

Jacek Wroński
Paweł Winkel
Dariusz Wypiór
Dariusz Więcek
Janusz Sobolewski
Instytut Łączności, ul. Swojczycka 38,
51-501 Wrocław
j.wronski@il.wroc.pl p.winkel@il.wroc.pl, d.wypior@il.wroc.pl,
d.wiecek@il.wroc.pl, j.sobolewski@il.wroc.pl



Wrocław, 10-12 czerwca 2013

ARCHITEKTURA WIELOWARSTWOWEGO SYSTEMU INFORMATYCZNEGO DO OBLICZEŃ PROPAGACYJNYCH ORAZ PLANOWANIA I OPTYMALIZACJI SIECI RADIOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono budowę systemu informatycznego do prowadzenia prac związanych z planowaniem sieci radiowych. Scharakteryzowano realizację przyjętej pięciowarstwowej architektury tworzonego rozwiązania. Opisano poszczególne warstwy wraz ze sposobem ich realizacji. Zwrócono uwagę na modułowość tworzonego rozwiązania, dzięki której istnieje możliwość efektywnego prowadzenia prac. Przedstawiono przykład wykorzystania opracowanych aplikacji do wyznaczania zasięgów sieci.

1. WSTĘP

Planowanie i optymalizacja sieci bezprzewodowych wymaga stosowania odpowiednich narzędzi i rozwiązań informatycznych, które powinny zapewniać, poza swoimi pierwotnymi funkcjami takimi jak zwracanie poprawnych oraz powtarzalnych wyników w określonym czasie, szereg funkcjonalności określonych podczas ich projektowania. Wychodząc od potrzeb stawianych przez użytkowników takich narzędzi, należy mieć na uwadze opracowanie interfejsów graficznych pozwalających na intuicyjny dostęp do przygotowanych funkcji oraz komunikowanie stanu zleconego zadania do realizacji w systemie. Czasy uzyskania wyników – np. rozkładów natężenia pola elektrycznego z wykorzystaniem numerycznych map terenu – powinny być różnicowane ze względu na priorytet zadania. Dane, zarówno wejściowe (np. lokalizacje stacji nadawczych) jak i wyjściowe (np. pokrycie ludnościowe) muszą być przechowywane w bezpieczny sposób, co oznacza ich duplikację oraz zabezpieczenie przed odczytem przez nieautoryzowane osoby.

Biorąc pod uwagę dynamikę rozwoju dziedziny jaką jest radiokomunikacja narzędzia obliczeniowe muszą mieć możliwość aktualizacji danych oraz umożliwiać rozbudowę o nowe funkcje obliczeniowe i analityczne (m.in. nowe modele propagacyjne, analizy sieci SFN, analizy zasięgów sieci, symulacje przepływności bitowych etc.) oraz być skalowalne w taki sposób aby zwiększanie ich mocy obliczeniowych przekładało się proporcjonalnie na skrócenie czasu obliczeń. Każda aktualizacja czy rozbudowa infrastruktury obliczeniowej nie powinna powodować długich przerw technologicznych uniemożliwiających prawidłowe świadczenia usług dla użytkowników. W artykule omówiono realizację platformy informatycznej opracowywanej aktualnie we Wrocławskim Oddziale Instytutu Łączności. Platforma ta będzie realizować docelowo prowadzenie obliczeń

związanych z planowaniem sieci radiowych, analizami kompatybilności elektromagnetycznej systemów radiokomunikacyjnych czy np. analizami systemów radia kognitywnego. W ramach platformy wdrożono i uruchomiono centrum obliczeniowe wyposażone w serwery kasetowe o łącznej liczbie 192 procesorów logicznych, co umożliwia tworzenie różnych scenariuszy wirtualizacji lub dynamicznego przydzielania zasobów i ich wykorzystania w zależności od potrzeb zespołu.

W kolejnych rozdziałach opisano organizację wielowarstwowego systemu informatycznego z omówieniem każdej warstwy i technik wykorzystanych do jej realizacji. Zwrócono uwagę na modułowość omawianego systemu pod kątem prowadzenia analiz na przykładzie zasięgów sieci DAB+. Przedstawiono też metodę integracji poszczególnych modułów, wymaganą przy wyznaczaniu zasięgu sieci radiodifuzyjnych.

2. ZASTOSOWANY MODEL WARSTWOWY

Na potrzeby prowadzenia rozbudowanych pod kątem złożoności i rozciągniętych w czasie analiz, tworząc platformę informatyczną przyjęto, że prowadzenie symulacji i obliczeń oraz składowanie danych wykonywane będzie na dedykowanych serwerach obliczeniowych oraz macierzach dyskowych, co pozwoli na niezależnienie czasu trwania obliczeń od jakości stacji roboczych wykorzystywanych przez użytkowników, a także zwiększy poziom bezpieczeństwa. W ten sposób powstał pięciowarstwowy model systemu informatycznego składający się z warstw: prezentacji (V), usług sieciowych (IV), usług obliczeniowych (III), dostępu do danych (II) oraz danych (I), które kolejno reprezentują procedurę wprowadzenia danych, przekazania zadań do wykonania (ew. kolejkowania), wykonania, zwracania aktualnego stanu obliczeń lub tylko poinformowania użytkownika o zakończeniu obliczeń oraz aktualizacji danych m.in. o otrzymane wyniki. Warto podkreślić, że w warstwie I przechowywane są dane, warstwa IV odpowiada za komunikację sieciową, a w ramach warstw II, III, V projektowane i wdrażane są aplikacje informatyczne w głównej mierze budowanej w formie modułów. Rozwiązanie takie pozwala na adaptowanie ich, wielokrotne wykorzystanie oraz rozmieszczenie równoległe na wielu serwerach obliczeniowych realizujących zadania wielowarstwowe na przydzielonej liczbie procesorów logicznych.

2.1. Warstwa V: Prezentacji

Warstwa prezentacji, z której bezpośrednio korzysta użytkownik powinna w sposób funkcjonalny i ergonomiczny zapewniać dostęp do wybranych interfejsów wprowadzania danych i wizualizacji oraz prezentacji wyników. Aplikacje wykorzystują API (*Application Programming Interface*) Windows Form oraz WPF (*Windows Presentation Foundation*) dostępne w środowisku Microsoft.NET i dostosowane są do pracy użytkownika na dedykowanych stanowiskach komputerowych. Dodatkowo przygotowano aplikację internetową (z wykorzystaniem technologii ASP.NET) dającą możliwość świadczenia prostych usług szerokiej gamie użytkowników wykorzystując m.in. mechanizm AJAX do poprawy interakcji w czasie prowadzenia prostych analiz (np. analiza profilu terenu, wyznaczanie krzywych propagacyjnych wg. ITU-R P.1546-4). Warto zaznaczyć, że obliczenia i analizy związane z planowaniem radiowym zwłaszcza na dużym obszarze geograficznym mogą trwać wiele godzin, tym samym użytkownik systemu powinien mieć w tym czasie ciągły wgląd w postęp obliczeń oraz możliwość monitorowania statusów błędów lub ostrzeżeń.

Odczyt wyników oraz zlecenie wykonywania analiz (np. analiz zasięgu sieci lub pokrycia ludnościowego w obrębie danej stacji nadawczej) musi wymagać uzyskania odpowiednich uprawnień do odczytu oraz ewentualnej edycji danych. Rodzaj i zakres uprawnień definiowany jest w dedykowanej bazie użytkowników. Do tego celu wykorzystuje się także usługi katalogowe AD (*Active Directory*). Dla zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa oraz niezawodności kontrolery domen AD są replikowane na kilku serwerach, aby w razie pojedynczej awarii umożliwić nieprzerwaną pracę użytkownikom oraz modułom obliczeniowym.

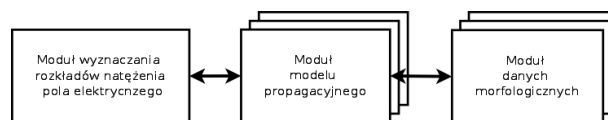
2.2. Warstwa IV: Usług sieciowych

Usługi sieciowe pozwalają na dwukierunkową komunikację między poszczególnymi modułami warstw I, III, IV oraz danymi w warstwie V rozlokowanymi na serwerach połączonych w sieci 10GbE. Sieć ta zapewnia wystarczającą szybkość transmisji danych, tj. nie wpływa na znaczne obniżenie łącznego czasu trwania obliczeń. Poszczególne aplikacje wymagające zdalnej komunikacji wykorzystują głównie technikę zdalnego dostępu .NET Remoting oraz usługi sieciowe Web service. Niektóre aplikacje ponadto stosują łączność asynchroniczną, co przełożyło się na skonfigurowanie odpowiednich zasad bezpieczeństwa, które pozwoliły przesyłać informacje zwrotne pomiędzy utworzonymi sieciami komputerowymi. Zadbano również o redundancję urządzeń sieciowych oraz użycie odpowiednich protokołów sieciowych takich jak STP (*Spanning Tree Protocol*) oraz LACP (*Link Aggregation Control Protocol*) odpowiednio do zapewniania nadmiarowych połączeń w razie awarii poszczególnych węzłów sieci i do zapewnienia większej sumarycznej przepływności bitowej między wybranymi urządzeniami sieciowymi.

2.3. Warstwa III: Usług obliczeniowych

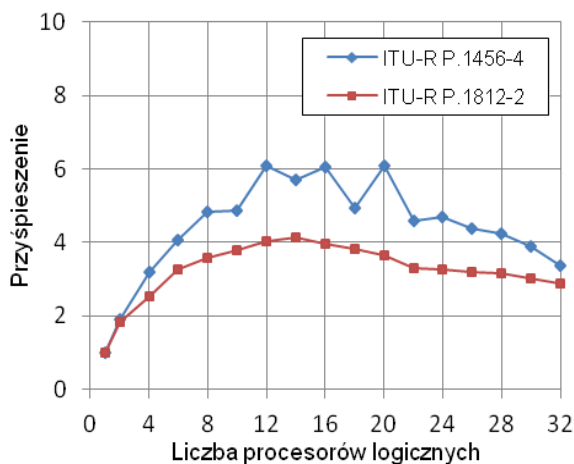
Stawiając za cel osiągnięcie jak najkrótszych czasów analiz przyjęto, że wszystkie te procesy analityczne, których czas trwania ma istotny wpływ na łączny czas

wykonania zadania lub które zwracają dane w oparciu o dostęp do dużych zasobów danych (np. Numeryczny Model Terenu) będą wdrażane na serwerach obliczeniowych, w przeciwieństwie do osadzenia ich na stacjach roboczych użytkowników. Do takich pierwotnych analiz należy zaliczyć przede wszystkim wyznaczanie przestrzennych rozkładów natężenia pola elektrycznego lub tłumienia sygnału z wykorzystaniem numerycznych modeli terenu oraz warstw jego pokrycia lub wyznaczanie przekrojów i charakterystyki terenu bazując na tych modelach. Przyjęto, że pewna część aplikacji będzie pracowała w oparciu o model klient - serwer co umożliwia ich osadzenie na różnej liczbie maszyn o wariantowanych mocach obliczeniowych. Na rysunku 1 przedstawiono przykład wielokrotnego zastosowania modelu klient – serwer, dodatkowo podkreślając fakt zrównoleglenia wybranych obliczeń lub wykonywania obliczeń z wykorzystaniem wielu instancji danego modułu (tj. uruchomienie wielu modułów na tym samym lub wielu serwerach obliczeniowych). W omawianym przypadku moduł wybranego modelu propagacyjnego traktowany jest jako serwer dla klienta zgłaszającego obliczenia oraz jako klient, kiedy zgłasza żądanie dostarczenia odpowiednich danych terenowych będącymi danymi wejściowymi metod propagacyjnych.



Rys. 1 Przykład wielokrotnego modelu klient – serwer

Implementując moduły obliczeniowe, dąży się do osiągnięcia jak największej wydajności oraz zachowania jej proporcjonalnego wzrostu w stosunku do ogólnej liczby procesorów przypadających na realizację zadania obliczeniowego. Wzrost liczby procesorów może zostać zrealizowany w przyszłości poprzez nowe inwestycje w infrastrukturę lub poprzez dołączenie dodatkowych tymczasowych jednostek obliczeniowych (stacji roboczych pracowników, serwerów przeznaczonych do innych zadań etc.) działających w ramach określonej sieci – taka sytuacja może mieć miejsce podczas realizowania usług o bardzo wysokim priorytecie. Na potrzeby analiz równoległych aktualnie rozwiązywane są kwestie dotyczące równoczesnego zarządzania wieloma instancjami modułów tego samego typu oraz osiągnięcia maksimum przyśpieszenia obliczeń dla jak największej liczby procesorów logicznych obsługujących daną instancję. Na rysunku 2 przedstawiono wykres przyśpieszenia obliczeń propagacyjnych z wykorzystaniem numerycznych modeli terenu NMT w zależności od liczby procesorów logicznych, które są zaangażowane w jedno zadanie, jakim jest wyznaczenie rozkładu natężenia pola za pomocą różnych implementacji metod propagacyjnych dla wskazanej referencyjnej pojedynczej stacji nadawczej. Zaprezentowane wyniki przyśpieszenia wyznaczanego zgodnie z definicją podaną przez Gustafsona [8] oraz czasy dostępu do zasobów mapowych zwracanych z danych modułów mapowych poprzez sieć osiągnięcie maksimum przyśpieszenia obliczeń z wykorzystaniem modeli ITU-R P.1546-4 oraz ITU-R P.1812 rzędu od 4 do 6 dla 12 procesorów logicznych.

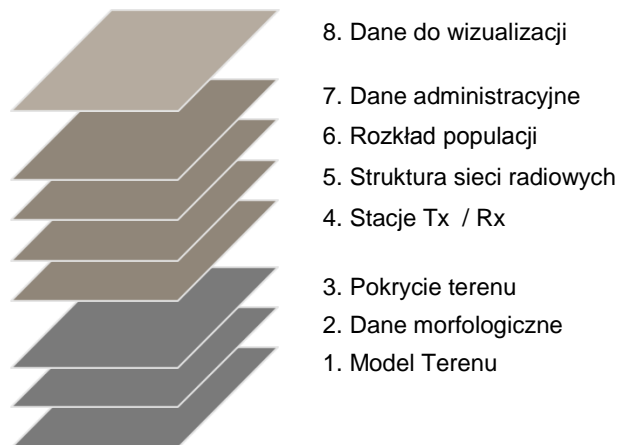


Rys. 2 Średnie przyspieszenie obliczeń propagacyjnych w zależności od liczby procesorów logicznych

2.4. Warstwa II: Dostępu do danych

Wszystkie moduły osadzone w warstwie danych zostały podzielone na pracujące w oparciu o model klient – serwer oraz na takie, które wykorzystywane są jako biblioteki dołączone dynamicznie w przypadku braku konieczności komunikacji sieciowej. Podstawową grupę aplikacji pracujących w tej warstwie stanowią te, które zwracają dane z cyfrowych modeli terenu oraz jego pokrycia i zabudowy – dostęp do danych realizowany jest przez moduł MDA (*Map Data Access*). W systemie wykorzystywane są m.in. mapy ASTER, GTOPO, SRTM (NMT), dane o pokryciu terenu (CORINE Land Cover, GlobCover, UMD etc.) oraz szczegółowe przestrzenno – wysokościowe dane o zabudowie określonych miast i lokalizacji. W zależności od rodzaju analizy (np. wyznaczanie zasięgu lub przekroju terenu) aplikacje dostępowe obsługujące określone dane zwracają najczęściej informację o sparacymetryzowanym profilu terenu lub przestrzenną siatkę sparacymetryzowanych punktów. Najważniejszym parametrem jest wysokość terenu (opcjonalnie wraz z zabudową) nad poziom morza, którą stosuje się m.in. do obliczeń dyfrakcji, kątów prześwietu, nieregularności terenu oraz przejrzystości pierwszej strefy Fresnela. Pozostałymi parametrami są m.in. dane o rodzajach gruntu (łąd, ciepłe/zimne morze, wybrzeże etc.), dane o charakterze środowiskowym (teren otwarty/miejski/podmiejski etc.) lub dane klimatyczne. Te ostatnie – charakteryzujące się mniejszą rozdzielczością – opracowano w formie bibliotek DLL, które zapewniają dostęp do takich danych jak m.in. temperatura [1], indeks refrakcji [2], gęstość pary wodnej [3] czy inne, w danym punkcie określonym przez szerokość i długość geograficzną. Ogólnie wykorzystane dane można zaprezentować w postaci ośmiu warstw zaprezentowanych na rysunku 3. Do warstw 1 – 3 dostęp odbywa się poprzez dedykowane aplikacje działające w trybie klient – serwer z wykorzystaniem API .NET Remoting i są wykorzystywane przede wszystkim w obliczeniach propagacyjnych. Warstwy 4 – 7 są odczytywane z plików lub bezpośrednio z bazy danych (DB) poprzez moduł dostępowy DBA (*Database Access*). Warstwy te stosuje się w procedurach planowania radiowego np. do wyznaczania zasięgów sieci, lub wyszukiwaniu wolnych kanałów w paśmie telewizyjnym np. w kontekście radia kognitywnego oraz białych przestrzeni widma (*White Space Spec-*

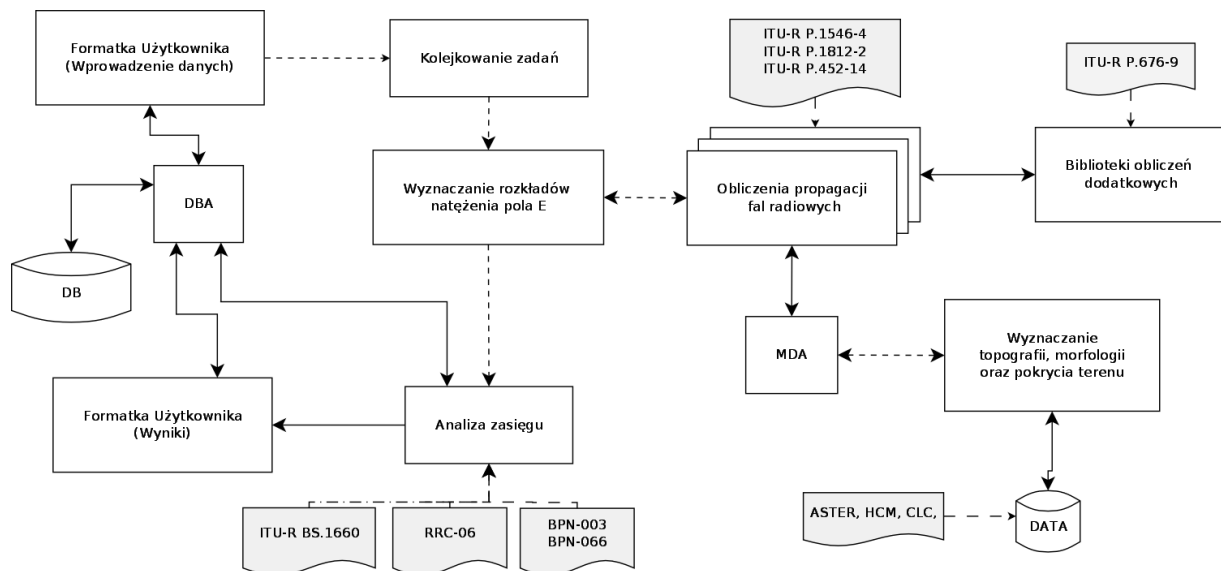
trum). Warstwa 8 zawiera informacje służące wizualizacji (np. drogi, trakcje kolejowe, granice państw). Przy czym do obrazowania wyników mogą być wykorzystywane też dane z warstw 1 – 7.



Rys. 3 Warstwowy model wykorzystanych danych

2.5. Warstwa I: Dane

Zbiór danych tworzą dane wymagane w procesie obliczeń propagacyjnych, planowania i optymalizacji sieci radiowych oraz te które stanowią wyniki, które można z kolei podzielić na obecnie wykorzystywane – raportowane – oraz archiwalne. Z punktu widzenia organizacji danych przyjęto, że część wyników przechowywana będzie w relacyjnej bazie danych, podczas gdy pozostałe wyniki jako pliki płaskie – przykładowo cyfrowe mapy terenu i jego pokrycia takie jak: HCM 30”, SRTM 3”, ASTER 1” (dane topograficzne), CLC (dane morfologiczne opisujące rodzaj terenu) oraz inne informacje o pokryciu terenu, które mogą uzupełniać dane topograficzne: zabudowa, lasy, zbiorniki i ciek wodne. Na podstawie powyższych informacji oraz danych administracyjnych (źródło: GUS) tak jak granice gmin, miejscowości oraz liczbę ludności na danym obszarze można wyznaczyć pokrycie zasięgiem poszczególnych wybranych obszarów w odniesieniu do liczby populacji. Poprzez zastosowanie obrysów obszarów zamieszkałych można w bardziej precyzyjny sposób określić pokrycie zasięgiem danego obszaru, a także liczbę ludności w obszarze zasięgu. Proces planowania i optymalizacji sieci radiowych wymaga również danych o stacjach nadawczych, pracujących i planowanych (UKE, KRRiT, nadawcy, operatorzy). Szczególnie istotna jest baza danych zawierająca m.in. informacje o stacjach pracujących w celu wyznaczenia poziomu zakłóceń dla analizowanych stacji (usługi wyznaczania zasięgu lub doboru częstotliwości). Dane tego rodzaju przechowywane są w bazie danych, z której można również uzyskać informacje o strukturze analizowanej sieci oraz jej parametrach. W omawianym systemie dane wraz z wynikami analiz zapisywane są na macierzach dyskowych w różnych konfiguracjach RAID (0,10,5,6) w zależności od stawianych potrzeb. Wyniki tymczasowe umieszczane są na szybkiej i nie redundantnej grupie RAID0, SQL ma dostęp z poziomu RAID10, który dodatkowo zapewnia jednokrotną redundancję. Macierz w celu ciągłej pracy posiada dyski nadmiarowe, aktywowane w razie awarii pozostałych.



Rys. 4 Przykładowe zastosowanie w przypadku wyznaczania zasięgów radiofonii cyfrowej w standardzie DAB+.

3. PLANOWANIE SIECI RADIOWYCH Z WYKORZYSTANIEM MODUŁÓW

Opracowane moduły – w poszczególnych warstwach omówionych w poprzednim rozdziale – stosowane są w projektowaniu dedykowanych narzędzi analitycznych. Na rysunku 4 zobrazowany jest diagram połączeń poszczególnych modułów realizujących określone funkcje w procesie planowania zasięgu radiofonii cyfrowej w standardzie DAB+. Przerywaną linią oznaczono tą komunikację, która albo odbywa się w połączeniu typu klient – serwer albo wymaga połączenia ze zdalnym hostem realizującym dane zadanie. Zwrócono uwagę na zwielokrotnienie obliczeń rozkładów natężenia pola, które są kluczowe z punktu widzenia czasu obliczeń. W zależności od założonej rozdzielczości i kroku czas dla pojedynczej stacji może sięgać wartości rzędu kilkadziesiąt minut przy wykorzystaniu średniej klasy stacji roboczych. Na diagramie zamieszczono również informację o zaimplementowanych zaleceniach i notach technicznych, które wykorzystywane są w planowaniu radiofonii DAB+ (EBU, ITU) oraz takie, które normują wykorzystane modele propagacyjne. Dokumenty te stosowane są jeszcze przed kodowaniem rozwiązań w celu opracowania algorytmów optymalizujących pracę użytkowników. Należy podkreślić, że w przypadku potrzeby wykorzystania danego modułu (np. *Analiza zasięgu*) przez inne narzędzie (np. *Dobór nowej stacji nadawczej*) można go albo uruchomić jako niezależna instancja (na tym samym serwerze lub innym) lub wykorzystać aktualnie stosowaną w tym narzędziu instancję – decyzja jest podejmowana na podstawie ilości zadań jakie są zlecane danemu modułowi do wykonania.

4. PODSUMOWANIE I DALSZE PRACE

W artykule poruszono kwestię opracowania i wdrożenia wielowarstwowego modelu systemu informatycznego, który da możliwość prowadzenia obliczeń związanych z planowaniem i optymalizacją sieci radiowych w sposób skalowalny i elastyczny - zarówno pod kątem jego obsługi przez użytkownika, szybkości obliczeń jak i

dalszej rozbudowy mającej na celu implementację dodatkowych scenariuszy (nowe modele propagacyjne, obsługiwane sieci, pasma, wariantowane dane wejściowe). Systemy planistyczne będące kompleksowym rozwiązaniem powinny charakteryzować się wysokim poziomem bezpieczeństwa danych oraz ich redundancji ze względu na dane, które często są bardzo istotne z biznesowego punktu widzenia poszczególnych operatorów, nadawców i administracji. Podkreślając istotę szybkości obliczeń dalszych prac wymaga szukanie i analizowanie rozwiązań obliczeń równoległych i rozproszonych na wielu serwerach, aby implementowane narzędzia pozwalały w jak największym stopniu wykorzystać posiadane zasoby sprzętowe.

Podziękowanie: Praca powstała w wyniku realizacji Projektu POIG 2.3, pt. „Platforma informatyczna do celów analiz propagacyjnych, kompatybilności elektromagnetycznej i optymalizacji sieci bezprzewodowych systemów telekomunikacyjnych i teleinformatycznych” finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Działania 2.3 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

SPIS LITERATURY

- [1] ITU-R P.1510 - Annual mean surface temperature, Genewa, 2001
- [2] ITU-R P.453-10 - The radio refractive index: its formula and refractivity data, Genewa, 2012
- [3] ITU-R P.836-4 - Water vapour: surface density and total columnar content, Genewa, 2009
- [4] ITU-R P.1812-2 - A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands, Genewa, 2012
- [5] TU-R BS.1660-6 - Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band, Genewa, 2012
- [6] Technical bases for T-DAB services network planning and compatibility with existing broadcasting services - third issue, EBU, 2003
- [7] Guide on SFN Frequency Planning and Network Implementation with regard to T-DAB and DVB-T, EBU, 2005
- [8] Gustafson J, Reevaluating Amdahl's Law, Communications of the ACM, 1988, pp. 532-533