



Bohdan STRYKHALYUK¹ ORCID 0000-0002-3065-0384, bohdan.m.strykhaliuk@lpnu.ua
Natalija HOTS¹ ORCID 0000-0003-2666-2187, Nataliia.Y.Hots@edu.lpnu.ua
Andrzej SZELMANOWSKI² ORCID 0000-0001-6183-0241, andrzej.szelmanowski@itwl.pl
– corresponding author
Grzegorz KOWALCZYK² ORCID 0000-0002-4578-6065, grzegorz.kowalczyk@itwl.pl
Andrzej PAZUR² ORCID 0000-0002-3126-1110, andrzej.pazur@itwl.pl
Maciej DELIŚ² ORCID 0000-0001-6841-5534

¹ Lviv Polytechnic National University (Państwowy Uniwersytet Politechnika Lwowska),
Ukraine

² Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), Poland

PRZEKSZTAŁCENIA ARCHITEKTONICZNE W ROZPROSZONYCH TELEKOMUNIKACYJNYCH SYSTEMACH USŁUGOWYCH ORAZ PROBLEMY ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA INFORMACJI

Architectural transformations in distributed telecommunications service systems and problems of ensuring information security

Streszczenie: W artykule omówiono przekształcenia architektoniczne rozproszonych telekomunikacyjnych systemów usługowych oraz sposoby optymalizacji ich niezawodności i wydajności. Przedstawiono nowoczesne rozproszone sieci zorientowane na usługi jako złożone systemy heterogeniczne, których większość opiera się obecnie na tzw. technologiach chmurowych. Przeanalizowano systemy usług w chmurze jako alternatywę dla nabywania przez klientów biznesowych własnych potężnych systemów obliczeniowych, oprogramowania i technologii pamięci masowej. Zaproponowano zasadę współdzielenia tych zasobów na podstawie ich wirtualizacji. Wskazano na główne problemy i podano sposoby zapewnienia bezpieczeństwa informacji w tych systemach.

Słowa kluczowe: technologia informatyczna, niezawodność i wydajność systemu IT, bezpieczeństwo informacji

Abstract: The article discusses the architectural transformations of distributed telecommunications service systems and methods of optimizing their reliability and efficiency.



Modern distributed service-oriented networks are presented as complex heterogeneous systems, most of which are currently based on so-called cloud technologies. Cloud service systems were analyzed as an alternative to business customers purchasing their own powerful computing systems, software, and storage technologies. The principle of sharing these resources based on their virtualization was proposed. The main problems and ways of ensuring safety of information in these systems are provided.

Keywords: IT technology, reliability and efficiency of IT systems, safety of information

Received: October 10, 2023/ Revised: October 27, 2023/ Accepted: November 27, 2023/ Published: December 28, 2023

1. Wprowadzenie

Nowoczesne rozproszone sieci zorientowane na usługi SOA (ang. Service-Oriented Architecture) to złożone systemy heterogeniczne. Większość z nich opiera się dziś na tzw. technologiach chmurowych. Systemy usług w chmurze zostały po raz pierwszy zaproponowane w latach 60. XX w. jako koncepcyjna alternatywa dla nabywania własnych potężnych systemów obliczeniowych, oprogramowania i technologii pamięci masowej [1÷7]. Zaproponowano zasadę współdzielenia tych zasobów na podstawie ich wirtualizacji. Rozwój systemów heterogenicznych w chmurze jest również powiązany z inicjatywami komercyjnymi Amazona i Google na początku XXI w. W tym okresie pojawiły się terminy „chmura” i „przetwarzanie w chmurze” [8÷11].

Zalety koncepcji „cloud computing” są oczywiste: oszczędność kapitału i kosztów operacyjnych klientów, zwiększenie niezawodności i bezpieczeństwa przechowywania i przesyłania danych klientów. Zatem odpowiedzialność za spełnienie tych warunków spoczywa wyłącznie na dostawcy. Jest jednak minus: ogólna wydajność przetwarzania danych w chmurze może być niższa niż w przypadku dostępu lokalnego. Ponadto niezawodność, terminowość i dostępność danych to złożone zależności funkcjonalne od wielu parametrów charakteryzujących kanały transmisji od użytkownika do chmury: jakości sieci dostępowych do zasobów chmury, dostępności chmury z niezbędną funkcjonalnością usług i ich replikacją w zestawie maszyn wirtualnych.

Chmury, zwłaszcza publiczne lub quasi-publiczne, są zwykle rozproszonymi obiektami, które implementują potrójną koncepcję SaaS-PaaS-IaaS (2009–2011) w wybranej rozproszonej platformie usługowej [8, 9, 12÷14]. Parametry każdej warstwy usług będą w dużej mierze determinować charakterystykę całego systemu chmurowego. Jeżeli badania i kontrolę parametrów systemu dostępowego można przeprowadzić w oparciu o ważne modele estymacji zbiorów rozmytych, to dwie górne warstwy, bezpośrednio realizujące równoważenie obciążenia i logikę usług, nie mogą być opisane bez użycia złożonych modeli grafowo-analitycznych. Modelowanie złożonych systemów usługowych odbywa się przy użyciu wielu metod, z których większość opiera się na teorii procesów losowych

w połączeniu z „teorią teleruchu” [1, 2, 13]. Biorąc pod uwagę właściwości dystrybucji, w takich systemach szczególne znaczenie mają metody zarządzania ruchem informacyjnym.

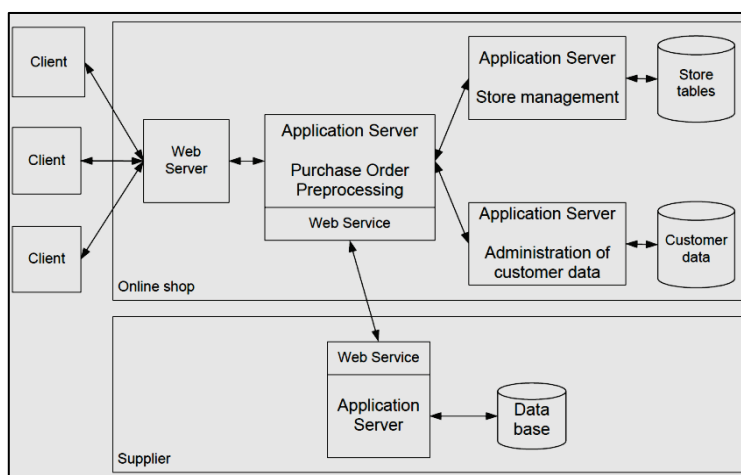
Przyjmując założenie, że większość systemów chmurowych to inteligentne sieci usługowe o dynamicznie zmieniającej się funkcjonalności i strukturze węzłów, istnieje koncepcja replikacji elementów usługi pod względem przyciągania do węzłów brzegowych najbliższych sieciom klienckim, co dla zbioru usług elementarnych powoduje efekt świadczenia usług migracyjnych. Opis dynamiki przepływów usług i informacji wraz ze zmianą konfiguracji strukturalnej urządzeń usługowych w sieciach heterogenicznych odzwierciedla złożoność reprezentacji chmury przez tradycyjne modele stosowane przez naukowców. Dlatego w wielu pracach oferowana jest nowoczesna koncepcja efektywnego zarządzania sieciami nowej generacji [8, 9, 12÷14], m.in. przy wykorzystaniu zasady efektywnej syntezy szkieletowych sieci transmisji danych, stanowiących podstawę rozproszonych usługowych systemów transmisji danych. Takie podejście do modelowania technologii zorientowanych na usługi nie pozwala na stworzenie kompletnego systemu kryteriów holistycznego pokrycia właściwości heterogenicznych systemów chmurowych w celu zwiększenia ich efektywności w procesie syntezy przekształceń [15÷18].

Należy także zaznaczyć, że szereg problemów związanych z bezpieczeństwem oraz ze strukturalnym równoważeniem przepływów informacji pozostaje nierozwiązanych. W celu zwiększenia wydajności sieci heterogenicznej i uproszczenia jej architektury, szczególnie w odniesieniu do tzw. programowalnych systemów zarządzania SDN (ang. Software-Defined Networking), konieczne jest wprowadzanie zmian w topologii systemów i dokonywanie funkcjonalnej dekompozycji złożonych systemów sieciowych, a optymalizacja wielokryterialna stosowana jest w celu utrzymania odpowiedniej jakości usług, w tym optymalizacji lokalnych metod śledzenia przepływu informacji. Działania takie powinny zapewnić bezpieczeństwo informacji oraz dostępność komponentów usług i niezawodność systemów usług, w tym sieci typu Peer-to-Peer, a także optymalizację wydajności platform oprogramowania usługowego w oparciu o efektywne zarządzanie zasobami maszyn wirtualnych [8, 9, 12÷14].

2. Przekształcenia architektur w systemach rozproszonych

W ostatnich dziesięcioleciach w systemach rozproszonych i aplikacjach sieciowych zaobserwowano znaczące zmiany architektoniczne i przesunięcia przede wszystkim w zakresie niezawodności, wydajności i bezpieczeństwa informacji. Rozproszone oprogramowanie do handlu elektronicznego często ma dość złożoną, hierarchiczną, wielowarstwową strukturę zaprojektowaną w celu optymalizacji wydajności i obejmuje nowoczesne usługi sieciowe. Przykład systemu dla e-commerce pokazano na rys. 1.

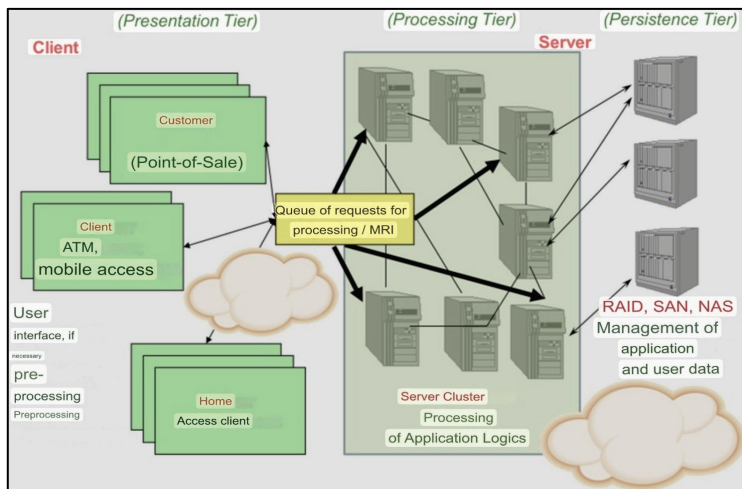
Aplikacja kliencka 1 wchodzi w interakcję ze sklepem wirtualnym, aplikacją 2 (sklep internetowy), za pośrednictwem serwera WWW z dołączonym serwerem aplikacji serwera aplikacji, który obsługuje wstępne przetwarzanie zamówień od klientów POP (ang. Purchase Order Preprocessing). Te ostatnie są z kolei połączone z następującymi dwoma serwerami aplikacji Application Servers. Jedna z nich przeznaczona jest do zarządzania bazami danych (Zarządzanie sklepami / Tabele sklepowe), druga – do zarządzania danymi klientów (Administracja Danymi Klienta) [8÷10, 19].



Rys. 1. Ogólna struktura aplikacji e-commerce [10]

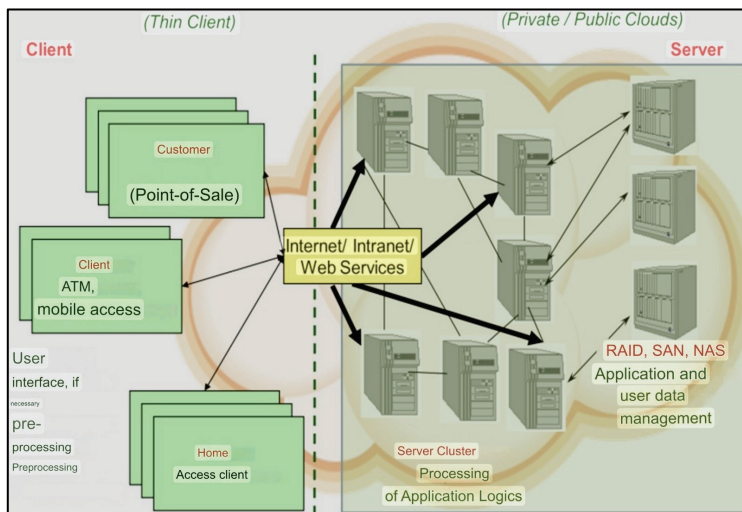
Aplikacja 3 (Dostawca) wspiera komunikację Sklepu Internetowego z dostawcą. Określona aplikacja składa się z serwera aplikacji Application Server, który jest przeznaczony do zarządzania DB towarów dostawcy. Komunikacja pomiędzy aplikacjami 2 i 3 „Sklep Internetowy – Dostawca” odbywa się za pomocą dwóch odpowiednich Usług Internetowych, które również realizowane są na dostarczonych platformach serwerowych aplikacji. W związku z tym obserwujemy charakterystyczny dalszy rozwój systemu rozproszonego w porównaniu z architekturą C-S/n-tier [8÷10]. Architekturę klastrową przedstawia rys. 2.

Architektura klastrowa pozwala zoptymalizować wydajność aplikacji rozproszonej, ponieważ jej funkcje są replikowane przez wiele serwerów. Funkcje logiki aplikacji, trwałości i zarządzania są dostarczane przez wiele serwerów. Do replikacji wymagana jest wstępna analiza składu danych. Replikacja funkcjonalna przyczynia się do: rozkładu obciążenia, zwiększenia tolerancji błędów oraz przetwarzania równoległego.



Rys. 2. Architektura klastrowa [10]

Replikacja serwerów w architekturze klastrowej charakteryzuje się znacznymi oszczędnościami czasu przetwarzania, ale także zwiększoną złożonością ze względu na potrzebę synchronizacji i obsługi konfliktów. Nowoczesną architekturę aplikacji rozproszonych chmur (ang. Clouds) przedstawia rys. 3. Zastosowanie architektury chmury pozwala na wykorzystanie znacznej mocy obliczeniowej systemów rozproszonych, zbliżonej do sposobu dostarczania energii elektrycznej w nowoczesnych sieciach konsumenckich UG (ang. Utility Grids) bazujących na systemach połączonych.



Rys. 3. Architektura chmury [10]

Warunki korzystania z architektury chmury są obecnie następujące: niektóre firmy i organizacje nie mają wystarczających możliwości tworzenia kopii zapasowych danych (kopii zapasowych) i rozwiązywania złożonych problemów obliczeniowych. Agregacja wystarczających zasobów obliczeniowych dla kilku przedsiębiorstw i organizacji jest wykonywana przez dostawcę chmury obliczeniowej. Firmy i organizacje mają dostęp do nowoczesnych usług sieciowych na żądanie w module „On-Demand”. To rozwiązanie jest idealne dla firm i organizacji, które mają doskonałe, czasami tylko sporadyczne zapotrzebowanie na te zasoby i usługi. Oszczędności czasu przetwarzania i kosztów sprzętu w każdym przypadku zrównoważyły nieco wyraźny wzrost złożoności ze względu na potrzebę koordynacji i synchronizacji systemów w chmurze. Wadami korzystania z architektury chmury są jednak niewystarczająca szybkość i niezawodność przesyłania danych oraz bezpieczeństwo informacji.

Wśród przykładów komercyjnych i niekomercyjnych projektów w chmurze są: naukowcy dostawcy chmur (sieć systemów ziemskich, badania nad ludzkim genomem) oraz komercyjni dostawcy chmury (Amazon, T-Systems, IBM) [6, 8÷10].

3. Architektury systemów zorientowane na usługi sieciowe

Pojęcie architektury sieci zorientowanej na usługi (SOA) stało się ostatnio mottem dostawców systemów oprogramowania i naukowców (rys. 4). Sekcja zawiera nowoczesne definicje i rozważa nowe trendy w tworzeniu innowacyjnych architektur zorientowanych na usługi aplikacji sieciowych. Nowoczesne usługi sieciowe Web Services są wykorzystywane jako podstawowa technologia tworzenia aplikacji w architekturze SOA.

Podstawowymi obszarami zastosowania SOA są aplikacje klienckie z wbudowanymi usługami sieciowymi, które są przeznaczone do integracji systemów informatycznych przedsiębiorstwa EAI (ang. Enterprise Application Integration) oraz komunikacji pomiędzy systemami biznesowymi typu B2B (ang. Business-to-Business) [8, 9, 16].

Obecnie istnieją następujące rodzaje usług:

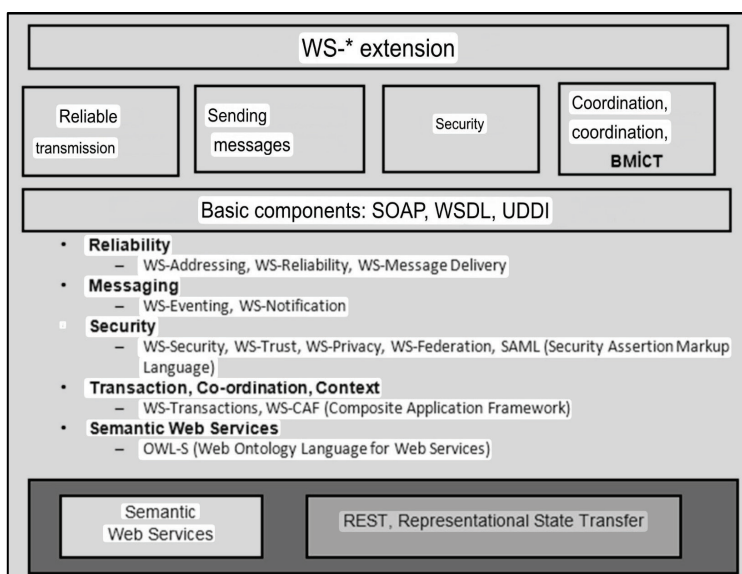
1. Zwykłe usługi sieciowe SOAP.
2. Ekonomiczne usługi sieciowe REST.
3. Połączone usługi sieci Web za pomocą narzędzi do kompozycji, na przykład języka WS-BPEL (ang. Web Service Business Process Execution Language).

Chociaż architektura SOA i usługi są ze sobą ściśle powiązane, istnieją pewne różnice między architekturami SOA a usługami sieciowymi:

1. System SOA opisuje paradygmat architektoniczny niezależnie od konkretnej implementacji systemu informatycznego przedsiębiorstwa i nie daje bezpośredniej możliwości rozwiązania jakichkolwiek problemów zawodowych. Ponadto architektura SOA jest zawsze indywidualna, tzn. nie ma standardowych SOA.

Korzystanie z usług sieci Web niekoniecznie prowadzi do powstania określonej architektury SOA. Na przykład ta sekcja dotyczy głównie pragmatycznego wykorzystania usług sieci Web i rozszerzeń usług sieci Web w celu uzyskania dostępu do innych rozproszonych aplikacji.

2. Każdy system SOA musi być dodatkowo skonfigurowany w celu opracowania indywidualnego systemu informatycznego przedsiębiorstwa zgodnie z własnymi potrzebami klienta.
3. Nowoczesne usługi sieciowe są oczywiście oparte na architekturach SOA. Jednocześnie czas realizacji, koszt i złożoność projektów integracji aplikacji korporacyjnych są znacznie skrócone, gdy są one wykorzystywane jako podstawa do wdrożenia.



Rys. 4. Rozszerzenie funkcji usług WS-* [8]

Składnikami technologii Web Services są standardy SOAP, WSDL i UDDI. Ich główne cechy to:

1. SOAP (ang. Simple Object Access Protocol) – format transmisji oparty na języku XML i protokole HTTP, bardziej elastyczny niż mechanizmy HTTP GET/POST wykorzystujący ulepszoną strukturę dla zdalnego RPC (ang. Remote Procedure Call).
2. WSDL (ang. Web Service Description Language) – opis interfejsu dla Web Services, za pomocą którego opisane jest zdalne wywołanie RPC na podstawie XML-Schema z parametrami RPC i opcjonalnym wiązaniem do HTTP GET/POST i SOAP.

3. UDDI (ang. Universal Description, Discovery and Integration) – specyfikacja opisująca rejestr Web Service z wyszukiwaniem Web Services w istniejących rejestrach biznesowych (np. MS, IBM, Ariba).

W większości Web Services są przystosowane do serwerów aplikacji. Platformy do tworzenia i korzystania z usług sieci Web obejmują następujące znane serwery aplikacji:

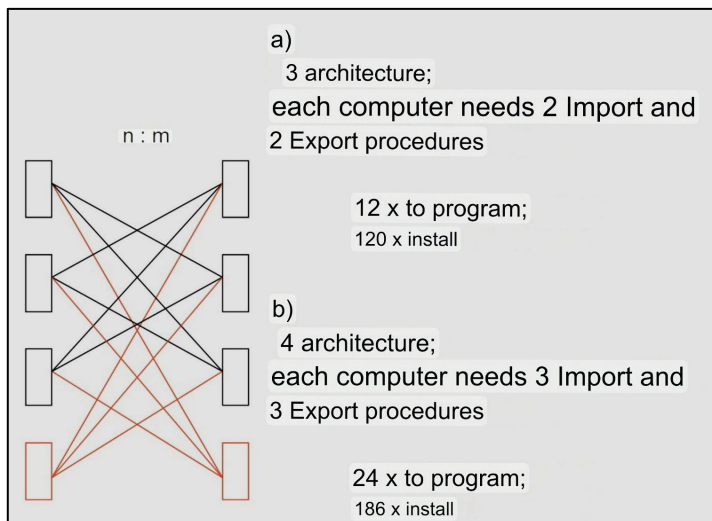
1. Oś Apache, Tomcat.
2. Platforma programistyczna Novell Mono.
3. Serwer Microsoft .NET.
4. SAP Web Application Server (oparty na SAP NetWeaver).
5. Pakiet Java Web Services Development Pack (JWS DP) firmy Sun Microsystems.
6. Oracle Application Server (w oparciu o Oracle Fusion Middleware).
7. IBM WebSphere Application Server (Apache, platforma J2EE).
8. DotGNU (Projekt GNU).
9. WebLogic systemów BEA.
10. Macromedia ColdFusion.
11. Cordys WS-AppServer.

Przykłady zastosowań obejmują m.in. złożone sieci komputerowe i sieci konwergentne, łączące komputery stacjonarne, mobilne i bezprzewodowe [8, 9, 16].

W złożonej sieci komputerowej składającej się z 30 komputerów współistnieją trzy różne niezgodne architektury systemu. Prowadzona jest jednoczesna, dwukierunkowa wymiana danych w heterogenicznych środowiskach pomiędzy heterogenicznymi systemami komputerowymi. Pojawiają się jednak pytania:

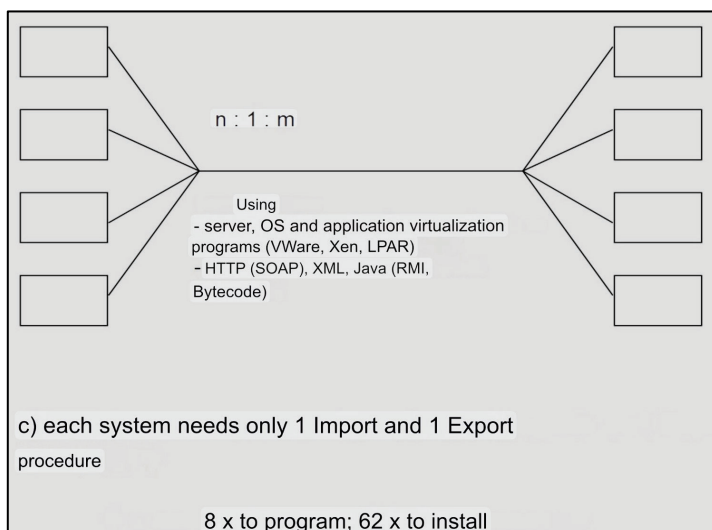
- a) ile procedur importu/eksportu należy utworzyć i zainstalować, aby zapewnić jednoczesną komunikację n:m – między wszystkimi systemami jednocześnie?
- b) jakie ogólne zmiany są wymagane, jeśli do określonej sieci dołącza komputer z nową architekturą systemu?
- c) jakie są zalety wykorzystania metod i narzędzi do wirtualizacji serwerów, systemów operacyjnych i aplikacji oraz ujednoczonych formatów i mechanizmów transmisji danych i kodu wykonywalnego?

Rozwiązanie dla (a) i (b) jest warunkowo przedstawione na rys. 5.



Rys. 5. Heterogeniczne środowiska z kilkoma architektuрами systemowymi [8]

Rozwiązanie dla (c) jest warunkowo przedstawione na rys. 6.



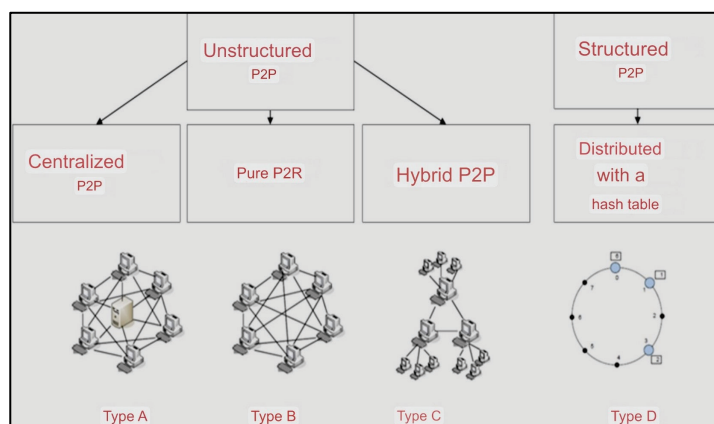
Rys. 6. Środowiska heterogeniczne i wirtualizacja [8]

Z kolei w sieci konwergentnej, łączącej infrastrukturę oraz systemy mobilne i bezprzewodowe, rola architektury rośnie wraz z komunikacją Peer-to-Peer lub P2P. Porównajmy tę architekturę z C-S:

- Bezpośrednia komunikacja między równorzędnymi partnerami;
- Nie ma prawa do jakiegokolwiek centralizacji wokół części serwerowej, a jeśli występuje, to tylko opcjonalnie lub w hierarchicznych strukturach, takich jak Peers + C-S;
- Peers to peers to zarówno usługodawcy, jak i użytkownicy.

Głównym wymaganiem architektury Peer-to-Peer jest stworzenie specjalnego mechanizmu wyszukiwania dostawców usług. W architekturze Peer-to-Peer wyróżnia się następujące rodzaje sieci (rys. 7):

- Typ A: scentralizowany model P2P z istniejącym serwerem do koordynacji i wyszukiwania, na przykład system Napster;
- Typ B: czysty model P2P, który nie wymaga żadnej scentralizowanej koordynacji, na przykład system Gnutella;
- Typ C: model hybrydowy P2P, który składa się z dynamicznych komponentów centralnych (Entities), niektórzy partnerzy Peers pełnią rolę koordynatorów komunikacji, na przykład: Gnutella2, BitTorrent, Skype;
- Typ D: rozszerzony model Pash z hashem DHT. Podana tabela weryfikuje identyfikatory (ID dostępu). Procedura rozszerzonego trasowania hierarchicznego przełączania nakładek połączeń stalowych. Przykładami realizacji są systemy: Chord, CAN, Pastry, Tapestry.



Rys. 7. Rodzaje sieci Peer-to-Peer [10]

Jak widać z rysunku, przeciwieństwem modelu Peer-to-Peer jest model Klient-Serwer. W przypadku modelu Klient-Serwer serwer świadczy usługę, a klient z niej korzysta. W modelu Peer-to-Peer wszystko wygląda inaczej. Każdy jest równym partnerem, więc każdy partner komunikacyjny może jednocześnie oferować usługę lub korzystać z usługi świadczonej przez drugiego partnera.

4. Problemy z bezpieczeństwem informacji w systemach

Pomimo oczywistych zalet tworzenia architektur aplikacji zorientowanych na usługi SOA (ang. Service-Oriented Architectures) w nowoczesnych sieciach, pojawiają się również istotne problemy. W szczególności mówimy o wydajności Web Services, bezpieczeństwie informacji, zmniejszeniu złożoności projektów aplikacji internetowych opartych na SOA. Alternatywnie można zastosować bardziej ekonomiczne podejście bazujące na REST (ang. Representational State Transfer), które umożliwia tworzenie dość prostych usług sieci Web zgodnych z REST [8÷10].

Dlatego głównymi obszarami badań nad stworzeniem nowego SOA są:

1. Zmniejszenie złożoności, zwiększenie wydajności i bezpieczeństwa informacji usług internetowych.
2. Koordynacja usług internetowych.
3. Zarządzanie usługami sieciowymi.
4. Standaryzacja w SOA.

Liczne nowe rozszerzenia tych usług, zwane WS-*, odgrywają ważną rolę w tworzeniu innowacyjnych architektur aplikacji zorientowanych na usługi w nowoczesnych sieciach. Technologia Web Services Security (Oasis-Open v1.1, 2006) wykorzystuje następujące komponenty: SOAP, XML-RPC, Security Features w nagłówkach SOAP-Header oraz warstwę transportową E2E-Security w oparciu o transfer certyfikatu Binary Security Token, który działa podobnie do certyfikaty X.509 lub Kerberos-Tickets (TGT). W szczególności stosowane są następujące metody kryptograficzne:

1. Podpis XML (RSA, Diffie-Hellman).
2. Szyfrowanie XML (3DES, AES) oraz język SAML (Security Assertion Markup Language).

Ten język jest powszechnie uznanym formatem wymiany służącym do szyfrowania treści, uwierzytelniania serwera i autoryzacji usług (szyfrowanie/desyfrowanie, uwierzytelnianie, autoryzacja danych) z bezpieczeństwem informacji domeny (domeny bezpieczeństwa). Następujące rozszerzenie WS- * dotyczy nowoczesnych semantycznych aplikacji sieci Web semantycznej. Dzięki zastosowaniu OWL-S gałąź Semantic Web może zostać całkowicie przeniesiona do usług semantycznych opartych na znanych technologiach RDF, RDFS, OWL-S i SPARQL. Usługi semantyczne powinny być lokalizowane, wywoływane i używane w taki sam sposób jak usługi zwykłe, czyli trio Discovery-Selection-Invocation.

Jako alternatywę dla ekspansji usług WS-* do tworzenia wydajnych aplikacji internetowych można zastosować bardziej ekonomiczne podejście zaproponowane przez R. Fieldinga w 2000 r. [8, 9, 16] i nazwane REST (ang. Representational State Transfer).

Główne różnice między usługami RESTful WS a usługami SOAP WS są następujące:

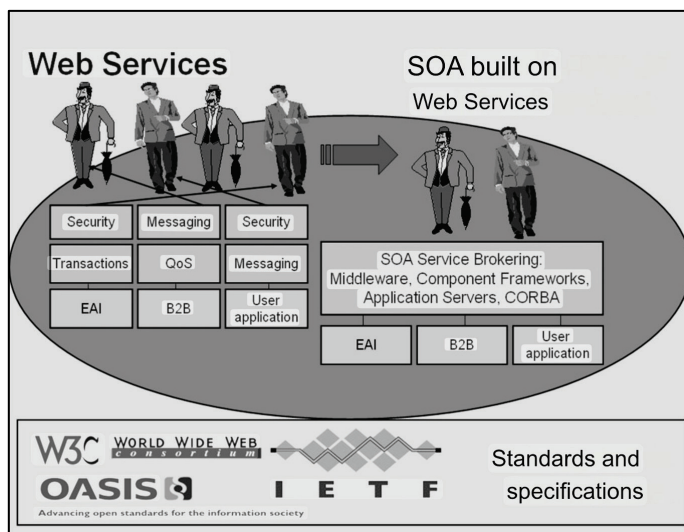
1. Obecność ekonomicznego protokołu komunikacyjnego bez zachowania państwa (bezstanowy protokół komunikacyjny).
2. Wysoka wydajność w jednorazowych operacjach z usługami i danymi.
3. Brak zdalnych wywołań RPC zakodowanych w formacie XML.
4. Bezpośrednie prośby o wymagane zasoby i dokumenty URI (ang. Unified Resource Identifier).
5. Korzystanie ze standardowego interfejsu internetowego.

Zaletami tak prostego protokołu korzystającego z usług jest jego minimalizm. Są one szczególnie widoczne, gdy te usługi są potrzebne aplikacji klienckiej tylko sporadycznie. Dzięki temu nie ma potrzeby tworzenia i utrzymywania połączenia transportowego, zapisywania stanu zdalnego wywołania RPC, a następnie mozolnego dekodowania go w formacie XML. Tak więc ten protokół REST używany w RESTful Web Services jest do pewnego stopnia przeciwnikiem bardziej popularnego protokołu SOAP do przesyłania zdalnego wywołania XML-RPC. Jednak w niektórych przypadkach taka prostota budowania tylko w oparciu o URI i technologii HTTP v 1.1 jest po prostu niezbędna. RESTful Web Services zawiera cały niezbędny kontekst i jest kontrolowany przez wiele typowych operacji http, bez angażowania dodatkowej warstwy transportowej (SOAP, XML-RPC, Sesje, Cookies). Oszczędności te mogą znacznie zwiększyć wydajność aplikacji internetowych opartych na architekturze SOA. Jednak wzrost ten odbywa się kosztem pewnej utraty elastyczności.

Standaryzacja architektur zorientowanych na usługi to odrębne zagadnienie dla SOA. Generalnie za standaryzację Web Services odpowiadają następujące instytucje:

1. OASIS – Organizacja Rozwoju Standardów Informacji Strukturalnej.
2. W3C – Konsorcjum World Wide Web.
3. IETF – Grupa Robocza ds. Inżynierii Internetu.

Instytucje te standaryzują wykorzystanie usług (rys. 8 i 9) w integracji systemów informatycznych przedsiębiorstw, tj.: EAI, EAI - Enterprise Application Integration oraz w aplikacjach typu B2B. Inicjatywa standaryzacji istniejących architektur zorientowanych na usługi należy do wielu firm, które wcześniej owocnie współpracowały ze sobą w zakresie stosowania standardu rozwoju aplikacji rozproszonych CORBA. Architektura CORBA również daje pewne możliwości rozwoju SOA, ale na obecnym etapie rozwoju technicznego usługi sieciowe znacznie wyprzedzają CORBA. Postanowiono więc stworzyć projekt SOA-Blueprints dotyczący standaryzacji SOA, który integruje i ocenia dopuszczalne wdrożenia w obszarach EAI i B2B dla uogólnionej firmy GeneriCo.

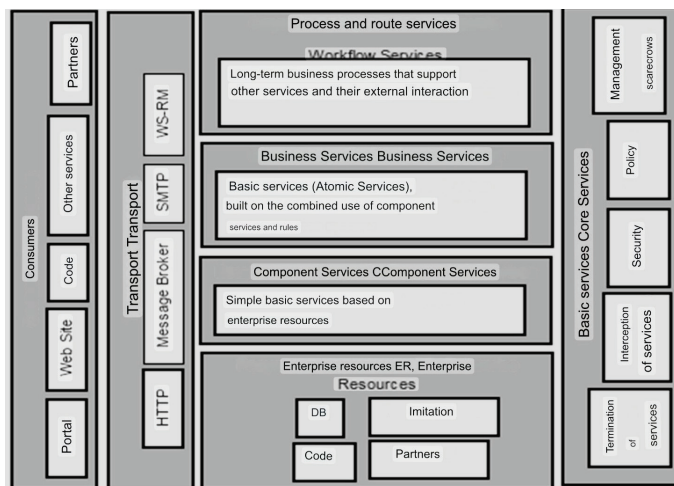


Rys. 8. Standaryzacja funkcji architektury zorientowanej na usługi SOA [8]

Dzięki tej inicjatywie osiągnane są dwa główne cele:

1. Tworzony jest szeroki zbiór najlepszych wdrożeń SOA, w których każdy partner może przyciągnąć najciekawsze komponenty dla innych lub odwrotnie, znaleźć potrzebne mu usługi.
2. Z drugiej strony twórcy systemów oprogramowania dla przedsiębiorstw są w stanie wykazać korzyści płynące z ich produktów oraz własne doświadczenie we wdrażaniu konkretnego SOA. Projekt składa się z różnych funkcji i komponentów, które są zorganizowane hierarchicznie i obejmują szeroki zakres zadań związanych z przetwarzaniem telegramów, uwierzytelnianiem użytkowników i szyfrowaniem danych, obsługą błędów, obsługą przestarzałych, ale niezbędnych programów (Legacy), utrzymaniem baz danych i przetwarzaniem zapytań, zarządzaniem procesami przetwarzanie dokumentów (Workflow), zasoby, finanse (Enterprise Resource Management) i personel przedsiębiorstwa (Human Resource Management) itp., a także niektóre komponenty usług (Atomic Services).

Analizując perspektywy sposobu modyfikacji usług SOA, można stwierdzić, że dalszy rozwój podejść do tworzenia nowoczesnych architektur zorientowanych na usługi w sieciach jest współczesną koniecznością. Niestety dzisiejsze SOA rozwiązują problemy tylko z EAI i B2B oraz niektórymi powiązаныmi. Ponadto odwzorowania na procesy biznesowe, ich skład (orkiestracja) są często nieoptymalne, a ponadto wiążą się z dużym zużyciem zasobów. Nowe podejścia do SOA powinny uwzględniać nie tylko aspekt technologiczny, ale także sytuację rynkową oraz analizować koszty i przychody.



Rys. 9. Architektura projektu projektowego specyfikacji SOA [8]

Dalsze ważne zadania dla rozwoju SOA i Web Services można sformułować w następujący sposób:

1. Dynamiczne wykorzystanie usług w nowoczesnej elastycznej dziedzinie systemów informatycznych typu B2C.
2. Dynamiczna kompozycja usług kompleksowych w celu tworzenia na ich podstawie rynków elektronicznych (systemy informacyjne takie jak Targowiska i Galerie Elektroniczne).
3. Rozwój funkcji automatyzacji wymiany danych pomiędzy aplikacją kliencką a dostawcą usługi Service Level Agreement Negotiation (SLA) w obszarze B2C.
4. Tworzenie aplikacji opartych na RESTful Web Services do zarządzania siecią w oparciu o protokół SNMP z pokonywaniem ekranów sieci lokalnej (intranet).
5. Tworzenie pojedynczej specyfikacji SOA.

Dość często wewnętrzna struktura chmury (Cloud) pozostaje nieprzejrzysta dla użytkowników końcowych. Są zmuszeni do wyjścia z pozycji pełnego zaufania do własnego dostawcy lub dostawców chmury. Jednocześnie czasami pojawiają się złożone stosunki umowne i zasady odpowiedzialności stron, ponieważ w ogólnym przypadku usługodawcy mogą działać na arenie międzynarodowej, z zastrzeżeniem faktycznego ustawodawstwa różnych krajów, a z kolei wymagać częściowych usług od kolejnych dostawców międzynarodowych. Wraz z tworzeniem, wdrażaniem i utrzymaniem usług w chmurze duża liczba zadań związanych z bezpieczeństwem informacji pozostaje otwarta. Czynniki te ograniczają rozwój tej technologii informacyjnej. Stworzenie przyszłej międzynarodowej organizacji non-profit (Nonprofit-Cloud Security Alliance) w celu zebrania najlepszych praktyk „Best Practices” dla zapewnienia wydajności, legalności

i bezpieczeństwa informacji chmury odegrałyby niezwykle ważną rolę dla Cloud Computing i mogłyby przyczynić się do ich dalszego rozwoju.

5. Najnowsze usługi w systemach rozproszonych

Nowoczesne mobilne platformy dla użytkowników oferują wiele atrakcyjnych i aktualnych aplikacji mobilnych (Apps) i usług, oprócz standardowej transmisji głosu, SMS-ów, MMS-ów i e-maili. Do takich usług należą np. popularny Tłumacz Google, Mapy Google, usługi w chmurze Amazon AWS/EC2, usługa VoIP Skype, sieci społecznościowe VKontakte, Odnoklassniki, Facebook, Twitter, Xing, Google Video/YouTube, które zapewniają niestandardowe usługi hostingu wideo itp. [3, 5, 6, 14, 15, 20].

Dla przykładu, usługa typu Skype jest jednym z liderów wśród wielu innych usług VoIP. Usługa jest generalnie niekomercyjna i obsługuje następujące wbudowane usługi: VoIP, wielostronne telewideo konferencje, wiadomości błyskawiczne czat/wiadomości błyskawiczne, przesyłanie obrazu z ekranu i pliki zrzutów ekranu/plików.

Główne cechy usługi Skype są następujące:

1. Schemat hybrydowy budowy węzłów Peer-to-Peer (P2P) / Client-Server (C-S).
2. Zastrzeżony protokół komunikacyjny Skype (porównanie z SIP/RTP).
3. Dominujące wykorzystanie protokołu sieciowego IPv4, dzięki czemu Skype jest transparentny dla protokołu NAT (prywatni użytkownicy w intranecie). Porty TCP 80 i 443 mogą być również używane do nawiązywania połączeń (porównanie z WWW).
4. Współpraca z telefonią klasyczną: istnieją bramki do sieci telefonicznych z dostępem tradycyjnym typu PSTN / ISDN / GSM, obsługiwane przez telefony mobilne.
5. Kompresja danych przy użyciu następujących kodeków audio i wideo SVOPC.
6. Własny kodek audio SILK (od 2009).
7. Integracja innych systemów VoIP/SIP, takich jak Asterisk.
8. Potwierdzone gwarancje bezpieczeństwa informacji: stosowane jest symetryczne szyfrowanie AES kluczami 256-bitowymi, asymetryczne szyfrowanie RSA kluczami 2048-bitowymi, dystrybucja kluczy PKI zgodnie ze specyfikacją X.509.

Aplikacje dla użytkowników (Desktop i mobile Client-Version) dla usługi Skype są dostępne w większości istniejących (mobilnych) systemów operacyjnych: MS Windows 7.x / 8, Mac OS X, Linux, Apple iOS, OHA Android, Symbian, Maemo, MeeGo, Pocket PC, RIM BlackBerry.

Podstawa programowa i sprzętowa do rozwoju usługi Skype dla wielu z tych systemów operacyjnych składa się z następujących składników:

- Skype API, Internet Direct (Indy) Messages & Call Mgmt, Open Source Socket-Library;

- Win GUI - oparty na Pascal / Delphi;
- Linux GUI - oparty na C++;
- Mac OS GUI — oparty na Objective-C / Cocoa.

Źródłowa sieć węzłów VoIP dla Skype-Net powstała w latach 2003–2010 w oparciu o model komunikacji P2P (a także wiele innych, często nielegalnych, wymian zasobów MM) z wykorzystaniem hierarchii węzłów (równorzędnych węzłów i superwęzłów), a także dobrowolne (często oparte na niewiedzy i nieświadomości użytkowników) wsparcie funkcjonalności sieci przez węzły klienckie na prywatnych maszynach.

W tym przypadku wiodące węzły Skype, tzw. Superwęzły były często przeciążane, co powodowało „awarię” systemu. To nie mogło pomóc, ale wywołało rosnącą krytykę ze strony użytkowników. Przejście Skype'a do Microsoftu charakteryzowało się ulepszoną strukturą i potwierdzonymi gwarancjami bezpieczeństwa informacji, kompleksowym testowaniem Skype-Netu z węzłów klienckich na prywatnych maszynach i na własne Linux-Server (od P2P p do CS), a także pewną centralizacją w oparciu o model komunikacji CS. Kłustry serwerów zlokalizowane są w bezpiecznych centrach danych (Data Center) oraz specjalnych „chmurach” Cloud (PaaS/IaaS).

Wady systemu tkwią w bardzo zastrzeżonym protokole Skype, który nie został jeszcze opublikowany w otwartej formie, a obecnie jest krytykowany przez twórców oprogramowania i użytkowników. Innym ważnym aspektem Skype'a jest nadal stosowanie schematu węzłów hybrydowych (C-S + P2P), który nieuchronnie wiąże się z mocą obliczeniową komputera użytkownika (smartfona) do przekazywania połączeń i wiadomości od innych użytkowników. Jednak nienastawiona na zysk i wygodna usługa Skype zyskała uznanie niemal na całym świecie [9].

Z kolei znana wyszukiwarka Search Engine to usługa sieciowa, która umożliwia wyszukiwanie informacji na stronach, w grupach dyskusyjnych (forach i czatach, czatach IRC-Internet Related Chat), a także na serwerach FTP. Głównymi kryteriami jakości wyszukiwarki są jej trafność, kompletność bazy danych oraz uwzględnienie morfologicznych podstaw języka wyszukiwania. Indeksowanie witryn w wyszukiwarkach jest wykonywane przez wyszukiwarkę „robot”, tzw. „Spider” lub Web Crawler. Wyszukiwarka (robot) to rdzeń wyszukiwarek internetowych, który tworzy powłokę przejściową dla popularnych witryn w celu przyspieszenia wyszukiwania ich zawartości.

Najbardziej znane wyszukiwarki, takie jak Google, wykonują następujące uogólnione funkcje:

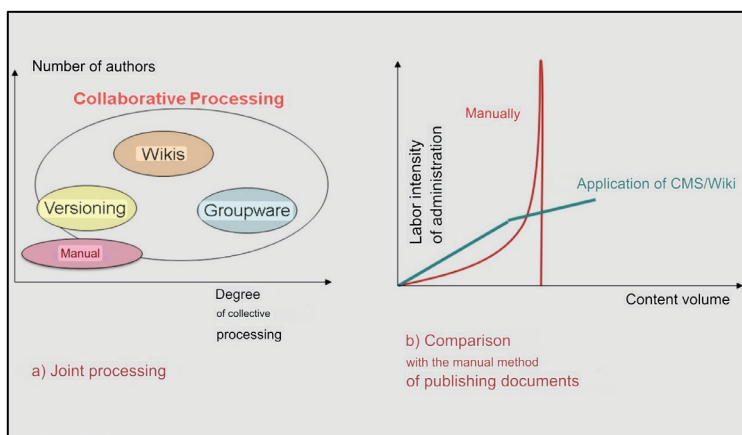
1. Definiowanie słów kluczowych wyszukiwania.
2. Ocena tzw. meta-tagów (Meta-Tags), które służą do semantycznego opisu dokumentów internetowych.
3. Usunięcie zbędnych (zbędnych) słów i dokumentów (przyimki, podobne strony).
4. Ważenie wyników według kryteriów trafności, kompletności oraz uwzględnienie morfologicznych podstaw języka.

5. Konstrukcja i kompresja w formacie archiwalnym ważonego indeksu ogólnego.
6. Zachowanie ważonego indeksu ogólnego z replikacjami dla równoważenia obciążenia.
7. Bezpośrednia obsługa zapytań wyszukiwania poprzez Indeks (Hash-Tables).

Wśród najczęściej używanych w ostatnich latach są międzynarodowe wyszukiwarki, które w szczególności wyszukują w wielu językach świata, w tym ukraińskim i rosyjskim:

1. Google (80% rynku i do 40×10^9 zapytań miesięcznie, czyli prawie 10^9 dotychczasowych użytkowników serwisów internetowych na całym świecie, wszyscy korzystają z niego przynajmniej raz w miesiącu!)
2. Wyszukiwarka Baidu.
3. Wyszukiwarka Yahoo.
4. Wyszukiwarka MS Bing.

Jednym z najbardziej znanych przykładów jest Wikipedia, światowa encyklopedia online. Tworzenie i redagowanie publikowanych materiałów odbywa się na zasadzie non-profit, czyli wyłącznie z entuzjazmu społeczności internetowej. Jedną z najważniejszych cech tego systemu jest możliwość spójnego przetwarzania śledzonych zmian w dokumentach, ich wersjach (VS, Versioning Systems) oraz zarządzania treścią (Web Content Management). System łączy w sobie najlepsze cechy tego typu (rys. 10) i ma szereg zalet w zakresie liczby autorów (liczby możliwych wersji) oraz łatwości udostępniania. Obliczenia wykazały, że wysiłek administratora w ręcznym publikowaniu treści w Classic Web rośnie katastrofalnie (niemal wykładniczo) w porównaniu z systemami CMS/Wiki, które charakteryzują się umiarkowanym, quasi-liniowym wzrostem w zależności od ilości dostarczanej treści [8, 9, 16].



Rys. 10. Porównanie Wiki z systemami Groupware i Versioning oraz ręcznym sposobem publikowania dokumentów [8]

W razie potrzeby Wikipedię można zresetować. Przyczyny takiego zwrotu mogą być następujące:

1. Wandalizm lub celowe zniszczenie opublikowanych dokumentów internetowych. W takim przypadku adresy IP „zauważone i winne” wandalizmu są blokowane.
2. „Wojny redakcyjne” (edycja wojen).

Obecnie fundamentalne znaczenie ma opracowanie efektywnego sposobu szyfrowania i uwierzytelniania pakietów danych i pakietów głosowych VoIP (protokoły SNOW3G, IPsec, SSL, HTTPS, PGP), uwierzytelniania użytkowników (protokoły VPN, PKI, Kerberos). Ale ważnymi wymaganiami są nowe wymagania dotyczące anonimowości komunikacji internetowej (nadal pojedyncze kodery MIX, takie jak Onion, TOR, ANON, JAP), połączone użycie metod kryptograficznych i steganograficznych (sam fakt szyfrowania jest maskowany), oraz biometryczne metody identyfikacji użytkowników i kontroli dostępu do zasobów sieciowych opisane w [8, 9, 16].

Jednym z ważnych obecnie aspektów prowadzonych prac w zakresie modyfikacji architektur rozproszonych systemów telekomunikacyjnych jest naukowo-techniczny problem utrzymania i tworzenia gwarancji bezpieczeństwa informacji przedsiębiorstw i instytucji w ich wielopłaszczyznowej działalności przy zaangażowaniu zarządzania dokumentami elektronicznymi, systemami rozproszonymi (mobilnymi), systemami płatności elektronicznych oraz dużymi sieciami zintegrowanymi. Nacisk kładzie się na potrzebę połączonej ochrony danych w systemach rozproszonych [8, 9, 16].

Przykładem odpowiedzi na podstawowe pytania dotyczące bezpieczeństwa informacji w systemach rozproszonych jest znany na całym świecie program PGP do hybrydowego szyfrowania poczty elektronicznej (głównie AES + DES + DH). Nazwa nowoczesnego otwartego standardu PGP oznacza Pretty Good Privacy. W latach 90. XX w. było wdrożonych wiele znanych kryptosystemów jako oprogramowanie open source, które zapewniły ogółowi społeczeństwa bezpłatny dostęp do niego przez Internet [8, 9, 16]. W ten sposób rozpoczęła się era „kryptografii cywilnej”.

Co istotne, w otwartej implementacji oprogramowania standardu PGP tak ważne kryptoalgorytmy jak DES, RSA, Elgamal, AES (wtedy znany również jako protoalgorytm Rijmena) były skutecznie programowane przy użyciu kluczy o długości do 128 bitów (w celu pokonania wiecznego ograniczenia długości klucza), 56 bitów, schemat DH, schemat mieszania MD5 itp.

Oprogramowanie PGP było stale ulepszone, a jego rozwój przeszedł przez następujące etapy:

1. Pierwsza publikacja w Internecie systemu PGP jako oprogramowania wolnego dostępu „open source” w 1991 r.
2. Triumfalny „marsz” programu na całym świecie, kiedy tysiące zwolenników zaangażowało się w „nicoficjalną kryptografię”.
3. F. Zimmermann założył własną firmę PGP Corp.

4. Przedłużający się proces „rządu USA przeciwko F. Zimmermannowi” w latach 1993-1997, w którym oskarżono go o naruszenie szeregu amerykańskich praw federalnych, w szczególności o „eksportowanie środków kryptograficznych”.
5. Publikacja przez autora kodów i algorytmów standardu PGP we wpływowym międzynarodowym wydawnictwie MIT Press jako nowa monografia teoretyczna, która położyła kres przedłużającemu się sporowi sądowemu.
6. Stworzenie i przyjęcie w 1997 r. standardu IETF OpenPGP.

Standard PGP jest bardzo szeroko stosowany. Umożliwia szyfrowanie transakcji w bazie danych, wiadomości e-mail i zawartości dysku twardego, tworząc warunki do ochrony sieci, ułatwia szyfrowanie połączeń VoIP (tzw. „Krytofon”) oraz szyfrowanie wideo w czasie rzeczywistym. Znanymi przykładami współpracy z PGP Corporation i integracji produktów PGP są następujące aplikacje:

- Zintegrowane aplikacje kryptograficzne firmy McAfee (połączone z Intelem od 2010 r.);
- Zintegrowane aplikacje kryptograficzne Semantec (2010 r.).

Jak zawsze, standard PGP sponsoruje darmowe oprogramowanie kryptograficzne (Freeware z www.gnupg.org, www.pgpi.org):

- Wdrożenie PGP Gpg4win: <http://www.gpg4win.de>;
- Produkty PGP dla Semantec: <http://www.symantec.com>;
- Produkty PGP dla PGP Corporation obejmujące:
 - PGP Desktop (do użytku z PGP Desktop EMail, PGP Whole Disk Encryption i PGP NetShare);
 - Zfone, oprogramowanie do szyfrowania telefonii VoIP: <http://zfoneproject.com> itp.

Przykładem zastosowania technologii PGP jest smartfon Blackphone od Silent Circle (P. Zimmermann) i Geeksphone (Hiszpania), który korzysta z własnego dialektu Androida o nazwie PrivateOS i zapewnia wielojęzyczną obsługę użytkowników. Urządzenie zapewnia ochronę danych użytkownika, anonimowość działań przy użyciu pary w dostępie mobilnym dla takich usług jak Web, Email, Instant Messaging, VoIP.

Jednak pomimo tak dynamicznego rozwoju technologii informatycznej, nadal istnieje wiele problemów wymagających rozwiązania w zakresie niezawodności i wydajności oraz bezpieczeństwa informacji. Dla przykładu, nadal żadna z przeglądarek internetowych nie jest całkowicie bezpieczna i prywatna. W zależności od potrzeb i wyszukiwanych danych niektóre z przeglądarek są nieco lepsze od pozostałych. I tak jedną z najlepszych w zakresie przeglądarek jest obecnie Firefox, zawierająca większość kompatybilnych rozszerzeń i odznaczających się łatwością obsługi. Była ona ogłoszona jako najbezpieczniejsza przeglądarka w latach 2019 i 2020. Do tej grupy należą także przeglądarki Epic, Tor Browser, Waterfox i Vivaldi. Mniej zalecane są przeglądarki FreeNet, Puffin, Safari, Chromium, Brave, Chrome, Opera i Microsoft Edge [21].

Ale nawet jeśli korzysta się z bezpiecznych przeglądarek, zawsze trzeba pamiętać o środkach bezpieczeństwa obejmujących m.in. niezapisywanie haseł za pośrednictwem przeglądarki, wyłączanie obsługi plików cookies, unikanie tzw. złych nawyków internetowych (m.in. odkładanie w czasie aktualizacji wersji przeglądarki, klikanie bez zastanowienia w pokazywanie zapisy i ścieżki, używanie łatwych do zapamiętania haseł, niekorzystanie z przewodnika po złych nawykach internetowych). Warto również wykorzystywać oprogramowanie blokujące reklamy i ograniczające zagrożenie związane z wyskakującymi okienkami zainfekowanymi wirusami komputerowymi [11, 12, 21÷25].

6. Podsumowanie

W artykule rozważono innowacyjne architektury systemów sieciowych SOA, zorientowane na usługi i dalsze rozszerzenia usług sieciowych (WS-*, RESTful WS). Główne kierunki badań nad tworzeniem nowych SOA obejmują m.in.: zmniejszenie złożoności systemów i usług, zwiększenie produktywności i bezpieczeństwa informacji podczas korzystania z usług WWW, koordynację usług internetowych, zarządzanie usługami sieciowymi oraz standaryzację w SOA.

Termin „architektura zorientowana na usługi” (SOA) stał się ostatnio mottem producentów systemów oprogramowania i naukowców. Ale co tak naprawdę kryje się za tym nowym, a raczej „starym, dobrze zapomnianym” terminem? Oznacza on, że najbardziej powszechną i wydajną implementacją specyficznej architektury SOA do budowania aplikacji rozproszonych są usługi sieciowe. Nowoczesne usługi sieciowe służą jako podstawowa technologia tworzenia aplikacji w architekturze SOA.

Rozwiązania architektoniczne nowoczesnych systemów rozproszonych i aplikacji sieciowych przeszły w ostatnich latach istotne zmiany. Nowoczesne przemiany architektoniczne przyczyniają się do rozwoju nowych, szybkich (mobilnych) usług dla użytkowników: wyszukiwarek, systemów zarządzania treścią, niestandardowych usług hostingu wideo, usług „w chmurze”, VoIP, sieci społecznościowych. Jednym z istotnych problemów w tych systemach jest podniesienie poziomu bezpieczeństwa informacji.

Obecnie możliwa jest wirtualizacja poszczególnych usług, aplikacji, zasobów systemu operacyjnego i całego systemu operacyjnego, infrastruktury obliczeniowej komputerów osobistych, systemów wieloprocessorowych i klastrów komputerowych. Niedrogie, nowoczesne serwery wirtualne odpowiadają za hosting stron WWW, uwierzytelnianie, integrację aplikacji (EAI, Enterprise Application Integration), emulację assemblerów architektur rozproszonych. Czasami zarządzane serwery wirtualne dużego dostawcy usług całkowicie zastępują infrastrukturę obliczeniową (infrastrukturę IT) średnich przedsiębiorstw, zapewniając znaczne oszczędności w przypadku tych ostatnich.

Przedstawione w artykule nowe trendy w tworzeniu innowacyjnych architektur aplikacji sieciowych w chmurze obliczeniowej obejmują usługi (IaaS, PaaS, SaaS), które najlepiej sprawdzają się przy realizacji złożonych projektów integracji aplikacji komercyjnych nowoczesnego przedsiębiorstwa pod hasłem „Real-Time-Enterprise” i „On-Demand Business” oraz zwiększają poziom bezpieczeństwa informacji.

7. Bibliografia

1. Ju.Ja. Bobało, Ju.G. Danik, M.M. Klimash, L.O. Komarowa, O.O. Liukjanow, R.T. Smuk, W.S. Stognij, B.M. Strykaliuk, Sistiemy lokalnogo ta globalnogo dinamiczieskogo monitoringu parametriw nawkolisznioego seredowiszczia realnogo cziasu, Monografija, Lwiw, Wydawnictwo Ukrainskoj Akademii, s. 452, 2013.
2. P.Ju. Deszczinskij, B.M. Strykaliuk, M.W. Kajdan, Dekompozycyjne predstavlenija ta modeljuwannja GRID-wuzla na osnovi mierz petri dlja piringowih system z wikopistannjam diakoptiki, Zbirnik tez V Miznarodnogo naukowo-tehnicznogo simpoziumu „Nowi technologii w telekomunikacijah”, DUIKT-Karpati, Kiiw, s. 160-163, 2012.
3. M.M. Klymash, B.M. Strykaliuk, M.W. Kajdan, Teoreticzeskie osnovy telekommunikacjonnyh sietiej, Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, c. 644, 2014.
4. W. Paterek, A. Szelmanowski, G. Kowalczyk, A. Pazur, E. Franczuk, Modelling of partial capability states and estimation of the level of operational readiness for integrated avionics systems, Archives of Transport, Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, s. 27÷39, 2020.
5. J. Shute, M. Oancea, S. Ellner, B. Handy, F1 the Fault-Tolerant Distributed RDBMS Supporting Google's Ad Business, Research, Sigmod: Google, 2012.
6. B.M. Strykaliuk, O.M. Szpur, M.O. Seljuczenko, T.W. Andruhiw, Algoritmi poszuku szljahu za kriteriem minimalnoj zatrimki dlja centriw obrobki danih, Wisnik Nacionalnogo uniwersitetu „Lwiwska politehnika”, No 796, Radioelektronika ta telekomunikacji, Lwiw, s. 176÷181, 2014.
7. M. Zieja, A. Szelmanowski, A. Pazur, G. Kowalczyk, Computer Life-Cycle Management System for Avionics Software as a Tool for Supporting the Sustainable Development of Air Transport, MDPI, Sustainability, Volume 13 (3) 2021, 1547, pp. 1÷20, 2021.
8. P. Dadam, Verteilte Datenbanken und Client / Server-Systeme, Grundlagen, Konzepte und Realisierungsformen, Springer, 1996.
9. M.T. Özsu, P. Valduriez, Principles of Distributed Database Systems, Springer, p. 860, 2014.

10. B.M. Strykaliuk, O.M. Szpur, M.O. Seljuczienko, Wznacziennja dostupnosti programnih kompleksiw u sistemah z serwisno-orientowanoju arhitekturoju, Zbirnik naukowych prac Donieckiego nacionalnego tehnicznego uniwersitetu, serija „Obczisljuwalna tehnika ta awtomatizacija”, No 2 (27), Donieck, DonNTU, s. 109÷120, 2014.
11. Top 500 computers: <http://www.top500.org/system/177999>, Online, 2014.
12. J. Benze, Smart Grid – Normung und Standardisierung. T-Systems Multimedia Solutions, Dresden, p. 48, 2012.
13. P. Mell, T. Grace, The NIST Definition of Cloud Computing, NIST Special Publication 800-145, 2011.
14. M. Poikselka, G. Mayer, H. Khartabill, A. Niemi, IP Multimedia Concepts and Services, 2006.
15. M. Klymash, M. Beshey, B. Strykhaljuk, M. Seliuchenko, System for Increasing Quality of Servise of Multimedia Data in Convergent Networks, Problems of Infocommunications, Science and Technology, IEEE First International Conference, Kharkiv, 14÷17.10.2014, pp. 63÷66, 2014.
16. P. Mertens, F. Bodendorf, W. König, Grundzüge der Wirtschaftsinformatik, Springer Gabler, 2012.
17. D. Padua, Encyclopedia of Parallel Computing, Vol. 4, pp. 1540÷1543, 2012.
18. O.I. Sirotinskij, I.M. Kuz, B.M. Strykaliuk, Metodi cziasotnogo planuwannja dlja pobudowi kognitiwnih mierz mobilnogo zwiazku, Materiali vseukrainskoi naukowo-practicznoj konferencji „Sucziasni osnovi i problemi telekomunikacji i pidgotowka fahiwciw w galuzi telekomunikacji”, Lwiv, s. 149÷152, 2013.
19. G. Camarillo, M.A. Garcia-Martin, The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS), Merging the Internet and the Cellular Worlds, 2006.
20. B. Strykhaljuk, M. Kaidan, M. Klymash, N. Kryvinska, Tensor models for the efficient multipath routing in large-scale communication networks, The XII International Conference on Information Integration and Web Based Applications & Services iiWAS2010, 08÷10.11.2010, Paris, France: pp. 818÷821, 2010.
21. Najbezpieczniejsze przeglądarki w 2023, <http://nordvpn.com/bezpieczne-przegladarki-2023>, Online, 2023.
22. A. Halavais, Wyszukiwarki internetowe a społeczeństwo, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2022.
23. C. Olszak, E. Ziemia, Strategie i modele gospodarki elektronicznej, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2023.
24. P. Siuda, J. Gomolizsek, Internet - Wybrane przykłady zastosowań i doświadczeń, Gdańsk: Wydawnictwo Naukowe Katedra, 2022.
25. A. Dejnaka, Marketing mobilny, Warszawa: Wydawnictwo Difin, 2023.