworzenie obiektu ambasadora federacji,
- stworzenie klasy pochodnej od klasy HLA_SOM – jest to klasa odpowiedzialna za tworzenie obiektów i interakcji symulacji,
- utworzenie obiektu federata HLA_Federat,
- stworzenie klasy lub klas modeli pochodnych od klasy HLA_Model – są to klasy modeli federata, w każdej z tych klas należy zdefiniować następujące metody składowe:
 - Inicjuj – inicjowanie modelu,
 - Czas – pobudzenie modelu co określony czas,
 - Obiekt – informowanie o nowych obiektach symulacji,
 - Interakcja – informowanie o interakcjach symulacji,
 - ZmianaAtrybutów – informowanie o zmianach atrybutów obiektów.
- podłączenie modeli do federata,
- wywołanie metody Inicjuj federata,
- rozpoczęcie symulacji poprzez metodę federata PetlaGlowna, albo poprzez metodę Krok.

5.2. Uwarunkowania integracji systemów

Integracja systemów symulacyjnych opracowanych zgodnie z HLA i wykorzystujących tę infrastrukturę jest ułatwiona, ponieważ wiele zagadnień, które potencjalnie mogą sprawiać problemy integracyjne, rozwiązanych jest już na poziomie infrastruktury HLA. Pozostaje jednak kilka zagadnień, które trzeba rozwiązać, aby można było mówić o pełnej integracji. Zagadnienia to można sformułować za pomocą następujących pytań:

1. Jaki stopień współpracy systemów symulacyjnych jest wymagany;
2. Które dane wypracowane przez dany system symulacyjny mają być dostępne w innym (innym) systemie symulacyjnym i odwrotnie;
3. Jaki jest stopień zgodności danych które mają być wymieniane;
4. W jaki sposób systemy symulacyjne kontrolują wpływ czasu;
5. Czy systemy symulacyjne wykorzystują zgodną infrastrukturę HLA;

Powyższe zagadnienia nie wyczerpują oczywiście wszystkich możliwych pytań, które mogą wystąpić, a w następstwie muszą znaleźć odpowiedź, zanim dojdzie do zakończonej sukcesem integracji.

Wymagany stopień interoperacyjności systemów symulacyjnych.

W zależności od obszaru zagadnień, które obejmowane są przez poszczególne systemy symulacyjne, można mówić o systemach symulacyjnych (samodzielnych, kompleksowych), które nie wymagają współpracy z innymi systemami symulacyjnymi, a także o systemach symulacyjnych elementarnych (dziedzinowych), które realizują tylko wybrany fragment świata symulowanego i do pełnego wykorzystania wymagają współpracy innymi systemami.

Bazując na takim podziale można zidentyfikować dwa typy integracji systemów symulacyjnych:

- integrację informacyjną;
- integrację funkcjonalną.

Integracja informacyjna polega na sprzężeniu informacyjnym systemów symulacyjnych, tj. przekazywaniu pomiędzy nimi określonego zestawu informacji, w celu odwzorowania jednego świata symulowanego. Taka integracja faktycznie pozostawia dwa osobne światy symulowane, których interakcja pomiędzy sobą jest dość ograniczona. Bardzo niewielki, lub żaden jest w takim przypadku wpływ na siebie symulowanych obiektów i modeli nimi zawiadujących.

W przypadku integracji funkcjonalnej można już mówić o współpracy modeli symulacyjnych nad wypracowaniem pojedynczego środowiska symulowanego. Taki typ integracji gotowych już systemów symulacyjnych jest dość trudny i może wymagać wykonania wielu modyfikacji w już funkcjonujących systemach.

Integracja funkcjonalna jest prostsza do uzyskania w początkowych fazach tworzenia systemów symulacyjnych, tj. gdy mające być połączone systemy symulacyjne tworzone są

równoległe i możliwe jest wczesne dostosowanie modeli do współpracy już w fazie projektowej.

Zakres przesyłanych danych pomiędzy systemami symulacyjnymi

To zagadnienie brzmi nieco przewrotnie, ponieważ w ramach infrastruktury HLA każdy uczestnik/model symulacji (federat) ma dostęp do wszystkich danych udostępnianych przez inne modele. Połączone systemy symulacyjne mają zatem dostęp do wszystkich wypracowanych danych. Sama dostępność danych nie sprawia, że możemy mówić o integracji – istotne jest wykorzystanie udostępnianych danych.

Każdy system symulacyjny, wykonany zgodnie z standardem HLA, musi posiadać zdefiniowany model obiektowy danych. Model ten opisuje zbiór obiektów wraz z ich atrybutami, które mogą pojawiać się w symulowanym środowisku. Model obiektowy jest deklaracją interfejsu, którą implementuje dany system symulacyjny.

Wykorzystanie danych udostępnianych w innym systemie symulacyjnym można osiągnąć poprzez dostosowanie modelu obiektowego obu systemów. Dane które mają być wymieniane muszą być zdefiniowane przez identyczny model obiektowy, który może być fragmentem całościowego modelu obiektowego.

Stopień zgodności danych, które mają być wymieniane

Podczas dopasowywania modeli obiektowych należy szczegółowo ocenić zgodność danych. Pod tym pojęciem rozumiany jest zbiór atrybutów danych, który prowadzi do poprawnego przekazania i 'zrozumienia' danych pomiędzy systemami symulacyjnymi. Pierwszym elementem jest zgodność typów danych (liczba całkowita, zmiennoprzecinkowa, literal). Drugim elementem jest zgodność charakteru danych (przyjęta jednostka, listy wyliczeniowe).

Ponieważ infrastruktura HLA samodzielnie nie zapewnia szeregowania (*marshallingu*), toteż należy zadbać o jednakową reprezentację maszynową przesyłanych danych. Zagadnieniem tym objęta jest bajtowa wielkość poszczególnych typów danych jak i ich bajtowa kolejność.

Kontrola czasu

W ramach HLA kontrola czasu jest bardzo szczegółowo zdefiniowana. Różne modele upływu czasu skonstruowane są w taki sposób, by mogły być bez problemu ze sobą

łączone. Jednak by w łączonych systemach symulacyjnych nie było problemów z upływem czasu, należy pamiętać o:

- zunifikowaniu jednostki czasu (np. sekunda, milisekunda, itp.) - tak by jednostka upływu czasu była tak samo rozumiana w integrowanych systemach symulacyjnych;
- zunifikowaniu powiązania czasu z kalendarzem – tak by czas w symulacji oznaczał ten sam moment;
- podjęciu decyzji o sterowaniu powiązaniem czasu symulowanego z czasem rzeczywistym.

Ostatnie zagadnienie związane jest z sterowaniem szybkością pracy symulacji. W ramach systemu symulacyjnego może występować tylko jeden punkt sterowania prędkością symulacji, co wymaga dalszego dostosowania systemów symulacyjnych.

Zgodność infrastruktury HLA

Standard HLA rozwiązuje wiele problemów przy konstruowaniu systemów symulacyjnych. Niestety standard nie precyzuje sposobów w jaki infrastruktura HLA przekazuje dane pomiędzy poszczególnymi federatami. Konsekwencją tego faktu jest uwarunkowanie interoperacyjności systemów symulacyjnych wspólną wersją infrastruktury. Infrastruktura HLA wyprodukowana przez dwie różne firmy nie będzie mogła porozumieć się ze sobą – zatem należy zapewnić tą samą infrastrukturę HLA. Standard HLA definiuje interfejs programisty (API) do infrastruktury, stąd w większości przypadków wymiana infrastruktury sprowadza się do prostej rekompilacji kodu. Jednak pomiędzy poszczególnymi implementacjami RTI HLA występują subtelne różnice, które sprawiają, że proces ten może być dość długotrwały.

5.3. Koncepcja integracji

Koncepcja integracja systemów symulacyjnych zostanie przedstawiona na przykładzie integracji systemu Złocień oraz SIWOSZ, które zostały krótko scharakteryzowane w rozdziale drugim .

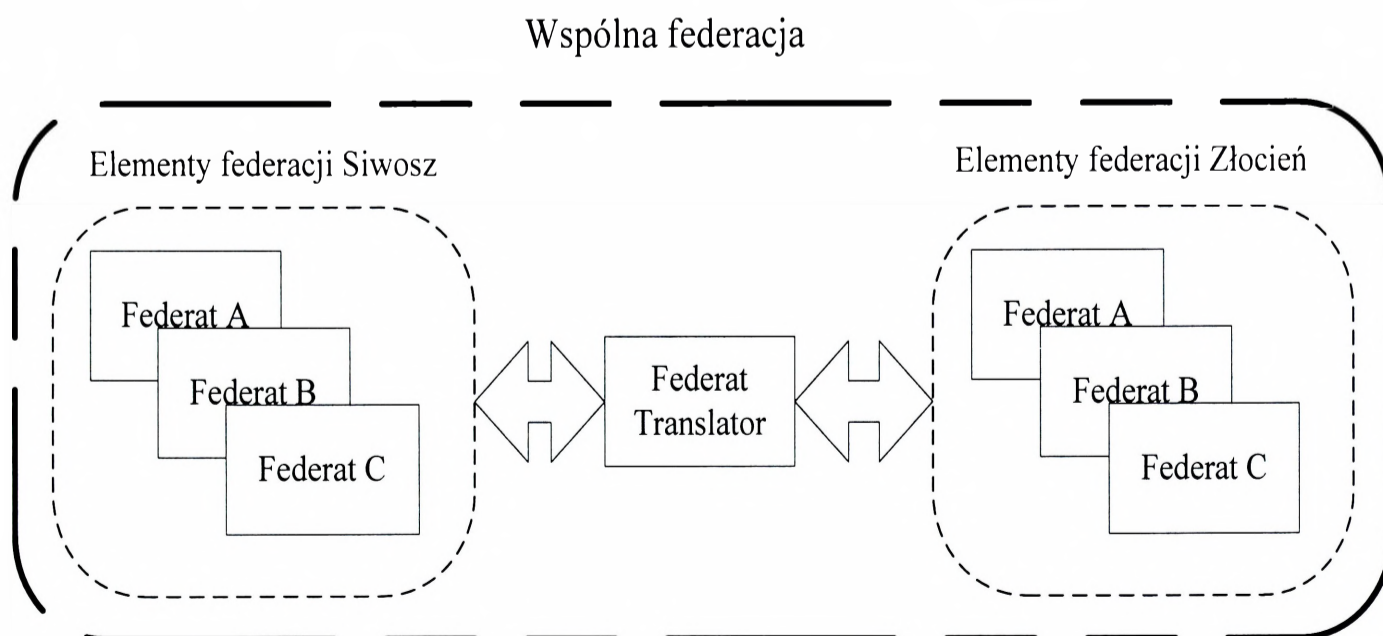
Systemy symulacyjne SIWOSZ i Złocień operują częściowo we wspólnych domenach. Oba systemy stanowią zamknięte całości zdolne do samodzielnego działania, zostały opracowane zostały zgodnie z infrastrukturą HLA AK również nie posiadają wspólnego modelu obiektowego. Oba systemy symulacyjne wytworzone zostały w środowisku SUN Solaris.

Nawet tak skrótowa charakterystyka pozwala na zidentyfikowanie potencjalnych obszarów zagrożeń przy integracji i definitywnie wyklucza możliwość prostego złączenia. Dlatego, propozycja integracji jest dwufazowa – najpierw prosta integracja informacyjna, prowadząca do powstania wspólnego obrazu operacyjnego, a w drugim etapie wprowadzenie integracji funkcjonalnej prowadzącej do możliwości przeprowadzania działań połączonych symulowanych jednostek.

Integracja - faza I

Propozycja pierwszej fazy integracji polega na doprowadzeniu obu systemów symulacyjnych do działania w ramach pojedynczej federacji i wzajemnym udostępnieniu informacji o dyslokacji symulowanych sił, w celu ich zobrazowania na konsolach operatorskich. Wzajemne przekazywanie informacji będzie miało na celu tylko i wyłącznie wypracowanie jednego wspólnego obrazu tła operacyjnego. Na tym etapie nie ma mowy o interakcji obiektów symulowanych. Należy też dodać, że pozostawione zostanie wykorzystywanie jako interfejsu użytkownika, różnych konsol operatorskich, właściwych dla rodzajów wojsk.

Przy założeniu wykonywania zmian tylko w jednym z systemów symulacyjnych możliwe jest wykonanie takiej integracji przez wprowadzenie dodatkowego federata, tłumaczącego dane pomiędzy dwoma modelami obiektowymi. Opracowanie takiego federata wymaga wyselekcjonowania z modelu obiektowego DiMuNDS fragmentu opisującego obiekty obecne także w modelu obiektowym Siwosza, a także na opracowaniu sposobu mapowania danych pomiędzy tymi dwoma fragmentami modeli obiektowych.



Rys. 20 .Umiejscowienie federata tłumacza w połączonej federacji.

Federat translator tłumaczyłby wszystkie zmiany w wyselekcjonowanych fragmentach modeli obiektowych na odpowiednie modyfikacje. Opracowanie takiego federata nie powinno nastroczać wielu trudności i pozwoli na dokładniejsze zrozumienie integracji możliwych w dalszej kolejności, a także pozwoli na opracowanie rozwiązań takich innych zagadnień jak:

- zapewnienie wspólnej infrastruktury RTI HLA,
- zapewnienie wspólnej interpretacji upływu czasu i jego umiejscowienia kalendarzowego
- zapewnienie jednej metody uruchamiania i synchronizacji systemów symulacyjnych

Tak przygotowana pierwsza faza integracji zakończyłaby się demonstracją przeprowadzania prostego wspólnego ćwiczenia w którym zaangażowane byłyby jednocześnie siły lądowe jak i morskie i oba te rodzaje sił byłyby zobrazowywane na konsolach.

Integracja - faza II

Pierwszy etap integracji rozwiązuje większość problemów natury technicznej, drugi natomiast pozwala na rozwiązanie problemów funkcjonalnych. W ramach tego etapu integracji proponowane jest rozważenie integracji symulowanych środowisk, tj. zapewnienie:

- jednego modelu środowiska naturalnego będącego rezultatem połączenia danych o środowisku lądowym i morskim;
- integracji modeli wykrywania, tak by obiekty generowane przez oba systemy symulacyjne mogły 'widzieć się wzajemnie';
- integracji modeli walki tak by możliwa była interakcja pomiędzy symulowanymi obiektami (atak, współdziałanie)

W tej fazie przewiduje się potrzebę wykonywania dużych zmian w modelach obiektowych i poważnych zmian w oprogramowaniu obu połączonych systemów symulacyjnych. Dlatego proponuje się rozbitcie drugiej fazy integracji na szereg etapów, z których każdy kończył by się demonstracją nowego fragmentu funkcjonalności, np. włączenie wykrywania obiektów.

ZAKOŃCZENIE

Przedstawione opracowanie pt. **Analiza porównawcza modeli i systemów symulacyjnych w aspekcie ich funkcjonalności na potrzeby ćwiczeń typu CAX** jest próbą identyfikacji wspólnych cech symulacyjnych systemów walki zrealizowanych na potrzeby szkoleniowe różnych armii.

Na większą uwagę zasługują:

- system ABS2000 produkcji izraelskiej, intensywnie rozwijany;
- systemy KORA/OA i SimoF produkcji niemieckiej, w oparciu o które planowany jest kompleksowy proces szkolenia taktyczno – operacyjnego w armii niemieckiej;
- system JTLS produkcji amerykańskiej, a będący na wyposażeniu CSiKGW. Aktualnie system JTLS jest integrowany z systemem JCATS. W zamyśle planistów stanowić będą platformę realizacji szkolenia wszystkich szczebli dowodzenia w armii USA.
- systemy SIWOSZ i ZŁOCIEN' produkcji polskiej, będące co prawda na etapie prototypów i wdrażania, ale które wykonane zostały w nowoczesnej technologii HLA, która pozwala na ich integrację.

Analiza funkcjonalności wybranych systemów symulacyjnych uwiarydliwiła pewną „wspólną część” (*standard functionality*), zarówno w aspekcie operacyjnym, jak i informatycznym. Ujęcie formalne w postaci modeli matematycznych jest w zasadzie na podobnym poziomie wiedzy ogólnoteoretycznej w tej dziedzinie. Choć o stopniu ich adekwatności autorzy nie mają podstaw wypowiadać się. Proces odwzorowywania realnych procesów walki w modelach formalnych realizowany jest w zasadzie nadążnie (zależy to w znacznej mierze od nakładów na modyfikacje i pielęgnację systemów). Jakkolwiek zadania użytkownika systemów (oraz oczywiście interfejs użytkownika) posiadają swoją specyfikę w tych systemach, to główne funkcje udostępnione operatorom (na określone stanowiska funkcyjne) są podobne. Zachowują pod względem informacyjnym podstawowy warunek, tj. maksymalizacji podobieństwa do realnej sytuacji bojowej. Należy także nadmienić, że różny jest zakres realizacji tych systemów: od wersji laboratoryjnej do wersji polowej ze specjalizowanymi wozami dowodzenia i wszystkimi systemami posiłkowymi.

Przeprowadzona analiza porównawcza wybranych systemów symulacyjnych walki, której syntezę autorzy ujęli w postaci prezentowanego opracowania, będzie przez nich pogłębiana i rozwijana w przyszłości.

Problem symulacyjnych systemów walki jest interesujący poznawczo, znaczący teoretycznie (modele formalne realnych procesów walki!), inspirujący i niosący nowe wyzwania w dziedzinie nowoczesnych technologii informatycznych. Sprawcą odrodzenia się zainteresowania systemami symulacyjnymi jest utrwalony już pogląd na efektywność i ekonomiczność prowadzenia ćwiczeń dowódczo – sztabowych w formie ćwiczeń wspomaganých komputerowo. Po raz kolejny potrzeby użytkowe wpłynęły na rozwój teorii i technologii.

BIBLIOGRAFIA

1. ABS2000 – System and Models Description – Materiał informacyjny firmy RAFAEL,2000.
2. Barczak A., Komputerowe gry wojenne, Bellona, Warszawa 1996;
3. Bojarski Wł., Podstawy analizy i inżynierii systemów PWN,1984
4. Chojnacki A. „Modelowanie matematyczne” WAT Warszawa 1986.
5. Chudy M., Nowicki T., Najgebauer A., Mielczarek K. - Projektowanie koncepcyjne systemu informatycznego wspomaganie analiz decyzyjnych w sytuacjach konfliktowych dla potrzeb kierowania obronnością państwa. Praca TEORIA II. Teoria konfliktów zbrojnych. AON WAT Warszawa 1996.
6. Ćwiczenia szczebla operacyjno - taktycznego w systemie szkolenia SZ wybranych państw NATO (studium), Szt. Gen. WP, W-wa 1997
7. Dokumentacja eksploatacyjna SSWSO „Złocień”, Warszawa,2004.
8. Filar W, „Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki” Wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN, 1979.
9. Fishman G. S, „Symulacja komputerowa – pojęcia i metody”, PWE, Warszawa 1981.
10. Gutenbaum J., Modelowanie matematyczne systemów, PWN, 1987
11. Hauzer W., Ćwiczenia szczebla operacyjno - taktycznego w systemie szkolenia SZ wybranych państw NATO, Warszawa, SG WP 1997
12. Joint Theatre Level Simulation - Executive Overview, 2002.
13. Kłodziński E., Symulacyjne metody badania systemów, Zeszyt 1 – 5, WAT, 1983.
14. Knetki J, Wieleba R., Wocial J., Model informatycznego wspomaganie zespołu autorskiego ćwiczeń dowódczo - sztabowych w AON - Technologie Informatyczne, AON, Warszawa 2003.
15. Knetki J. Dwustronne, jednoszczelowe ćwiczenie dowódczo - sztabowe nr 143 "Czerwiec'99" - Działania operacyjne korpusu, AON, 1999.
16. Knetki J. Wpływ procedur dowodzenia według standardów NATO na metodykę przygotowania i prowadzenia ćwiczeń dowódczo - sztabowych w AON - rozprawa doktorska, AON, 1998r.

17. Organizacja szkolenia dowództw i sztabów w siłach zbrojnych RP (DD/7.1),
Sz.Gen.WP, Warszawa 2004
18. Sienkiewicz P., Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania, Wyd. Bellona, 1994
19. Projekt wstępny systemu SIWISZ, CTM Gdynia, 2004.
20. Sienkiewicz P. „Podstawy teorii systemów” Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 1993.
21. Sienkiewicz P. „Systemy kierowania” Warszawa 1989.
22. Sienkiewicz P., Inżynieria systemów. Wybrane zastosowania wojskowe, Wyd. MON,1983
23. System komputerowej symulacji pola walki KORA/OA – Materiał informacyjny
24. System symulacji działań korpusu (CBS) - Materiały Informacyjny
25. Wieleba R., Wocial J., Symulacyjny model walki na szczeblu taktycznym, AON, Warszawa 2003.

