

## Wykorzystanie modeli ontologicznych na potrzeby budowy wspólnego obrazu pola walki

M. CHMIELEWSKI

e-mail: mchmielewski@wat.edu.pl

Instytut Systemów Informatycznych  
Wydział Cybernetyki WAT  
ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

---

Fuzja danych i jej zastosowanie do konstrukcji wspólnego obrazu operacyjnego była traktowana jako poboczny element wykorzystywany w procedurach decyzyjnych. Praca ta prezentuje metodę integracji odrębnych obszarów danych pochodzących z pola walki z wykorzystaniem ontologii, mechanizmów wnioskujących.. Opisywane podejście pozwala na organizację i filtrowanie danych bazujących na modelu semantycznym z wykorzystaniem predefiniowanych mechanizmów dedykowanych różnym poziomom dowodzenia oraz typom operacji. Połączenie reprezentacji semantycznej danych, mechanizmów języka zapytań SPARQL oraz środowiska GIS, pozwoliły na wytworzenie rozszerzalnych mechanizmów prezentacji informacji pola walki budujących jednolity obraz operacyjny pola walki (ang. Common Operational Picture). Publikowane w pracy wyniki uwzględniają analizę wojskowych standardów reprezentacji danych wykorzystywanych w badaniach. Bazując na przeglądzie dostępnych narzędzi i metod dedykowanych tej dziedzinie zaproponowana została bazowa ontologia wykorzystana do reprezentacji aktualnego scenariusza przestrzeni walki, wypełniona danymi geograficznymi oraz danymi dla algorytmów wspomaganie dowodzenia. Artykuł zawiera opis wytworzonego podsystemu GIS wykorzystującego mechanizmy semantyczne wykorzystujące zewnętrzne heterogeniczne źródła Zautomatyzowanych Systemów Dowodzenia.

---

**Keywords:** modele semantyczne, GIS, ontologia, systemy wspomaganie decyzji, ZSD

### 1. Wprowadzenie

Operacje sieciocentryczne nazywane w nomenklaturze USA - Network Centric Warfare lub NATO - Network Enabled Capability są głównym strumieniem badań determinującym przyszłe trendy na polu walki wykorzystujące najnowsze techniki rozproszonego przetwarzania informacji dostarczanej dowódcom na wszystkich szczeblach dowodzenia. Artykuł prezentuje warstwową architekturę bazującą na idei SOA (ang. Service Oriented Architecture) oraz wytworzony z jej wykorzystaniem prototyp środowiska badawczego demonstrującego mechanizmy semantyczne i wytworzony z ich wykorzystaniem jednolity obraz przestrzeni walki w ramach COP. Jednym z głównych wymagań, stawianych przed zbudowanym narzędziem było dostarczenie warstwy integrującej dane pochodzące z heterogenicznych źródeł systemów klasy C4I egzystujących w Siłach Zbrojnych RP dedykowanych poszczególnym rodzajom wojsk. Ujednolicenie wojskowych standardów symboliki operacyjnej (Std2525, App6A), komunikatów i meldunków (NFFI, ADatP3) jak również modeli domenowych JC3IEDM, miało bezpośredni wpływ na potrzebę opracowania

transformacji i interpretacji danych opisywanych w tych standardach.

### 2. Definicje wykorzystywane w operacjach sieciocentrycznych

Operacje sieciocentryczne (ang. Network Centric Warfare) to termin opisujący wojskową doktrynę lub teorię prowadzenia działań zbrojnych opracowaną w Ministerstwie Obrony USA. Idea ta oparta została na osiągnięciu przewagi informacyjnej dzięki zastosowaniu zaawansowanych technik przetwarzania informacji, które pozwalają na efektywną dystrybucję danych w rozproszonym geograficznie środowisku. Technologia ta w połączeniu z procesami organizacyjnymi, ludźmi dostarcza nowe formy dowodzenia. NCW zakłada wykorzystanie następujących elementów:

1. Wydajnych mechanizmów sieciowych znacząco usprawniających przepływy informacyjne oraz zwiększających własności współdzielenia informacji w systemie dowodzenia;
2. Współdzielenia informacji rozszerzającego jakość przesyłanych

informacji i w rezultacie zwiększającego świadomość sytuacyjną przestrzeni walki;

3. Współdzielenie świadomości sytuacyjnej pozwalającej zwiększyć efektywność komunikacji pomiędzy sensorami, aktorami i centrami dowodzenia, dostarczając samo-synchronizacji oraz usprawniając procesy podejmowania decyzji co bezpośrednio wpływa na wyniki prowadzonej operacji.

Opisywana doktryna walki definiuje szereg koncepcji związanych z przepływem informacyjnym wykorzystywanym w procedurach wsparcia decyzji. Takimi produktami są świadomość sytuacyjna (ang. Situation Awareness) oraz jednolity obraz operacyjny (ang. Common Operational Picture). Oba te terminy są ściśle ze sobą związane ze względu na ich główny cel – opis domeny przestrzeni walki.

Świadomość Sytuacyjna (SAW) może być definiowana jako umiejętność postrzegania elementów zdefiniowanego środowiska z uwzględnieniem wymiaru czasu i przestrzeni, oraz predykcji ich stanu w bliskiej perspektywie. SAW wiąże percepcję i środowisko poprzez definicję dynamicznych procesów w tym przypadku związanych bezpośrednio z wojskowymi systemami dowodzenia.

Świadomość sytuacyjna jak zostało to już wcześniej opisane, jest osiągnięta jako konsekwencja funkcjonalności systemów klasy C4I, których jednym z zadań jest pozyskiwanie aktualnych danych z pola walki w sformalizowanej postaci. SAW budowana jest w umysłach decydentów jako konsekwencja strumienia napływających informacji, posiadanej wiedzy na temat sztuki operacyjnej oraz logicznego myślenia. Kombinacja tych trzech elementów pozwala na trafną ocenę zastanej sytuacji decyzyjnej. Temu celowi również został podporządkowany zbudowany model pola walki, którego opis dziedziny działań militarnych zakłada definicje semantyki (interpretacji) zależności pomiędzy poszczególnymi elementami, pozwalający na ich klasyfikację a tym samym aplikację elementów wnioskowania bazujących na formalizmach logiki opisowej.

Głównym celem usługi COP jest dostarczenie centrom dowodzenia elementarnych wskazówek, przesłanek dotyczących przydzielonego im rejonu odpowiedzialności – AOR (ang. Area of Responsibility) oraz zainteresowania – AOI (ang. Area of Interest).

Zasadnicze wymagania dla COP zostały sformułowane w [4], gdzie jego postać

utożsamiana jest z usługą lub zbiorem usług dostarczających:

- Kolekcję rozpoznanych obrazów (ang. recognized pictures);
- Fuzję i korelację danych w ramach rozpoznanych “obrazów” pola walki ;
- Wsparcie aktualnego jednolitego obrazu przestrzeni walki zawierającego elementy:
  - o RAP (Recognised Air Picture);
  - o RMP (Recognised Maritime Picture);
  - o RGP (Recognised Ground Picture);
  - o RLP (Recognised Logistics Picture);
  - o Informacji wywiadowczej;
  - o Procedur wsparcia decyzji;

Common Operational Picture wykorzystuje usługi GIS bazujące na standardowych źródłach danych, wspomaganymi przez funkcje graficzne i wsparcia decyzji. Aktualne trendy budowy SI zakładające konstrukcję systemów zgodnie z ideą SOA (ang. Service Oriented Architecture) zainicjowały jej zastosowanie, również w budowie środowisk dedykowanych COP, dostarczając standard opisu usług, mechanizmy udostępniania i odnajdywania usług, włącznie z zastosowaniem technologii opisu semantycznego np. WSMO (ang. Web Services Modelling Ontology). Biorąc pod uwagę aktualny stan badań NATO w tej dziedzinie wymagania dla narzędzi dedykowanych usłudze COP są stale aktualizowane i rozszerzane.

Przestrzeń walki jest zwykle postrzegana jako kolekcja danych możliwych do zobrazowania i wykorzystania w ramach systemów wsparcia dowodzenia. Bogactwo dziedziny przestrzeni walki i jej specyfika wymusza, wykorzystanie odrębnych perspektyw związanych z rodzajami sił zbrojnych – siły lądowe, morskie i powietrzne. Problemy związane z osiaganiem percepcji aktualnej sytuacji i tym samym budowania COP, podlegają ewolucji zmuszając do wytwarzania nowych pojęć, wskazując potrzeby przewyższania ograniczeń technicznych w budowanych sfederowanych rozproszonych systemach czasu rzeczywistego.

### 3. Modelowanie semantyki

W latach siedemdziesiątych, zbudowano podstawy dwóch nurtów reprezentacji wiedzy: jeden oparty na formalizmach logiki (logiki pierwszego rzędu) dalej rozwijający się jako narzędzie wykorzystujące rachunek predykatów stosowany do uchwycenia zależności modelowanego świata, oraz druga całkiem odrębna forma wykorzystująca podejście niesformalizowane z reguły opierane na

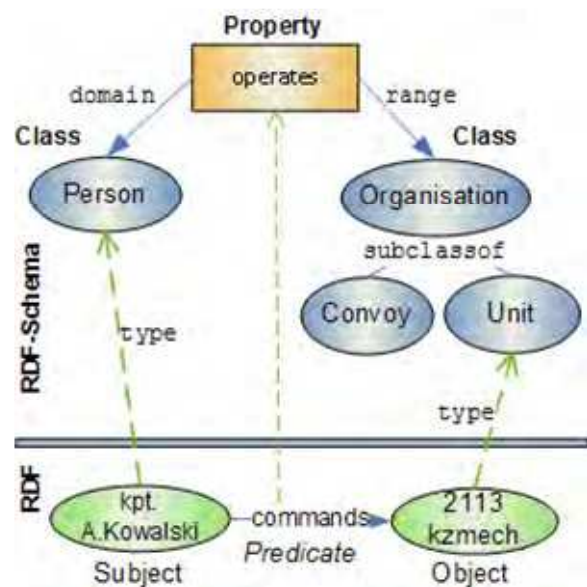
pojęciach poznawczych np. strukturach sieciowych lub reprezentacjach regułowych (sieci semantyczne, ramowa reprezentacja wiedzy). Zaproponowane modele wymagały zastosowania formalnego aparatu wnioskującego podobnego do logiki pierwszego rzędu, posiadającego ugruntowane podstawy teoretyczne oraz opracowane mechanizmy ich wykorzystania do rozwiązywania ogólnych problemów definiowanych w tym języku. Podejście wykorzystujące logiki formalne, korzystające z reguły z rachunku predykatów logiki pierwszego rzędu oraz specjalizowanych algorytmów dowodzenia twierdzeń (Modus Ponens, Refutation & Resolution)[6] dostarczają wprost zaimplementowanych metod wnioskowania w zbudowanej bazie wiedzy .

Modelowanie dziedziny z wykorzystaniem sieci semantycznych zakłada budowanie modelu pojęć podstawowych, a następnie definicję pozostałych pojęć na zasadzie asocjacji z pojęciami już istniejącymi. W ten sposób wprowadza się pojęcia podstawowe (aksjomaty) oraz pojęcia definiowane. Różnica w ich postrzeganiu polega na tym, iż automaty (agenty programowe) przetwarzające takie struktury korzystają bezpośrednio z relacji jako jedyne sposobu identyfikowania semantyki przesyłanych komunikatów, co diametralnie różni te mechanizmy od percepcji ludzkiej i definicji tekstowych (adnotacji).

Technologie Semantic Web [17] wskazują kierunek zmian reprezentacji i przetwarzania danych dostarczając nowe języki opisu meta danych oraz specjalizowane narzędzia zapytań oraz wnioskowania. Dla zasobów wielkiej skali meta dane mogą występować na dwóch poziomach: opisując dokument, stronę WWW lub elementy dokumentu (atrybuty) dotyczące miejsca wytworzenia, autora itd. Oba przytoczone przypadki prezentują istotny element – różnice pomiędzy poziomem semantyki, w opisie dokumentu. Główną przyczyną wprowadzenia tego typu języków, był niedostateczny często nadużywany opis danych w sieci Internet wykorzystujący język HTML.

Model semantyczny potrafi usprawnić postać prezentacji danych i przygotować go do automatycznego przetwarzania. Mechanizmy poszukiwania wykorzystujące specjalizowane algorytmy grafowe, oferują dodatkowo złożone operacje takie jak łączenie źródeł danych, wykluczanie redundancji i konfliktów danych, dodatkowo wspierając techniki agregacji. Opracowany model reprezentacji semantycznej zakłada koncepcję zdań składających się z trójek reprezentujących zasoby oraz dane je opisujące.

Taka budowa identyfikuje wyrażenia podmiot-orzeczenie-dopełnienie (ang. subject-predicate-object), gdzie podmiot utożsamiany jest z opisywanym zasobem, orzeczenie cechuje zasób lub wyraża pewien związek pomiędzy podmiotem oraz dopełnieniem. Konstrukcja modelu w takim przypadku opiera się raczej na opisie instancji bez wyraźnych cech ich klasyfikacji, co przyczyniło się dalej do zdefiniowania dedykowanego języka RDFS pozwalającego na uzupełnienie reprezentacji o model pojęć. Model pojęć – domeny już bezpośrednio reprezentuje ontologia, której celem jest wskazanie zależności między pojęciami oraz definicje klas przez wykorzystanie konstruktorów logiki opisowej. Badania nad aparatem formalnym logiki opisowej wpłynęły bezpośrednio na rozszerzenie języka opisu ontologii, który ewoluował z konstrukcji RDFS poprzez DAML+OIL do standardu języka OWL [14] dostarczającego zarówno wsparcie mechanizmów wnioskujących jak i wystarczającą ekspresję definicji. Podstawowymi założeniami standardu OWL było zbudowanie języka modelowania opartego na swoim prekursorze RDF umożliwiającego posługiwanie się formalizmami DL.



Rys. 1. Przykładowa reprezentacja danych w postaci RDF i uproszczona ontologia RDFS

Rozważając modele semantyczne i dedykowane języki opisu, projektowane mechanizmy wnioskujące bazują na dedykowanych algorytmach logiki opisowej np. algorytm Tableux [10] ewentualnie transformacji ich konstrukcji do postaci logiki pierwszego rzędu [11]. Wiele prac dodatkowo rozróżnia użyteczność przetwarzania

samych struktur RDF z wykorzystaniem specjalizowanych algorytmów grafowych [12] (wyszukiwanie ekstremalnych ścieżek w grafie, identyfikacja podobieństw grafów, analiza ilościowa grafów ważonych itd.). Biorąc pod uwagę strukturę reprezentacji wiedzy budowanie nowej wiedzy może być postrzegane jako dołączanie nowych wierzchołków do grafu oraz wiązanie ich z istniejącymi wierzchołkami, krawędziami reprezentującymi związki. Mechanizm wnioskowania z wykorzystaniem RDF może w uproszczeniu być prezentowany jako:

Subject	Predicate	Object
• Wprowadzone wyrażenia (asserted triples):		
kpt. A.Kowalski	rdf:type	'Person'
kpt. A.Kowalski	commands	2113_kzmech
2113_kzmech	rdf:type	'Unit'
• Reguła wnioskowania:		
?person	rdf:type	'Person'
?person	commands	?unit
?unit	rdf:type	'Unit'
⇒		
?person	rdf:type	'Commander'
• Wynioskowany fakt (Inferred triple):		
kpt. A.Kowalski	rdf:type	'Commander'

Wykorzystanie semantycznych meta danych jest niezmiernie ważne, również ze względu na integrację informacji pochodzących z heterogenicznych źródeł. Dane pochodzące z odrębnych systemów, w przypadku systemów wojskowych, również różnej specyfiki systemów cechują się odrębną terminologią często wykorzystywaną do opisu tej samej przestrzeni. Tworzenie mapowań pomiędzy odrębnymi schematami pozwala opracować wspólny model, umożliwiając zapewnienie interoperacyjności procesów wymieniany danych.

Modelowanie ontologii [1] korzysta z założenia pochodzącego z logiki formalnej Open World Assumption, które identyfikuje niekompletność informacji jako odrębną wartość różną od prawdy lub fałszu. W przeciwieństwie do założenia Closed World Assumption, gdzie każde wyrażenie, które jest nieznanne jest z założenia fałszywe. Oba założenia przekładają się na definicję negacji oraz formułowanie bazy wiedzy i jej monotoniczność. Założenie CWA wymusza kompletność modelu, przez co operator negacji kojarzony jest z „negation-as-a-failure”. Ontologie bazując na formalizmach logiki opisowej będącej podzbiorem logiki pierwszego rzędu, definiują zdania logiki korzystając z konstruktorów klas-pojęć.

#### 4. Zastosowana metodyka budowy ontologii

Głównym rdzeniem opisywanego narzędzia jest ontologia przestrzeni walki i mechanizmy jej użycia. Każda metodyka: strukturalna, obiektowa, procesowa posiada dobrze zdefiniowane język oraz podejście projektowe. Modelowanie z wykorzystaniem ontologii jest relatywnie nowym procesem, zapoczątkowanym równoległe z budową języków opisu semantycznego oraz narzędzi wspomagania wytwarzania takich modeli. Powstające oprogramowanie do modelowania ontologii definiuje oraz ulepsza dostępne metody budowania semantyki.

Biorąc pod uwagę rezultaty tych badań i identyfikując podobieństwa metod proces modelowania ontologii składa się z:

1. Definicji analizowanej dziedziny oraz określenia granic modelowania;
2. Analiza istniejących, dostępnych modeli ontologicznych analizowanej dziedziny oraz weryfikacja możliwości ich wykorzystania;
3. Definicja elementarnych abstrakcji pochodzących z analizowanej dziedziny – budowa listy kluczowych pojęć
4. Modelowanie taksonomii pojęć – definicja klas i ich hierarchii;
5. Modelowanie właściwości klas – identyfikacja właściwości klas (definicja domeny i zakresu);
6. Definicja ograniczeń dla właściwości – odrębnie dla właściwości obiektowych i typów danych;
7. Identyfikacja instancji i ich klasyfikacja w drzewie taksonomicznym.

Projektowanie ontologii dedykowanej narzędziom COP uwzględniało wykorzystanie mechanizmów zobrazowania mapowego i zasilania z heterogenicznych źródeł systemów C4I dostępnych w Siłach Zbrojnych RP. Zunifikowany Model Ontologii Przestrzeni Walki – (ang. Unified Battlespace Ontology Model - UBOM) jest wytworzona autorską ontologią bazującą na:

- ontologii wytworzonej na podstawie modelu JC3IEDM będącego wynikiem kilkuletnich prac skupiających producentów systemów wspomagania dowodzenia, opisującego szerokie spectrum operacji wojskowych;
- ontologii symboliki standardów Std2525 oraz App6A wykorzystywanej do odwzorowania na mapie sytuacji bojowej.

Wytypowanie powyższych modeli uzasadnione jest z dwóch powodów; oba oferują zbieżny opis modelowanej dziedziny stosując diametralnie różną ekspresję, która w JC3 przekłada się przede wszystkim na możliwość reprezentacji danych raportujących poszczególne elementy wyróżnione w przestrzeni walki, natomiast w przypadku standardów symboliki nacisk został położony na zbudowanie taksonomii elementów pola walki oraz wskazanie zunifikowanego sposobu ich kodowania. Drugi powód bazuje na praktycznym aspekcie zakładającym referencyjność przedstawionych modeli, które dzięki pracom organizacji wojskowych oraz standaryzacji w ramach NATO stały się platformą dla pozostałych modeli. Przykładem jest sam standard JC3 wykorzystujący elementy semantyki App6A jak również standard NFFI (ang. NATO Friendly Force Interface), w którym dane dotyczące typu jednostki lub sprzętu bezpośrednio wyrażane są przy użyciu 15 znakowego kodu App6A. Zunifikowany model JC3 pozwala na reprezentację szerokiego zakresu informacyjnego dotyczącego jednostek, obiektów, sprzętu, organizacji w ramach działań zbrojnych i kryzysowych. Bogactwo tego opisu jest niewątpliwą zaletą modelu, jednak jego przetworzenie do postaci ontologii zgodnie z nabytymi doświadczeniami [2], [3] powinno odbywać z uwzględnieniem zasad ekspresji logiki opisowej, tak by wytworzony produkt był użyteczny do przetwarzania przez automaty (posiadał cechy wnioskowania), a nie jedynie wykorzystywał język opisu ontologii.

## 5. Konstrukcja modelu i jego własności

Wyniki pracy nad transformacją modelu JC3IEDM [3] pokazują, iż przekształcenie samego modelu relacyjnego do postaci modelu ontologicznego nie jest jedynie transformacją struktur relacyjnych i ich opisem w języku OWL. Doświadczenia wskazują, iż automatyzacja przekształcenia struktur obiektowo-relacyjnych dla modelu, nie jest w stanie reprezentować pełnej ekspresji JC3. Najcenniejsze elementy - relacje oraz pojęcia tego opisu reprezentowane są w postaci typów wyliczeniowych (domen, wartości domenowych oraz reguł ich wiązania – reguł biznesowych). Reguły transformacji zostały opracowane dla podstawowych elementów ontologii dotyczących pojęć oraz głównych relacji jawnie zadeklarowanych w modelu relacyjnym. Wykorzystanie metamodelu JC3 MIRD [9]

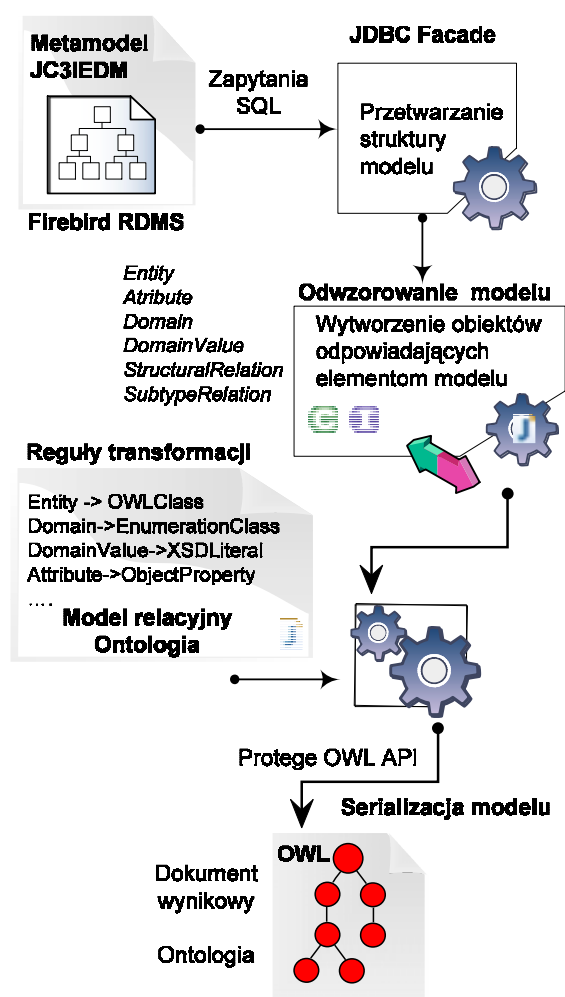
pozwoлиło dodatkowo na uproszczenie procedury odrzucenia tych elementów, które wynikają z samej specyfiki modelu relacyjnego (klucze podstawowe, klucze obce, itd). Bazując na meta modelu konstruowane zapytania dotyczą encji, ich atrybutów, wyróżnionych relacji liczości (ang. cardinality relationships) oraz relacji nadtyp/podtyp. Szczegółowe reguły transformacji oraz uzasadnienie ich wyboru zamieszczone zostało w pracach [3],[2].

Dobór reguł transformacji modelu relacyjnego do modelu semantycznego, miał w głównej mierze na celu zidentyfikowanie:

- głównych jednoznacznych zasad transformacji elementów modelu relacyjnego do modelu semantycznego;
- identyfikacji elementów nadmiarowych modelu relacyjnego, które są związane z fizyczną reprezentacją modelu, a nie zawartością merytoryczną;
- określenia jednolitych zasad nazewnictwa elementów modelu semantycznego i ich związku z elementami modelu relacyjnego;
- budowy dodatkowych mechanizmów weryfikacji reguł biznesowych (ang. Business Rules), dotyczących poprawnych kombinacji wartości atrybutów, właściwości przechowywanych w elementach modelu, zastosowanie konstruktorów klas logiki opisowej lub reguł SWRL;
- określenie optymalnego zakresu przekształcanego modelu JC3 IEDM uwzględniającego maksymalną ekspresyjność modelu, biorąc pod uwagę kompaktową jego wielkość i wydajność przetwarzania.

Wszystkie powyższe elementy wymusiły opracowanie mechanizmu, który zapewni zbudowanie bazowej ontologii (zawierającej odwzorowanie istotnych elementów zawartych w meta modelu encji, atrybutów, związków, relacji dziedziczenia). Przekształcenie tych elementów zapewnia bazowe odwzorowanie JC3 IEDM w podstawowym zakresie. Największe napotkane problemy dotyczyły domen oraz wartości domenowych, czyli odpowiedników typów wyliczeniowych dla zdefiniowanych atrybutów w encjach. Liczebność wartości typów wyliczeniowych jest bardzo duża i wpływa na radykalny rozrost modelu z szacunkowych 200kB do ponad 100MB. Tak zbudowana terminologiczna baza wiedzy (TBox) nie uwzględniająca instancji (ABox), już na wstępie, może dyskwalifikować jej wykorzystanie w ramach budowanego środowiska przetwarzania semantycznego.

W tym celu rozszerzono podejście do generowania ontologii, polegające na zbudowaniu usługi dynamicznego rozszerzania wymaganych elementów modelu JC3 IEDM na żądanie i dołączanie wygenerowanych części ontologii do egzystującej bazowej ontologii JC3 IEDM. Taki zabieg pozwala na znaczne ograniczenie rozmiarów modelu oraz dobieranie w zależności od wywoływanych usług zakresu przechowywanych w ontologii danych. Należy przy tym zwrócić uwagę że zintegrowany model ontologiczny przede wszystkim rozgraniczony jest na 2 główne składowe TBox oraz ABox wyraźnie rozróżniające pochodzenie składowych elementów. TBox to odwzorowanie meta danych a ABox to przede wszystkim instancje danych pozyskiwane od producentów usług [1].



Rys. 2. Algorytm transformacji relacyjnego modelu JC3 do ontologii [3]

Wykorzystując mechanizmy ekstrakcji danych z postaci relacyjnej, transformowane są wstępnie do postaci obiektowej oraz podlegają walidacji rekurencyjnej. Należy zwrócić uwagę, że algorytm transformacji wykorzystuje możliwe wszystkie dane na temat encji, ich atrybutów,

typów danych atrybutów (domen wartości) oraz relacji by następnie te elementy posłużyły bezpośrednio do wytwarzania modelu ontologicznego lub uzupełniały ten model o odpowiednie adnotacje.

W trakcie generowania ontologii napotkano na wiele problemów wydajnościowych, które spowodowane były wielkością wymaganej pamięci potrzebnej do reprezentacji budowanych struktur grafowych. W ramach zmniejszenia liczby generowanych elementów modelu, nie wpływających na jego siłę ekspresji, zaproponowano w pracy przegląd głównych elementów modelu i uwzględnienie przede wszystkim tych encji, które uważane są za główne składowe modelu oraz reprezentują pośrednie związki pomiędzy głównymi encjami modelu. Wytypowane encje pozwalają na specjalizację semantyki modelu przez co ograniczają jego rozmiar, tym samym umożliwiając rzeczywiste jego wykorzystanie w budowanych mechanizmach semantycznych. Wielokrotny proces generowania ontologii UBOM wynikał z dynamicznego dobierania reguł transformacji i weryfikacji poprawności uzyskanego modelu która weryfikowana była z wykorzystaniem narzędzia Protege oraz rozszerzeń środowiska (mechanizmów wnioskujących) Pallet.

Zbudowana ontologia uwzględnia zarówno dobre jak i złe strony modelu JC3 IEDM, a więc jego szeroką ekspresję oraz dużą liczbę jego elementów. W obecnej wersji modelu 3.1b zawiera on:

- encji - 290
- atrybutów - 1594
- domen (typów wycieńionych) – 533
- wartości domenowych – 12409
- związków (asocjacji) - 259
- związków dziedziczenia – 166

## 6. Architektura semantycznego narzędzia integracji danych

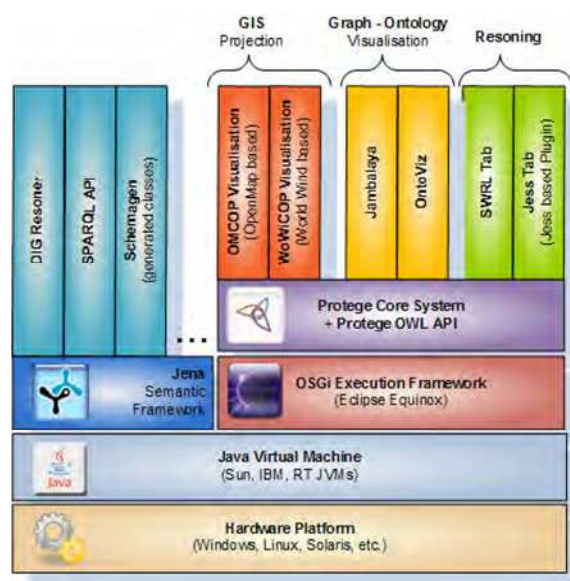
Kolejnym etapem pracy było zbudowanie narzędzia pozwalającego na przetwarzanie ontologii, w celu zaprezentowania cech tej reprezentacji wiedzy w systemach wspomagania decyzji. Opracowane środowisko zostało wytworzone jako monolit bazujący na technologii Java rozszerzonej popularnymi narzędziami OpenSource w zakresie przetwarzania semantycznego oraz narzędzi wizualizacji GIS. Taka konstrukcja pozwoliła osiągnąć maksymalną elastyczność rozszerzania i dostrajania głównych komponentów

oprogramowania, jednocześnie zapewniając maksymalną przeźroczystość kodu.

Głównym problemem we wstępnym etapie projektowania demonstratora, okazało się wskazanie wiodącej technologii i narzędzia jako platformy integracji całego środowiska, którym w tym przypadku stał się standard OSGi i zaimplementowane z jego wykorzystaniem narzędzie modelowania ontologii Protégé. Szkielet OSGi dostarcza platformy rozszerzającej właściwości rdzennej Javy w kierunku środowisk budowanych z komponentów i ukierunkowanych na architekturę SOA. Aplikacje oraz składniki wytwarzane w OSGi, dostarczane są w postaci paczek (ang. bundle) gotowych do wykonania w działającym środowisku, pozwalając tym samym na zdalną instalację, uruchomienie, zatrzymanie usług, aktualizację oraz deinstalację bez konieczności powtórzenia uruchomienia całego środowiska. Szkielet zajmuje się problemami wersjonowania bibliotek składowych (JAR), wprowadzając dodatkowo ujednolicony i sztywny model zarządzania cyklem oprogramowania. OSGi wykorzystuje doświadczenia pozostałych reprezentantów architektury SOA (CORBA, RMI, UDDI), definiując własny standard rejestru usług, pozwalający paczkom na wykrywanie zmian zachodzących w środowisku oraz zapewniający mechanizmy adaptacji do tych zmian.

Rdzeniem wytworzonego prototypu semantycznego narzędzia COP jest środowisko Protégé, będące narzędziem modelowania ontologii i szybkiego prototypowania, jak również szkieletem system zarządzania wiedzą dostarczającego środowisko uruchomieniowe komponentów OSGi. Warstwowa konstrukcja narzędzia umożliwia dodatkowo integrację danych z heterogenicznych źródeł bazując na serwisach webowych [3]. Podsystem migracji i integracji danych został dostarczony jako zbiór usług dedykowanych poszczególnym źródłom informacji o polu walki, uwzględniając również formę dostępu dla systemów mobilnych. Rozwiązanie to zostało przetestowane uwzględniając implementację usług w technologii Java oraz .NET, zapewniając możliwość integracji dowolnych systemów w Siłach Zbrojnych RP: Kolorado, Szaftan dla Wojsk Lądowych, Łeba-MCCIS dla Marynarki Wojennej oraz Dunaj, Podbiał dla Sił Powietrznych. Dane gromadzone i zapisywane w poszczególnych federatach są przechowywane w różnej formie syntaktycznej, ale również i semantycznej. Zwrócić należy przy tym uwagę

że ZSD udostępniają również specjalizowane mechanizmy ekstrakcji tych danych. Wytworzone oprogramowanie wykorzystywane do migracji danych, opiera się w głównej mierze na Apache Axis API. Dostarczony mechanizm wykorzystywany jest do pobierania rzeczywistych danych z relacyjnych oraz obiektowych źródeł, udostępniając warstwę integracji w postaci serwera migracji danych korzystającego z modeli semantycznych w procesie klasyfikacji. Zaletą demonstratora jest wykorzystanie opisu XML reprezentującego migrowane dane opakowane protokołem SOAP. Budowa taka pozwoliła na przesunięcie logiki przetwarzania na stronę kliencką, co uniezależnia i uelastycznia usługi migracyjne po stronie systemów macierzystych.



Rys. 3. Architektura ontologicznego narzędzia fuzji danych, zawierająca wtyczki środowiska Protégé oraz warstwę integracji biblioteki JENA

Opracowane środowisko korzystając z platformy Protégé [20] dostarcza z jednej strony narzędzie modelowania i przetwarzania ontologii (filtrowanie, wizualizacja, wnioskowanie) z drugiej strony warstwę pośrednią (implementacja OSGi) pozwalającą integrować poszczególne elementy składowe środowiska:

1. OpenMap [18] – otwarty szkielet GIS wykorzystywany do przetwarzania standardów map cyfrowych CADRG, DTED, VPF na potrzeby klasycznej wizualizacji 2d sytuacji bojowej;
2. NASA WorldWind [19] – zestaw narzędzi ukierunkowanych na wizualizację 3d uwzględniającą zasilanie danymi serwerów WMS i dostarczane satelitarnych

podkładów wysokiej rozdzielczości z uwzględnieniem specjalizowanego modelu wysokościowego;

3. JENA Semantic Framework [21] – oprogramowanie dedykowane przetwarzaniu modeli semantycznych zapisanych w postaci RDF, RDFS, DAML oraz OWL, wspierającego język zapytań semantycznych SPARQL, mechanizmy wnioskujące oraz mechanizmy składowania grafów;

4. JESS Rules [23] – środowisko regułowych mechanizmów wnioskujących (logiki pierwszego rzędu) rozszerzające algorytm Rete oraz uwzględniających formę semantyczną opisu wiedzy. Narzędzie dostarcza również rozbudowanego języka skryptowego.

5. Shrimp Visualization Toolkit [22] – narzędzie będące implementacją algorytmu wizualizacji dużych źródeł danych w formie graficznej wykorzystywane do prezentacji elementów ontologii (konstruktorów klas oraz właściwości) i grafów semantycznych zaimplementowane bezpośrednio jako element środowiska Protégé - Jambalaya.

Dostarczane funkcje demonstratora zostały podzielone na cztery składowe podsystemy:

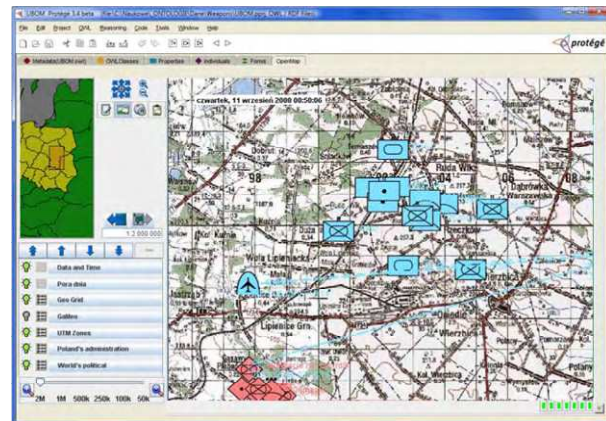
1. Podsystem migracji danych – odpowiedzialny za migrację z wybranych systemów C4I modeli relacyjnych oraz obiektowych i ich transformację do postaci ontologicznej z wykorzystaniem web serwisów oraz reprezentacji XML;
2. Podsystem przetwarzania modelu – odpowiedzialny za transformację modeli oraz ich analizę, implementując procedury mechanizmów zapytań semantycznych SPARQL, łączenia modeli oraz wnioskowania;
3. Podsystem renderowania GIS – wizualizujący obraz operacyjny z wykorzystaniem wybranych narzędzi, bibliotek GIS;
4. Podsystem wizualizacji modeli ontologicznych – dostarczający mechanizmy wizualizacji struktur grafowych z wyszczególnieniem definiowanych filtrów;

W ramach analizy operacji wojskowych uwzględniających specyfikę poszczególnych wymiarów – opracowano element składowe przestrzeni walki – lądowy, powietrzny, morski. Demonstrator uwzględnia wytyczne do produkcji COP, wynikające ze specyfiki interfejsów użytkownika systemów

macierzystych, a szczególnie wymagań dotyczących prezentowanych map cyfrowych oraz symboli obiektów przestrzeni walki.

Mechanizmy dystrybucji danych GIS zostały zaprojektowane z uwzględnieniem wymagań dotyczących rozproszenia źródeł z wykorzystaniem technologii Java Remote Method Invocation, dostarczającej usługi transportujące podkłady rastrowe, elementy wektorowe oraz dane wysokościowe standardów CADR, DTED, Shape. Dodatkowo oprogramowanie dostarcza usługi renderowania sytuacji operacyjno-taktycznej z uwzględnieniem symboliki App6A.

Decydując się na przedstawioną konstrukcję polepszo stabilność oprogramowania i użycie pamięci po przez separację poszczególnych usług wykonywanych na odrębnych maszynach wirtualnych. Rozszerzeniem warstwy dostarczającej dane GIS jest uwzględnienie zewnętrznych serwerów WMS (ang. Web Map Server) zwłaszcza w ramach wykorzystania zdjęć satelitarnych wysokiej rozdzielczości: terenu, obszarów zurbanizowanych oraz warstw meteo. Dostarczenie tych elementów, pozwala uzupełnić informację topograficzną i wykorzystać dane historyczne (meteo, terenu). Przegląd otwartych serwerów WMS pozwolił na wytypowanie następujących źródeł: MODIS Blue Marble, DEMIS Bathymetry, Onearth Landsat 7 (JPL).

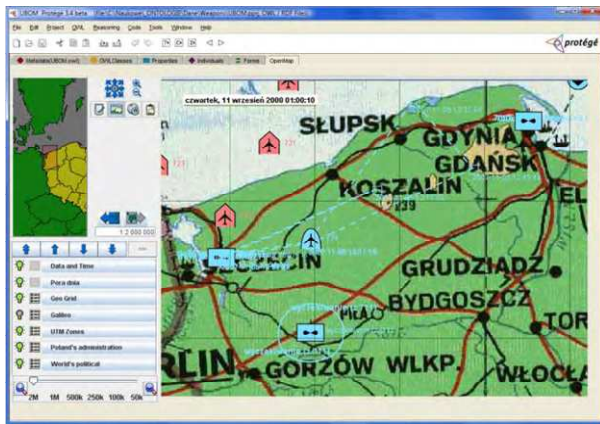


Rys. 4. Obraz bazujący na ujednoczonym zbudowanym modelu prezentujący jednostki lądowe w zadaniu Close Air Support

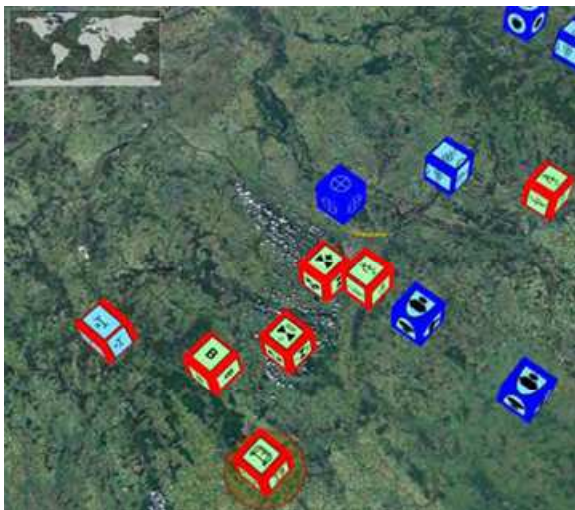
Budowa jednolitego środowiska zobrazowania mapowego bazującego na bibliotece OpenMap, umożliwiło rozszerzenie mechanizmów dostępu do danych z wykorzystaniem modelu semantycznego i dedykowanych języków zapytań SPARQL, bazujących na implementacji dostarczanej przez



bibliotekę JENA. Interakcje dowódcy, w takim przypadku transformowane zostały na zapytania semantyczne i stanowią filtry danych pozwalające na dobór zakresu informacyjnego prezentowanej sytuacji bojowej.



Rys. 5. Common Operational Picture bazujący na modelu UBOM przedstawiający misję SAR uwzględniającą aspekt morski



Rys. 6. Projekcja 3d w środowisku World Wind bazująca na modelu semantycznym UBOM

## 7. Podsumowanie

Wykorzystanie szerokiego spectrum systemów i platform sprzętowych dostarcza nowych możliwości dostarczania produktów COP oraz CTP dedykowanych różnym szczeblom dowodzenia, uwzględniając ograniczenia komunikacyjne infrastruktury o ograniczonej przepustowości. Generowanie obrazu pola walki i udostępnianie go terminowo do wskazanych centrów dowodzenia określa nową jakość w ramach mechanizmów zarządzania informacją.

Wytworzony model oraz środowisko programowe, wyposażone w narzędzia ontologiczne, demonstruje studium wykonalności. Rozszerzenie oprogramowania w kierunku technologii SOA zapewniło implementację warstwy integracji zbiorów danych pochodzących z systemów macierzystych.

Dalsze badania zakładają rozbudowę własności modelu semantycznego oraz zbudowanie reguł mapowania innych modeli wykorzystywanych w systemach klasy C4I (NFFI, ATH Gold itp.) oraz przygotowanie warstwy przestrzennych zapytań semantycznych umożliwiających identyfikację relacji obiektów bazując na ich położeniu.

Aktualne trendy rozwoju oprogramowania wskazują również kolejny kierunek rozwoju narzędzia, ukierunkowanego na urządzenia mobilne, wspomagającego budowę obrazu CTP. Środowisko bazujące na SOA, zakładające obsługę specjalizowanych platform PDA, może dostarczyć nowej grupy narzędzi, dostarczanych dowódcom niższych szczebli dowodzenia, co znacząco poprawi skuteczność przepływu informacji, a w konsekwencji usprawni również podejmowanie decyzji.

## 8. Bibliografia

- [1] J. Davies, D. Fensel, F. Harmelen, *Towards the Semantic Web: Ontology-driven Knowledge Management*, HPL-2003-173, JOHN WILEY & SONS, LTD, 2003
- [2] C. J. Matheus, B. Ulicny, *On the Automatic Generation of an OWL Ontology based on the Joint C3 Information Exchange Data Model*, STTR N00014-05-C-0367, SBIR W15P7T-05-C-T204.
- [3] M. Chmielewski, *Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego Nr 15201: Opracowanie ontologii przestrzeni walki*, PBZ-MNiSW-DBO-02/I/2007, 2008
- [4] "NATO Common Operational Picture (NCOP) - NC3A, 16.11.2006 r."
- [5] M. R. Endsley, D. J. Garland, *Situation Awareness Analysis and Measurement: Analysis and Measurement*, Lawrence Erlbaum Associates, 2000, ISBN 0805821341
- [6] F. Baader, D. L. McGuinness, D. Nardi, P. F. Patel-Schneider, *The description logic handbook: theory, implementation, and applications*, Cambridge University Press, 2003, ISBN:0521781760
- [7] D. Roman, U. Keller, H. Lausen, J. Bruijn, R. Lara, M. Stollberg, A. Polleres, C. Feier,

- C. Bussler, D. Fensel: *Web Service Modeling Ontology*, Applied Ontology, 2005, <http://www.wsmo.org/>
- [8] NATO MIP, *The joint C3 information exchange data model overview*, [www.mip-site.org](http://www.mip-site.org)
- [9] MIP-NATO Management Board (MNMB) - *The Joint C3 Information Exchange Data Model Metamodel (JC3IEDEM Metamodel)*, [www.mip-site.org](http://www.mip-site.org)
- [10] I. Horrocks, U. Sattler, *A Tableaux Decision Procedure for SHOIQ*, University of Manchester, UK, 2004
- [11] Z. Nagy, G. Lukacsy, P. Szeredi, *Translating Description Logic Queries to Prolog*, Springer LNCS, 2006, 978-3-540-30947-5
- [12] B. Aleman-Meza, C. Halaschek, I. B. Arpinar, A. Sheth, *Context-Aware Semantic Association Ranking*, Technical Report 03-010, LSDIS Lab, Computer Science, University of Georgia, 2003
- [13] M. Chmielewski, J. Koszela, *The concept of C4I systems data integration for planning joint military operations, based on JC3 standard*, Proceedings MCC Conference, 2008
- [14] S. Perera, A. Ranabahu, *Web Services Messaging with Apache Axis2: Concepts and Techniques*, ONJava.com, 2005
- [15] M. Mohammadian, *Intelligent Agents for Data Mining and Information Retrieval*, Idea Group Publishing, 2004
- [16] M. Herrmann, O. Dalferth, M. A. Aslam, *Applying Semantics (WSDL, WSDL-S, OWL) in Service Oriented Architectures (SOA)*, 10th Intl. Protégé Conference, 2007
- [17] W3C, *OWL Web Ontology Language Reference*, 2004
- [18] BBN OpenMap homepage: [www.openmap.org](http://www.openmap.org)
- [19] NASA World Wind homepage: <http://worldwind.arc.nasa.gov/>
- [20] Protégé modeling tool homepage: <http://protege.stanford.edu/>
- [21] JENA Semantic framework: <http://jena.sourceforge.net/>
- [22] Jambalaya visualization toolkit: [www.thechiselgroup.org/jambalaya](http://www.thechiselgroup.org/jambalaya)
- [23] Jess rule engine: [www.jessrules.com](http://www.jessrules.com)
- [24] Protégé: <http://protege.stanford.edu/>

Praca ta była wspierana w ramach grantu PBZ-MNiSW-DBO-02/I/2007”.