

Koncepcja łączenia symulacji konstruktywnej i wizualnej pola walki

Marek SALAMON

Centrum Symulacji i Wizualizacji Komputerowej, Wydział Cybernetyki WAT, ul Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa.

STRESZCZENIE: W artykule, przedstawione zostaną problemy wynikające z integracji stanowisk symulacji konstruktywnej ze środowiskiem symulacji wizualnej pola walki. Podane zostaną zasady tworzenia, dystrybucji i zarządzania bazą danych o terenie będącym wirtualnym środowiskiem symulacji i wykorzystywanym przez wszystkie stanowiska interaktywnej rozproszonej symulacji. Przedstawiona zostanie koncepcja i ogólne zasady łączenia stanowisk symulacyjnych. We wnioskach końcowych wyspecyfikowane zostaną zagadnienia, nad którymi koncentrować powinny się dalsze prace badawcze poprzedzające praktyczną realizację zadań związanych z integracją stanowisk symulacji konstruktywnej ze środowiskiem symulacji wizualnej pola walki.

1. Wstęp

W armii Stanów Zjednoczonych od wielu lat prowadzone są prace badawcze i rozwojowe związane z symulacją pola walki. Pierwsze symulatory pola walki opisywały zachowanie obiektów biorących udział w grze wojennej z dużym stopniem uogólnienia. Nie były symulowane pojedyncze obiekty, takie jak czołgi czy pojazdy. Obiektami symulacji były oddziały militarne - kompanie, bataliony itd. Taki sposób opisu pozwalał uczestnikom gry wojennej szkolić się w kierowaniu i dowodzeniu na odpowiednio wysokim szczeblu. Model symulacyjny pola walki, nie uwzględniający symulacji pojedynczych obiektów, był stosunkowo mało skomplikowany.

Ostatnio coraz częściej projektowane są symulatory pola walki, w których obiektami symulacji stają się również załogi pojedynczych pojazdów wojskowych. Mają one bezpośredni wpływ na wirtualne pole walki poprzez

interaktywną ingerencję w przebieg procesu symulacji. Takie wirtualne pole walki powstaje dzięki wykorzystaniu rozproszonej symulacji, w której obiekty biorące udział w grze wojennej połączone są siecią komputerową i wymieniają między sobą informację. Istotnym elementem takiej symulacji jest konieczność wykorzystania komputerowych modeli symulacyjnych, które opisują zachowanie pojedynczych obiektów na obszarze wirtualnego pola walki. Komputerowy generator zachowań obiektów biorących udział w symulacji pola walki zwiększa realizm prowadzonych ćwiczeń. Umożliwia realistyczną symulację działań bojowych bez konieczności podłączania wielu kosztownych rzeczywistych symulatorów wojskowych, przewidzianych do szkolenia załóg pojazdów militarnych i pojedynczych żołnierzy. Nowe typy symulatorów opracowanych w okresie ostatnich kilku lat umożliwiają łączenie symulacji konstruktywnej i wizualnej. W dalszej części przedstawione zostaną: podstawowa architektura rozproszonego systemu interaktywnej symulacji, wymagania na proces tworzenia, dystrybucji i zarządzania bazą danych o terenie oraz koncepcja i ogólne zasady łączenia stanowisk symulacji konstruktywnych ze stanowiskiem symulacji wizualnej.

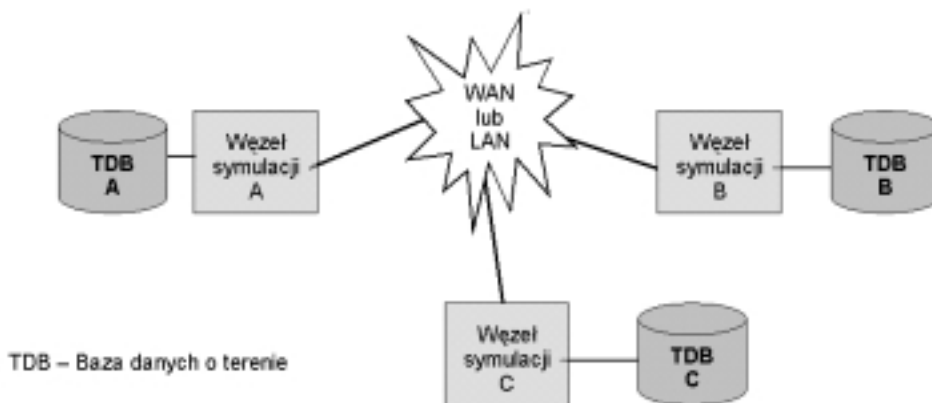
2. Tworzenie, dystrybucja i zarządzanie bazą danych o terenie (TDB) w systemach DIS

Generacja i przedstawianie w systemach rozproszonej interaktywnej symulacji danych o terenie TDB (ang. *Terrain Data Base*) w istotny sposób wpływa na efektywność systemu symulacyjnego. Podnosi jego walory użytkowe i dostarcza uczestnikom ćwiczenia realistycznych wrażeń związanych z wizualizacją naturalnego środowiska symulacyjnego. Interaktywna symulacja rozproszona, często realizowana w czasie rzeczywistym stwarza dodatkowe wymagania projektowe na system baz danych o terenie. Z jednej strony baza danych o terenie zawierać powinna informacje, które spełnią wymagania poszczególnych węzłów symulacji a z drugiej strony baza danych uwzględniać powinna wymagania związane z narzuconym protokołem komunikacyjnym.

Na rysunku 1 przedstawiona jest architektura rozproszonego systemu symulacji. Każdy z węzłów symulacji posiada własny specyficzny podsystem baz danych o terenie. Żaden z tych podsystemów nie jest dostępny przez inny węzeł symulacji. Wynika to z dwóch powodów:

1. W systemie DIS poszczególne węzły symulacyjne budowane mogą być na bazie systemów komputerowych różniących się platformą sprzętową, architekturą i oprogramowaniem systemowym. Stąd wynika, że organizacja bazy danych uwzględniać powinna specyfikę systemu komputerowego.

2. Każdy węzeł symulacyjny realizuje charakterystyczne dla siebie zadanie symulacyjne, zależne między innymi od scenariusza ćwiczenia. Stąd zupełnie inne są wymagania na zawartość bazy danych opisującej to samo środowisko naturalne. Przykładowo, inna będzie zawartość bazy danych o terenie dla symulatora lotniczego w porównaniu z zawartością bazy danych stanowiska odpowiedzialnego za konstruktywną symulację zachowania oddziału militarnego, pomimo faktu, że obie te symulacje rozgrywają się na tym samym obszarze geograficznym.



Rys. 1. Architektura rozproszonego systemu symulacji.

W systemie rozproszonej symulacji istotne jest zachowanie logicznej zgodności bazy danych o terenie w różnych węzłach symulacji. Konieczność korelacji bazy danych o terenie w systemie DIS wynika z faktu, że w różnych węzłach symulacji dane opisujące elementy środowiska naturalnego mogą być w inny sposób reprezentowane (np. za pomocą jednego parametru, wielu parametrów). W prawidłowo zbudowanej bazie danych, obiekty terenowe chociaż reprezentowane w różnych formach, powinny odwzorowywać ten sam obiekt środowiska naturalnego. W dalszej części zostaną opisane kolejne kroki procesu tworzenia podsystemu baz danych o terenie uwzględniające specyficzne wymagania różnych węzłów symulacji rozproszonej oraz zapewniające ich wzajemną korelację.

2.1. Rola TDB w rozproszonym systemie symulacji

Początki wykorzystania baz danych o terenie w systemach rozproszonej symulacji sięgają lat osiemdziesiątych. Pierwszą aplikacją był system symulacyjny SIMNET, zbudowany z kilku połączonych ze sobą siecią

komputerową symulatorów lotniczych. Każdy z symulatorów posiadał własny podsystem TDB. Realizowane ćwiczenia prowadzone były na wspólnym obszarze działań bojowych. Ćwiczący mieli możliwość interaktywnego wzajemnego oddziaływania na siebie. Jednym z zadań systemu SIMNET było generowanie w czasie rzeczywistym obrazu terenu zgodnie z symulowanymi danymi określającymi położenie przestrzenne ćwiczących. Dane potrzebne do wygenerowania sceny dla każdego z symulatora pobierane były z lokalnej bazy danych o terenie. Problem korelacji TDB był rozwiązany przez fakt, że do budowy poszczególnych TDB wykorzystywane było to samo źródło informacji. Dane źródłowe pochodziły z zasobów agencji DMA (*Defense Mapping Agency*). Ukształtowanie terenu zostało zamodelowane z danych opisujących wysokość terenu DTED (*Digital Terrain Elevation Data*). Dane te opisywały wysokość węzłów siatki pokrywającej teren. Węzły rozmieszczone były regularnie na uniwersalnej siatce współrzędnych Mercatora z rozdzielczością 125 metrów. Pojedyncze elementy pokrycia terenu reprezentujące specyficzne obszary (np. drzewa na obszarze zalesionym) umieszczane były losowo wewnątrz danego obszaru, którego granice określone były przez mapy lub inne źródła. Obiekty terenowe liniowe, takie jak drogi, linie kolejowe czy rzeki reprezentowane były jako modele dwuwymiarowe i lokalizowane w bazie danych na podstawie analizy map terenowych lub informacji pozyskiwanych z agencji DMA (bazy danych o pokryciu terenu DFAD – *Digital Feature Analysis Data* lub ITD – *Interim Terrain Data*). W ten sposób pozyskane dane źródłowe były następnie kompilowane i dostosowywane do przetwarzania w czasie rzeczywistym przez generatory obrazów poszczególnych symulatorów. Lokalna baza danych o terenie stanowiła integralną część każdego symulatora.

W celu zapewnienia wzajemnej korelacji lokalnych baz danych o terenie na etapie projektowania, budowy i przetwarzania muszą być spełnione następujące warunki:

1. Standardowe i wspólne dane źródłowe.
2. Standardowy układ współrzędnych przestrzennych.
3. Standardowe algorytmy transformacji przestrzennych.
4. Standaryzacja procesu filtrowania i modyfikacji danych źródłowych.

Spełnienie tych warunków umożliwia realizację procesu rozproszonej interaktywnej symulacji oraz korzystanie z informacji zawartych w lokalnych bazach danych o terenie przez poszczególne węzły symulacji w sposób powodujący zakłóceń w funkcjonowaniu całego systemu.

2.2. Zawartość TDB

Baza danych o terenie przeznaczona do wizualizacji pola walki zawierać powinna następujące rodzaje informacji:

- mapy rastrowe,
- zdjęcia i ortofotomapy,
- mapy wektorowe,
- dane wysokościowe,
- dane o pokryciu terenu.

Mapy rastrowe są wykorzystywane jako podkład mapowy umożliwiający orientację operatora podczas nanoszenia sytuacji operacyjno taktycznej. Podstawowymi parametrami takiej mapy są jej skala oraz obszar jaki obejmuje. Mapy przechowywane powinny być w formacie ADRG (ang. *ARC Digitized Raster Graphic*) oraz w formacie skompresowanym CADRG (ang. *Compressed ARC Digitized Raster Graphic*).

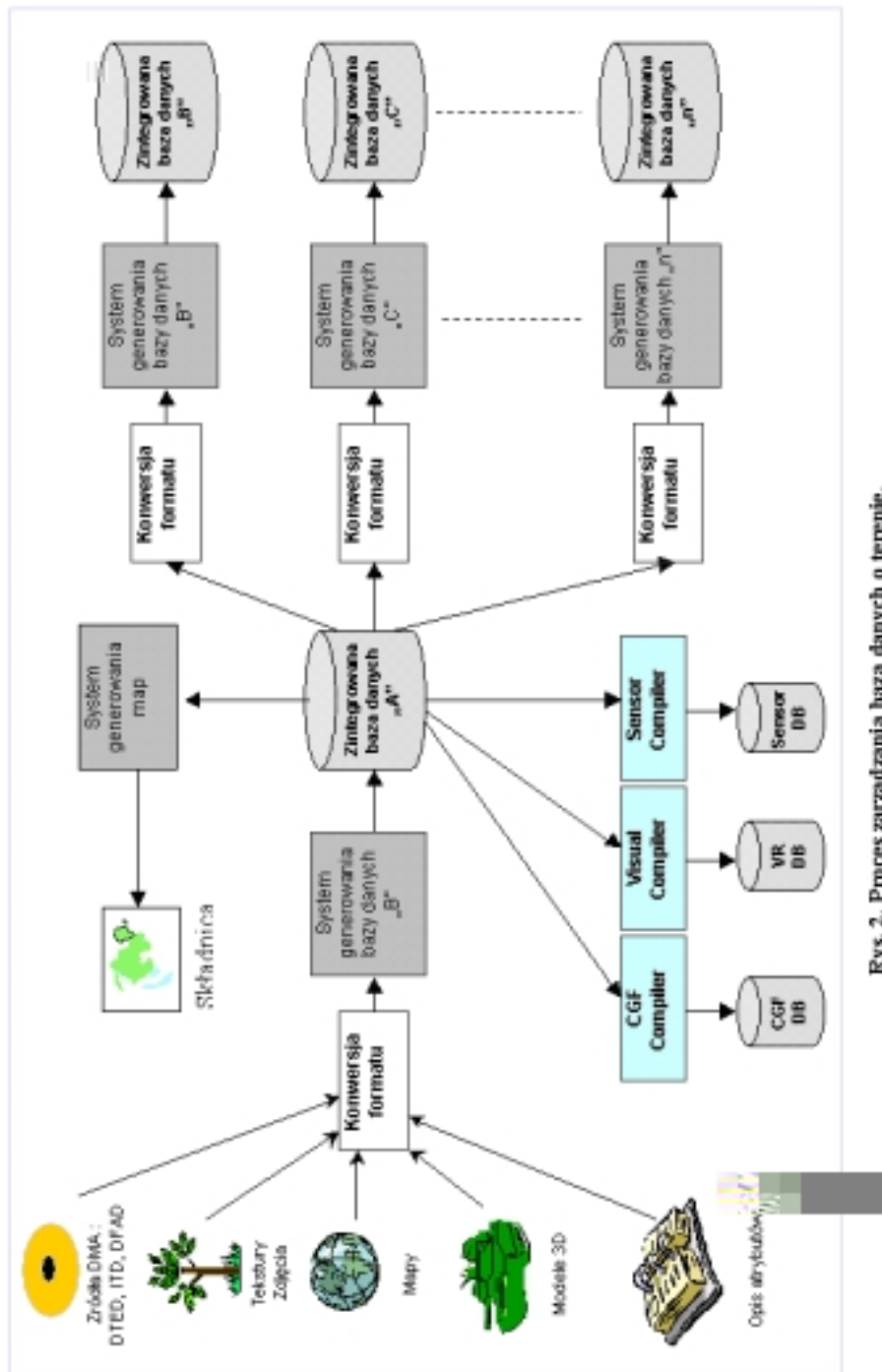
Zdjęcia i ortofotomapy powinny być przechowywane w plikach w formacie GeoTiff. Jest to format tiff rozszerzony o pola do przechowywania informacji kalibrujących plik w obszarze współrzędnych geograficznych.

Mapy wektorowe w przeciwieństwie do map rastrowych posiadają właściwość identyfikacji i selekcji pojedynczych elementów graficznych. Umożliwia to dowiązanie i wyświetlanie informacji opisowych o wyświetlanych obiektach geograficznych. Dane wektorowe mogą być wykorzystywane także do prowadzenia analiz geograficznych i prezentacji wyników. Analizy obejmują wyliczanie długości dróg, wielkości powierzchni, oraz zagadnienia związane z teorią grafów i sieci. Mapy wektorowe powinny być przechowywane w formacie VPF (ang. *Vector Product Format*).

Dane wysokościowe są wykorzystywane do trójwymiarowej wizualizacji terenu oraz wykonywania i zobrazowywania wyników analiz przestrzennych. Analizy obejmują wykonywanie przekrojów terenu, wyliczanie stref widoczności wzrokowej, radiowej, wyliczanie stref zalewowych i inne. Dane wysokościowe są przechowywane w formacie DTED1 oraz DTED2.

Dane o pokryciu terenu w sposób szczegółowy opisują naturalne i stworzone przez człowieka obiekty terenowe takie jak na przykład drogi, mosty, zabudowania itp. Wykorzystywane mogą być do generacji scen VR. Dane te powinny być przechowywane w formacie DFAD lub ITD.

Proces zarządzania bazą danych terenowych przedstawiony jest na rysunku 2. Podstawowa baza danych powstaje w wyniku konwersji informacji źródłowej do postaci zgodnej z przyjętymi standardami przechowywania informacji. Informacja źródłowa powinna pochodzić z instytucji zajmujących się gromadzeniem informacji geograficznej. Uaktualnianie i modyfikacja bazy danych może być wykonywana przez odpowiednio przeszkolony personel techniczny.



Rys. 2. Proces zarządzania bazą danych o terenie.

Istotnym elementem zarządzania bazą danych jest jej udostępnianie i dystrybucja. Na etapie przygotowania scenariuszy ćwiczeń lub szkoleń następuje proces selekcji, filtrowania, kompilowania wybranych fragmentów bazy danych. W ten sposób powstają podsystemy baz danych do wizualizacji dla poszczególnych stanowisk roboczych. Mogą to być stanowiska symulacji konstruktywnej, stanowisko generacji map szkoleniowych, stanowisko do generacji scen VR itp. Każde z tych stanowisk wymaga innego rodzaju danych do zobrazowania. Zależy to nie tylko od scenariusza, lecz także od specyfiki stanowiska roboczego.

3. Elementy składowe środowiska

W rozproszonym systemie interaktywnej symulacji pola walki występować mogą stanowiska symulacji konstruktywnej, stanowisko symulacji wizualnej oraz rzeczywiste symulatory lub trenażery (np. trenażery lotnicze lub trenażery czołgowe). W symulacji konstruktywnej, z reguły, obiektami symulacji są oddziały wojskowe w formie zagregowanej (np. batalion czołgów). Nie symulowane są pojedyncze elementy oddziału (np. czołgi). Zachowanie oddziału, na które wpływają takie parametry jak: lokalizacja, prędkość i kierunek przemieszczania, ukończenie, status wyznaczone są z wykorzystaniem odpowiednich algorytmów. W symulacji konstruktywnej czas symulacji jest umowny, definiowany jest w zależności od potrzeb związanych z przebiegiem ćwiczenia. Symulatory BBC, CBS i Eagle są przykładami stanowisk symulacji konstruktywnej.

W stanowisku symulacji wizualnej obiektami symulacji są pojedyncze obiekty wojskowe (np. czołg, wóz pancerny, samolot). Wszystkie konieczne parametry dla pojedynczego obiektu są wyznaczone niezależnie i są z nim ściśle powiązane. Określenie lokalizacji, prędkości i kierunku przemieszczania, ukończenia i statusu oddziału wojskowego, na który składają się pojedyncze obiekty wojskowe, odbywa się na podstawie parametrów opisujących zachowanie wszystkich obiektów, które tworzą dany oddział. Przykładami symulacji tego typu są symulatory SIMNET, BDS-D i CCTT. Zachowanie obiektów symulacji wizualnej może być wyznaczone przez rzeczywiste symulatory dla załóg pojazdów wojskowych lub w procesie symulacji komputerowej. Proces symulacji komputerowej realizowany jest przez specjalny moduł programowy nazywany CGF (ang. *Computer Generated Forces*) lub SAF (ang. *Semi-Automated Forces*)

Istniejące modele symulacji komputerowej oraz coraz bardziej nowoczesne rozwiązania w zakresie sieci komputerowych dają duże możliwości tworzenia rozproszonych architektur systemów symulacyjnych. Połączone

w sieci komputery wykonując różnego rodzaju symulacje mogą przekazywać zadania i dane do różnych węzłów. W tym samym czasie w procesie symulacji może brać interaktywny udział wielu uczestników znajdujących się w rozproszonych przestrzennie węzłach sieci. Rozproszona interaktywna symulacja (DIS) jest modelem architektury systemu symulacyjnego, który umożliwia budowanie globalnych systemów symulacyjnych składających się z wielu niezależnych węzłów symulacyjnych, komunikujących się ze sobą poprzez wspólny protokół sieciowy. Każdy węzeł symulacyjny niezależnie symuluje zachowanie jednego lub więcej obiektów biorących udział w globalnym procesie symulacji i przekazuje ich atrybuty oraz status do zainteresowanych innych węzłów symulacyjnych. W typowym zadaniu symulacji rozproszonej obiekty biorące udział w symulacji działają we wspólnym środowisku (np. teren) i mogą w czasie rzeczywistym interaktywnie na nie wpływać. Istotną właściwością symulacji DIS jest to, że odbywa się ona w czasie rzeczywistym. Zmiany w środowisku symulacyjnym, będące wynikiem pewnego zdarzenia w węźle symulacyjnym, pojawiają się w momencie zaistnienia tego zdarzenia.

Przykładem systemu symulacji DIS jest symulator SIMNET wykorzystywany w armii amerykańskiej. SIMNET umożliwia szkolenie współdziałania załóg czołgów i pojazdów bojowych. Węzły symulacyjne reprezentują pojedyncze pojazdy (czołgi i wozy opancerzone). Tworzą je typowe trenażery wyposażone w komputerowy system symulacji, generator obrazu i kabinę z manipulatorami. Obsługiwane są przez 3-4 osobowe załogi. W trakcie wykonywania ćwiczenia, w każdym węźle symulacyjnym komputer wyznacza aktualną pozycję i kierunek przemieszczania pojazdu na obszarze wirtualnego pola walki. Ćwiczący kierują swoim pojazdem i w sposób interaktywny walczą z innymi pojazdami będącymi obiektami symulacji.

Wszystkie węzły symulacyjne w SIMNET są połączone ze sobą siecią komputerową, poprzez którą przesyłane są pakiety informacji o zachowaniu danego pojazdu. Dzięki tym komunikatom w każdym węźle symulacyjnym znana jest informacja o innych obiektach biorących udział w symulacji. Generator obrazu wykorzystuje te informacje tworząc aktualny obraz pola walki. Jednocześnie przesyłane są informacje o ostrzale. Komputer rozstrzyga o celności trafień i zobrazowuje skutki wykonywanego strzelania.

Poprawność działania systemu symulacji DIS zależy od spełnienia dwóch istotnych wymagań. Pierwsze wymaganie dotyczy pola działań bojowych, czyli inaczej środowiska symulacyjnego. Wszystkie obiekty biorące udział w symulacji muszą operować na identycznej bazie danych o terenie. Drugie wymaganie dotyczy protokołu sieciowego, którym przesyłane są informacje. Protokół DIS definiuje różne typy i formaty komunikatów, które węzły symulacyjne powinny wymieniać między sobą aby zapewnić prawidłowe działanie całej symulacji. Dodatkowo protokół DIS precyzyjnie definiuje

warunki mówiące o tym, kiedy węzeł symulacyjny może wysłać dany typ komunikatu, a także definiuje proces, które powinien być wykonany po odebraniu przez węzeł symulacyjny komunikatu.

W symulacji wizualnej występuje często węzeł CGF odpowiedzialny za komputerową generację i symulowanie zachowań obiektów znajdujących się na obszarze wirtualnego pola walki (np. czołgi, artyleria, samoloty). Generowanie tych obiektów realizowane jest z wykorzystaniem algorytmów komputerowych. CGF jest jednym z węzłów symulacji rozproszonej i ma możliwość komunikowania się z innymi węzłami sieci. CGF może być wykorzystywany do symulacji zachowań pododdziałów wojsk obcych lub do zastępowania części wojsk własnych zgodnie ze scenariuszem ćwiczeń realizowanych na wirtualnym polu walki. Dużą zaletą takich ćwiczeń jest to, że trenujący walczą ze stroną przeciwną i jednocześnie doskonałą współdziałanie z pododdziałami wojsk własnych symulowanymi przez moduł CGF. Zachowanie obiektów symulowanych przez CGF jest sterowane przez oprogramowanie z zaimplementowanymi odpowiednimi modelami walki. Modele walki powinny być tak zbudowane by inteligentnie reagować na zmieniającą się sytuację na polu walki i jednocześnie uwzględniać zasady strategii i taktyki wojennej właściwej dla odpowiedniej strony walczących. Obecność CGF jest bardzo istotna przy wszelkiego rodzaju działaniach związanych z analizą i planowaniem operacyjnym. Moduł CGF umożliwia symulowanie wirtualnego pola walki zgodnie z wymaganiami narzuconymi przez analityków i planistów.

Podsumowując rozważania dotyczące symulacji konstruktywnej i wizualnej należy podkreślić to, że w symulacji konstruktywnej reprezentowane są zagregowane oddziały militarne podczas gdy w symulacji wizualnej są to pojedyncze obiekty takie jak czołgi, wozy pancerne, samoloty itp. W konstruktywnej i wizualnej symulacji w inny sposób traktowany jest czas i przestrzeń. W symulacji wizualnej wpływający czas jest czasem rzeczywistym. Ma on bezpośredni wpływ na zmiany w środowisku symulacyjnym. Każda zmiana symulowanego obiektu jest na bieżąco nanoszona na obraz wirtualnego pola walki. Inaczej jest w symulacji konstruktywnej. Czas może tu być zatrzymywany, symulacja może odbywać się z określonym krokiem czasowym. Krok czasowy nie ma nic wspólnego z czasem potrzebnym na wykonanie przez komputer symulacji zdarzeń zachodzących w tym kroku. Symulacja konstruktywna nie pracuje w reżimie czasu rzeczywistego.

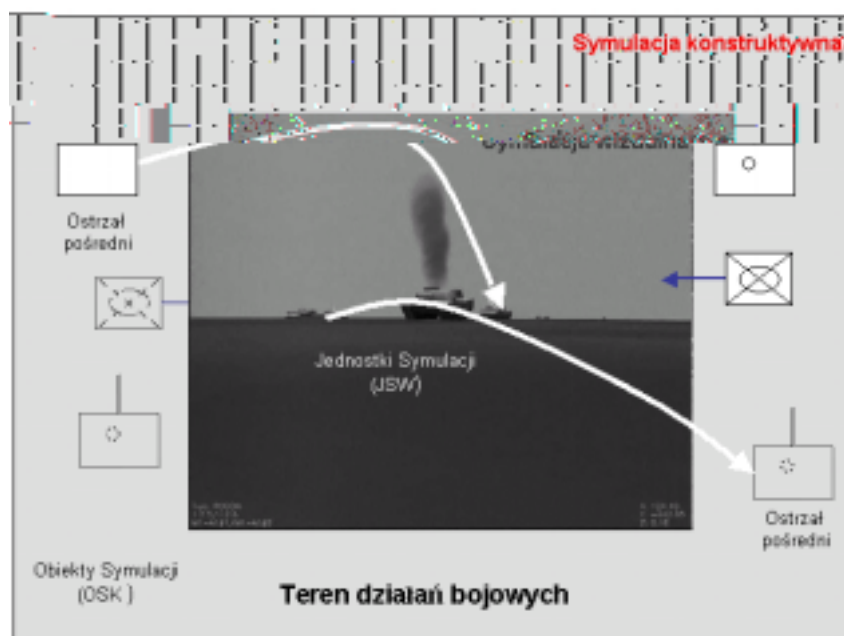
Teren wirtualnego środowiska pola walki generowany jest z bardzo dużą szczegółowością, często z naniesionymi drogami, pojedynczymi budynkami, drzewami i zaroślami. Położenie i przemieszczanie symulowanych obiektów jest możliwe w całej rozciągłości modelowanego terenu. Symulatory konstruktywne również mogą wykorzystywać model terenu. Jest on tworzony z siatki kwadratów lub sześciokątów, na które nanosi się tekstury odwzorowujące

pokrycie terenu (np. lasy, piaski, pola itp.). Model taki nie zawiera szczegółów terenowych, jest przedstawiany w dużej skali.

4. Ogólne zasady łączenia symulacji konstruktywnej i wizualnej

W symulacji konstruktywnej reprezentowane są **obiekty symulacji konstruktywnej (OSK)** stanowiące zagregowane pododdziały militarne, natomiast w symulacji wizualnej reprezentowane są **jednostki symulacji wizualnej (JSW)**, którymi mogą być pojedyncze czołgi, wozy bojowe czy samoloty. Idea łączenia symulacji konstruktywnej z wizualną powinna uwzględniać współdziałanie. Każde zdarzenie mające miejsce w symulacji konstruktywnej ma wpływ na symulacje wizualną. Odwrotnie, każde zdarzenie w symulacji wizualnej powinno być odwzorowane w symulacji konstruktywnej. Moduł CGF w systemie połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej wykorzystywany jest do generacji i zarządzania JSW, które powstają w procesie deagregacji OSK.

Na rysunku 3 przedstawiono przykład scenariusza walki realizowanego w systemie połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej.



Rys. 3. Przykład deagregacji obiektów symulacji konstruktywnej (OSK) na jednostki symulacji wizualnej (JSW).

Symulacja konstruktywna rozgrywana jest na rozległym obszarze terenu. Część tego obszaru jest środowiskiem symulacji wizualnej. Baza danych o terenie symulacji wizualnej może obejmować całkowity obszar działań bojowych, lecz w praktyce nie stosuje się takiego rozwiązania ze względu na różne wymagania związane ze szczegółowością odwzorowania terenu w obu typach symulacji. OSK przemieszczając się mogą znaleźć się w obszarze symulacji wizualnej. Jeżeli znajdują się w tym obszarze następuje proces deagregacji OSK na JSW. Kryterium mówiące o tym, kiedy powinien rozpocząć się proces deagregacji zostanie omówiony w dalszej części.

W momencie spełnienia kryterium deagregacji następuje zamiana OSK na JSW. Węzeł symulacji konstruktywnej przekazuje informacje o położeniu, statusie, prędkości i kierunku przemieszczania oraz aktywności operacyjnej do węzła symulacji wizualnej. Węzeł ten, a jest nim moduł CGF, przejmuje kontrolę nad wszystkimi JSW wchodzącymi w skład OSK. Jednocześnie symulacja konstruktywna przestaje kontrolować obiekt symulacji, który został zdekomponowany. Obiekt ten traktowany jest jako nieaktywny uczestnik procesu symulacji konstruktywnej - tzw. „duch”. Jego zmiany wynikać teraz będą ze zdarzeń przebiegających w środowisku symulacji wizualnej. Parametry związane ze zmianami jednostek symulacji wizualnej przekazywane będą do symulacji konstruktywnej poprzez moduł CGF. Powstałe w wyniku deagregacji jednostki JSW umieszczane są zgodnie ze swoim położeniem na wirtualnym obszarze symulacji. Pod uwagę brane są również inne informacje przekazane do CGF z symulacji konstruktywnej. Jeżeli z informacji przekazanych z symulacji konstruktywnej wynika, że zdekomponowany OSK bierze udział w ataku, wówczas JSW wchodzące w skład tego obiektu umieszczane są w wirtualnym terenie działań bojowych w szyku natarcia. Rozmieszczenie JSW w terenie nie może naruszać realizmu sceny. Przykładowo, nie można umieścić czołgu w środku jeziora.

JSW mogą prowadzić bezpośredni ostrzał na obszarze wirtualnego pola walki, mogą się przemieszczać i wykonywać różnego rodzaju manewry. Zachowanie tych jednostek jest kontrolowane przez moduł CGF. W systemie interaktywnej rozproszonej symulacji może występować wiele stanowisk symulacji konstruktywnej. W niektórych systemach symulacji rozproszonej węzłami symulacji mogą być fizyczne trenażery lub symulatory. JSW mogą powstawać w procesie deagregacji różnych obiektów symulacji, które osadzone mogą być w dowolnym węźle systemu. Proces deagregacji obiektów jest niezależny od lokalizacji danego obiektu w systemie DIS.

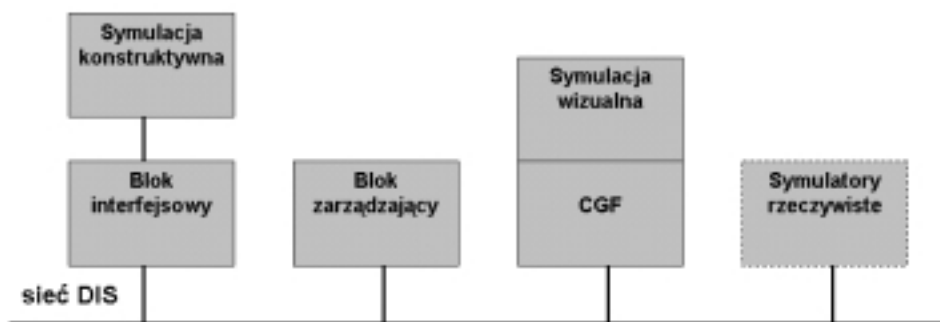
Interakcja między OSK i JSW realizowana jest za pośrednictwem odpowiedniego protokołu komunikacyjnego. Możliwość wzajemnego oddziaływania na siebie OSK i JSW pozwala na symulowanie ostrzału pośredniego, w którym przykładowo bateria artylerii symulowana konstruktywnie ostrzeliwuje JSW poruszające się po wirtualnym obszarze

działań bojowych. Podobnie JSW mogą prowadzić ogień w kierunku obiektów, które nie znajdują się na obszarze symulacji wizualnej a są reprezentowane jako OSK.

Procesem odwrotnym do deagregacji jest agregacja. W procesie agregacji następuje scalenie odpowiednich jednostek symulacji wizualnej (JSW) w obiekt symulacji konstruktywnej (OSK). Do stanowiska symulacji konstruktywnej przekazywana jest poprzez moduł CGF informacja o agregacji. Symulacja konstruktywna przejmuje sterowanie nad obiektem symulacji, który do tego momentu traktowany był jako nieaktywny uczestnik procesu symulacji konstruktywnej. Jednocześnie symulacja wizualna przestaje kontrolować JSW, który zostały scalone. Są one usuwane ze środowiska wirtualnego pola walki. Proces agregacji rozpoczyna się w momencie zakończenia warunków określonych przez kryterium deagregacji lub alternatywnie w momencie pojawienia się warunków określonych przez kryterium agregacji.

5. Konfiguracja systemu

Na rysunku 4 przedstawiono konfigurację systemu połączonej konstruktywnej i wizualnej symulacji. Elementem komunikacyjnym systemu jest sieć komputerowa. Bezpośrednio do sieci komputerowej podłączony jest blok zarządzający, blok CGF oraz różnego rodzaju symulatory rzeczywiste. Blok symulacji konstruktywnej podłączony jest do sieci poprzez specjalny blok interfejsowy. Poszczególne bloki funkcjonalne realizują niżej wymienione zadania.



Rys. 4. Konfiguracja systemu połączonej konstruktywnej i wizualnej symulacji.

Blok symulacji konstruktywnej:

1. Symulowanie działania i zarządzanie obiektami symulacji konstruktywnej (OSK).

2. Symulowanie działania i zarządzanie OSK w reżimie czasu rzeczywistego w przypadku deagregacji (wejście w tryb symulacji wizualnej).
3. Przechowywanie informacji o nieaktywnych OSK odbieranych z bloku interfejsowego
4. Generowanie informacji o oddziaływaniu pośrednim (np. ostrzał) OSK mającym wpływ na środowisko wirtualnego pola walki i przesyłanie ich do bloku interfejsowego.
5. Szacowanie zniszczeń OSK dokonywanych przez JSW na podstawie informacji o oddziaływaniu pośrednim dostarczanej przez blok interfejsowy.
6. Przesyłanie informacji o stanie OSK do bloku interfejsowego.

Blok interfejsu symulacji konstruktywnej i wizualnej (blok sprzęgający):

1. Translacja informacji o OSK do formy obowiązującej w sieciowym protokole komunikacyjnym i przesyłanie tych informacji do bloku CGF.
2. Monitorowanie położenia i stanu JSW powstałych w procesie deagregacji OSK, scalanie informacji o tych jednostkach i przesyłanie do symulacji konstruktywnej wynikowej informacji opisującej stan nieaktywnego OSK.
3. Translacja konstruktywnie symulowanej informacji o oddziaływaniu pośrednim do formy pojedynczych zdarzeń i przesyłanie tych informacji do bloku CGF.
4. Scalanie informacji o oddziaływaniu pośrednim wykonywanym przez pojedyncze JSW i przesyłanie do symulacji konstruktywnej wynikowej informacji o oddziaływaniu pośrednim.

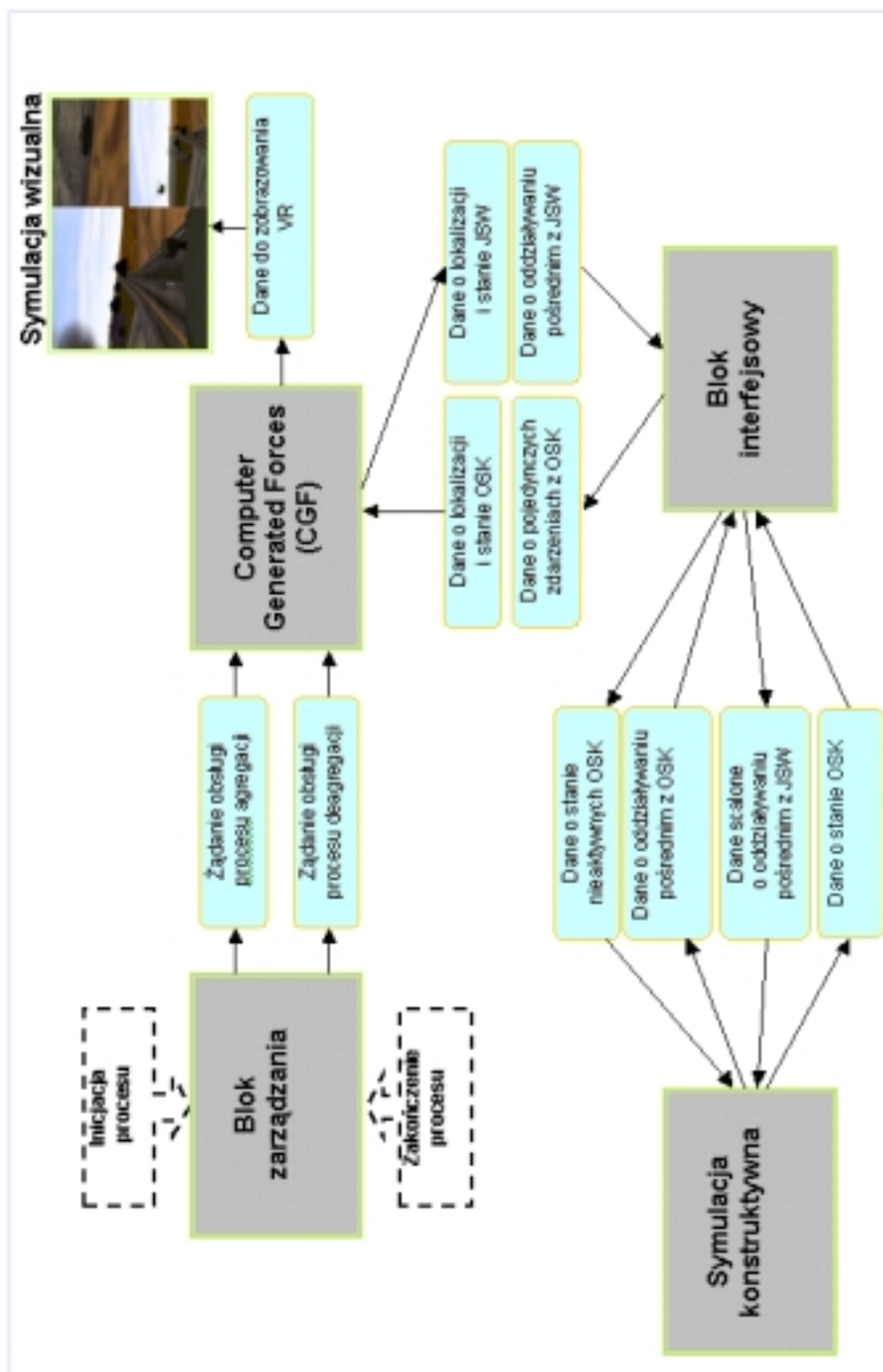
Blok CGF (Computer Generated Forces):

1. Obsługa procesu deagregacji. Generowanie i lokalizacja w środowisku wirtualnego pola walki JSW powstałych w procesie deagregacji.
2. Symulowanie działania i zarządzanie JSW.
3. Obsługa procesu agregacji. Usuwanie JSW.

Blok zarządzający:

1. Określanie kiedy OSK powinien być dekomponowany na JSW i przesyłanie do CGF żądania obsługi procesu deagregacji
2. Określanie kiedy JSW powinny być zagregowane do postaci OSK i przesyłanie do CGF żądania obsługi procesu agregacji

Na rysunku 5 przedstawiony został diagram przepływu danych w systemie połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej.



Rys. 5. Diagram przepływu danych w systemie połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej.

6. Zasady przekazywania sterowania

W systemie połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej każde wywołanie trybu symulacji wizualnej związane jest z przekazaniem sterowania do bloku realizującego te zadania. Wyjście z trybu symulacji wizualnej powoduje przekazanie sterowania do bloku realizującego symulację konstruktywną. Blok zarządzający systemem połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej jest odpowiedzialny za realizację procesu przekazywania sterowania.

Jeżeli zostaną spełnione warunki związane z przejściem w tryb symulacji wizualnej następuje proces deagregacji obiektów symulacji konstruktywnej (OSK) do pojedynczych jednostek symulacji wizualnej (JSW) i jednocześnie przejście sterowania nad powstałymi JSW przez blok symulacji wizualnej. Od tego momentu blok symulacji konstruktywnej wchodzi w tryb działania w czasie rzeczywistym i uaktualnia jedynie dane o OSK na podstawie informacji przychodzących z symulacji wizualnej. Zadaniem bloku interfejsowego jest monitorowanie położenia i statusu powstałych w procesie deagregacji JSW oraz uśrednianie wyników walki toczącej się w środowisku wirtualnego pola walki. Dodatkowo blok ten musi uwzględniać pośrednie, wzajemne oddziaływanie na siebie OSK i JSW. Proces deagregacji może być realizowany w następujących trzech krokach:

1. Blok symulacji konstruktywnej przekazuje blokowi symulacji wizualnej informacje o OSK, który ma być zdeagregowany. Informacja ta powinna określać między innymi:
 - lokalizację obiektu;
 - ukompletowanie obiektu (np. liczbę, typ i rodzaj pojazdów bojowych wchodzących w skład obiektu);
 - status obiektu;
 - aktualną aktywność operacyjną obiektu (rodzaj ugrupowania bojowego, kierunek przemieszczania, dane związane z prowadzeniem ognia itp.).
2. Blok symulacji wizualnej na podstawie informacji definiujących obiekt generuje pojedyncze JSW wchodzące w skład OSK i rozmieszcza je w zamodelowanym terenie działań bojowych. Proces ten realizowany jest rekurencyjnie. Przykładowo kompania czołgów dekomponowana jest na plutony a te następnie na pojedyncze czołgi i stanowiska dowodzenia. Istotną rzeczą w tym procesie jest znajomość struktury i taktyki oddziałów bojowych. Rozmieszczanie pojedynczych JSW nie może być losowe, konieczne jest uwzględnienie charakterystyki ukształtowania i pokrycia terenu oraz znajdujących się przeszkód terenowych.
3. Blok symulacji wizualnej przekazuje do bloku zarządzającego potwierdzenie zakończenia procesu deagregacji OSK. Jednocześnie

przekazuje do bloku interfejsowego informacje identyfikujące położenie i status powstałych JSW. Blok interfejsowy na podstawie tych informacji przesyła do bloku symulacji konstruktywnej uśrednione dane opisujące stan i zachowanie OSK, w skład którego wchodzi powstałe JSW. Proces monitorowania i przesyłania tych informacji realizowany jest przez cały okres pracy systemu w trybie symulacji wizualnej.

Procesem odwrotnym do deagregacji jest agregacja. W wyniku tego procesu następuje przekazanie kontroli nad danym OSK do bloku symulacji konstruktywnej. Pojedyncze JSW wchodzące w skład danego OSK są usuwane ze środowiska symulacji wizualnej. Proces agregacji może być realizowany w następujących krokach:

1. Blok symulacji wizualnej odbiera informacje o OSK, który ma być agregowany.
2. Blok symulacji wizualnej usuwa z modelowanego terenu działań bojowych pojedyncze JSW wchodzące w skład danego OSK.
3. Blok symulacji konstruktywnej przejmuje sterowanie nad danym OSK.

7. Zakończenie

W systemie połączonej symulacji konstruktywnej i wizualnej proces wejścia w tryb symulacji wizualnej może odbywać się automatycznie lub na konkretne żądanie operatora systemu. Można wyspecyfikować wiele warunków, których zaistnienie wywoła ten tryb pracy systemu. Kryteria związane z wejściem w tryb symulacji wizualnej zależne są od koncepcji działania rozproszonego interaktywnego systemu symulacji pola walki.

Należy wyraźnie podkreślić, że proces symulacji wizualnej według przedstawionych w tym opracowaniu zasad, wymaga opracowania wielu algorytmów opisujących stan i zachowanie się pojedynczych JSW w środowisku wirtualnego pola walki. Są to algorytmy bardzo złożone, a w przypadku symulacji wielu JSW (liczba występujących na wirtualnym polu walki JSW może wynosić od kilkudziesięciu do kilku tysięcy) wymagają dużej mocy obliczeniowej komputera realizującego te zadania. Algorytmy takie w odniesieniu do pojedynczego JSW powinny między innymi wyznaczać:

1. Lokalizację JSW w zamodelowanym wirtualnym terenie działań bojowych w trakcie deagregacji. Proces ten uwzględniać powinien:
 - strukturę i taktykę ugrupowania bojowego w skład którego wchodzi dany JSW,

- charakterystykę ukształtowania i pokrycia terenu,
 - przeszkody terenowe oraz znajdujące się inne JSW.
2. Kierunek i prędkość przemieszczania JSW uwzględniający między innymi:
 - parametry techniczne JSW,
 - charakterystykę, ukształtowanie terenu, występowanie przeszkód terenowych,
 - współdziałanie z innymi JSW,
 - strategię i taktykę prowadzonych działań bojowych.
 3. Aktywność operacyjną JSW, a w ramach tego:
 - prowadzenie ognia (zasady taktyki, rodzaj ognia, cel, skuteczność),
 - manewrowość,
 - uszkodzenia i zniszczenia w wyniku bezpośredniego ostrzału prowadzonego przez inne JSW,
 - uszkodzenia i zniszczenia w wyniku pośredniego ostrzału prowadzonego przez OSK nieprzyjaciela.
 4. Oddziaływanie bezpośrednie na inne JSW.
 5. Oddziaływanie pośrednie na OSK.

Równie złożone są zadania, które realizuje blok zarządzania. Podstawowym jego zadaniem jest integracja występujących w systemie stanowisk symulacji konstruktywnej, stanowiska symulacji wizualnej i ewentualnych rzeczywistych symulatorów. Integracja tych stanowisk realizowana powinna być z wykorzystaniem run-timowej infrastruktury HLA. Innym istotnym zadaniem tego bloku jest powoływanie, według określonych kryteriów, trybu symulacji wizualnej oraz nadzór i sterowanie połączonym systemem symulacji konstruktywnej i wizualnej.

Do generacji w czasie rzeczywistym złożonych scen, o dużej szczegółowości i realizmie, wykorzystywane powinny być systemy komputerowe o architekturze wieloprocessorowej ukierunkowane na realizację zadań związanych z grafiką komputerową. Do klasy takich systemów zaliczyć można komputery nowej generacji z serii Onyx 3000 firmy Silicon Graphics. Do podstawowych zadań realizowanych przez generator obrazu VR można zaliczyć:

1. Aktualizacja parametrów wizualizacji (sposób prezentacji):
 - parametry konfiguracyjne kanałów wizualizacji,
 - położenie obserwatora,
 - warunki atmosferyczne,
 - warunki oświetlenia.
2. Generacja sceny VR.
3. Generacja obiektów dynamicznych.
4. Generacja efektów specjalnych.

Przykładową konfigurację generatora zobrazowania VR ze specyfikacją oprogramowania narzędziowego w wersji podstawowej i rozbudowanej przedstawia tabela.

Tab. 1. Konfiguracja sprzętowo-programowa generatora VR.

	Wariant podstawowy	Wariant rozbudowany
Model	SGI Onyx 3200	SGI Onyx 3200
Liczba procesorów	4 x MIPS R12000	8 x MIPS R12000
Pojemność dysku (Fibre Channel)	80GB	200GB
Pojemność pamięci	1GB	2GB
Grafika	1 x InfinityReality3	2 x InfinityReality3
Monitor	21"	21"
Interfejs sieciowy	Ethernet 100Mb/s	Ethernet 100Mb/s
System operacyjny	IRIX 6.5.9	IRIX 6.5.9
Narzędzia programowe	<ul style="list-style-type: none"> - Kompilatory MIPSpro C i MIPSpro C++ - Biblioteka modeli 3D RT firmy ViewPoint - Środowisko graficzne Vega-MP firmy MultiGen-Paradigm - Modeler MultiGen Creator firmy MultiGen-Paradigm - Narzędzia komunikacyjne VR-Link firmy MaK Technologies 	

Analiza materiałów dotyczących istniejących i opracowywanych na świecie systemów interaktywnej rozproszonej symulacji a w tym systemów, w których wprowadzana jest symulacja wizualna zintegrowana z symulacją konstruktywną potwierdza złożoność problemu. Prowadzone dalsze badania i prace nad łączeniem symulacji konstruktywnej i wizualnej powinny koncentrować się między innymi na następujących tematach:

- tworzenie aplikacji programowych CGF dla różnych oddziałów i ugrupowań bojowych,
- algorytmizacja procesu agregacji i deagregacji,
- algorytmizacja procesu symulowania zachowania i stanu jednostek symulacji wizualnej (JSW),
- tworzenie aplikacji komunikacyjnych pracujących w infrastrukturze RTI-HLA,
- modelowanie środowiska wirtualnego pola walki,
- tworzenie aplikacji dla generatorów VR.

Literatura:

- [1] Materiały konferencji: *Distributed Interactive Simulations Systems for Simulation and Training in the Aerospace Environment - Critical Reviews*, Vol. CR58, 19-20 April 1995, Orlando, Floryda:
 - a) Schiavone G.A., Nelson R.S., Hardis K.C.: *Interoperability issues for terrain databases in distributed interactive simulation*,
 - b) Petty M.D.: *Computer generated forces in distributed interactive simulation*,
 - c) Franceschini R.W., Petty M.D.: *Linking constructive and virtual simulation in distributed interactive simulation*,
 - d) Loper M.L.: *Introduction to distributed interactive simulation*.
- [2] *Use of the warfighter's simulation* – National Simulation Center, Fort Leavenworth, Kansas, 30 September 1996
- [3] MamaghaniF.: *Creating Environmental Databases for Use in Realtime Networked Interactive Simulation*.
http://www.sisostds.org/webletter/siso/iss_71/art_311.htm
- [4] Najgebauer A.: *Informatyczne systemy wspomagania decyzji w sytuacjach konfliktowych. Modele, metody i środowiska symulacji interaktywnej*, WAT, Warszawa 1999

*Recenzent: dr hab. inż. Marian Chudy
Praca wpłynęła do redakcji 20.11.2001*