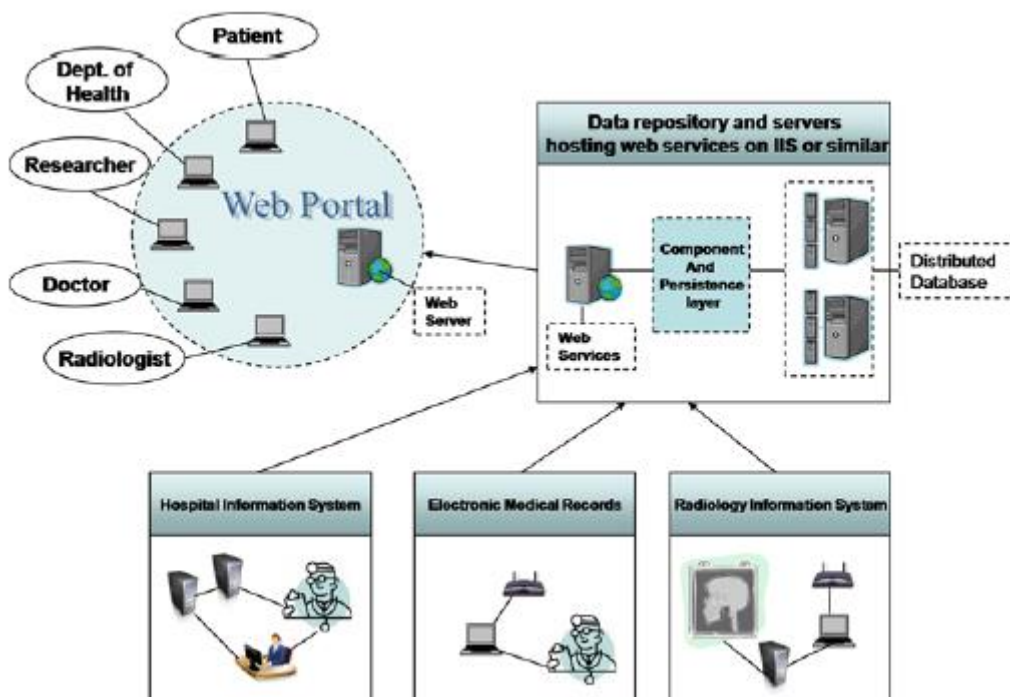


System informacji medycznej zorientowany na pacjenta oparty na chmurze obliczeniowej

Tu omówiono pojawiającą się koncepcję opartego na przetwarzaniu w chmurze szkieletu systemu informacji medycznej zorientowanego na pacjenta, który pozwoli różnym autoryzowanym użytkownikom na bezpieczny dostęp do dokumentacji pacjenta z różnych organizacji opieki (CDO), takich jak szpitale, ośrodki pomocy doraźnej, lekarze, laboratoria, ośrodki obrazowania między innymi z dowolnej lokalizacji. Taki system musi bezproblemowo integrować wszystkie rejestry pacjentów, w tym obrazy, takie jak CT-SCANS i MRI, do których można łatwo uzyskać dostęp z dowolnego miejsca i przeglądać przez dowolnego upoważnionego użytkownika. W takim scenariuszu przechowywanie i przesyłanie dokumentacji medycznej będzie odbywać się w całkowicie bezpiecznym i bezpiecznym środowisku o bardzo wysokim standardzie integralności danych, chroniąc prywatność pacjenta i przestrzegając wszystkich przepisów ustawy o przenośności i odpowiedzialności w ubezpieczeniach zdrowotnych (HIPAA). Udostępnianie dokumentacji medycznej, w szczególności baz danych obrazowania radiologicznego, z CDO może drastycznie zmniejszyć liczbę zwolnień medycznych, narażenia na promieniowanie i koszty ponoszone przez pacjentów. Ponadto taki system może zapewnić pacjentom automatyczne prawo własności do ich bezpiecznych osobistych informacji medycznych. Niezbędne jest wykorzystanie chmury obliczeniowej w tej aplikacji, ponieważ umożliwiłoby to CDO sprostanie wyzwaniu, jakim jest udostępnianie danych medycznych, które są nadmiernie złożone i bardzo kosztowne w przypadku tradycyjnych technologii. Oprócz zapewniania opieki wspólnotowej, proponowany system może również służyć jako cenne narzędzie w badaniach klinicznych, podejmowaniu decyzji medycznych, epidemiologii, medycynie opartej na dowodach oraz w formułowaniu polityki zdrowia publicznego. Rysunek przedstawia uproszczony ogólny przegląd proponowanego systemu. Definiuje to następujące cele szczegółowe poniższej części:



1. Omówienie podejścia, które pozwoliłoby nam na przejście od skoncentrowanego na instytucji szpitalnego systemu informacyjnego do regionalnego/globalnego systemu informacji medycznej

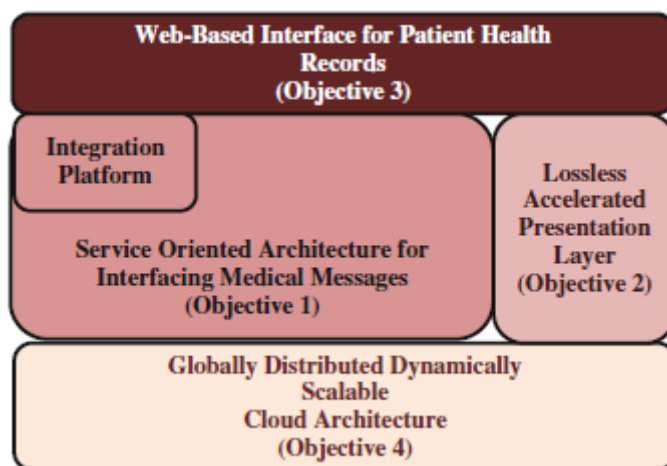
poprzez opracowanie opartej na standardach architektury zorientowanej na usługi (SOA) do łączenia heterogenicznych systemów informacji medycznej, tak aby umożliwić rzeczywiste -czasowy dostęp do całej dokumentacji medycznej z jednego systemu informacji medycznej do drugiego.

2. Omówić krótką architekturę i plan wdrożenia, aby opracować „bezsstratną przyspieszoną warstwę prezentacji”, która umożliwi przeglądanie wszystkich obrazów radiologicznych (obiekty obrazowania cyfrowego i komunikacji w medycynie (DICOM)) znajdujących się w rozproszonej bazie danych opartej na chmurze. Ten komponent umożliwiłby ponadto radiologowi opisywanie obrazu za pomocą przeglądarki internetowej i przechowywanie go z powrotem w rozproszonej bazie danych opartej na chmurze. Taka warstwa zapewniłaby natychmiastowy, bezstratny dostęp do wszystkich obiektów DICOM, eliminując tym samym czas pobierania. Obecne rozwiązania nie zapewniają bezstratnego widoku obiektów DICOM.

3. Omówić architekturę interfejsu internetowego, który zapewni całościowy wgląd w całą dokumentację medyczną każdemu pacjentowi. Proponowane środowisko będzie skalowalne i osadzone w chmurze. Taki system zapewniłby wszystkim pacjentom automatyczne prawo własności do ich bezpiecznej osobistej dokumentacji medycznej. Ten interfejs można rozszerzyć, aby zapewnić anonimowy widok całej dokumentacji medycznej do celów badawczych dla społeczności naukowej i organizacji, takich jak departament zdrowia.

4. Omówić strategię i architekturę projektowania architektury rozproszonej, która zapewniłaby spójność/integralność danych. Proponowana architektura zapewniłaby autonomiczną skalowalność umożliwiającą dynamiczny rozwój chmury w oparciu o system dokumentacji medycznej.

Rysunek przedstawia warstwowy widok proponowanej architektury systemu i jej związek z określonymi celami projektu.



Potencjalny wpływ proponowanego systemu informatyki medycznej

Projekt ten koncentruje się na opracowaniu architektury integrującej heterogeniczne medyczne systemy informacyjne, takie jak (m.in. Szpitalny System Informacyjny, Radiologiczny System Informacyjny i Elektroniczna Dokumentacja Medyczna). Systemy te w swojej obecnej formie nie przekazują informacji z jednego systemu do drugiego poza siecią. Proponowane podejście do globalnego systemu informatyki medycznej umożliwiłoby całkowitą przenośność całej dokumentacji medycznej. W obecnym systemie przesyłanie dokumentacji medycznej z jednego CDO do drugiego wiąże się ze znacznym opóźnieniem, co prowadzi do powtarzalnych badań medycznych i wzrostu kosztów opieki zdrowotnej dla pacjenta, firm ubezpieczeniowych i rządu federalnego. Opracowanie

architektury zorientowanej na usługi oparte na chmurze, która zapewni wszystkim pacjentom interaktywny widok całej ich dokumentacji medycznej. Taki system zapewniłby wszystkim pacjentom prawo własności do ich dokumentacji medycznej, eliminując tym samym konieczność powtarzania procedur. Proponowana architektura systemu drastycznie zmniejsza wydatki Medicare na usługi obrazowania. Dzielenie się dokumentacją medyczną, w szczególności bazami danych obrazowania radiologicznego, drastycznie ograniczy zwolnienia lekarskie i narażenie na promieniowanie. Całkowite krajowe wydatki na opiekę zdrowotną przekraczają 2,6 biliona dolarów, czyli około 17% naszego produktu krajowego brutto. Zaproponowana architektura znacząco przyczyniłaby się do zmniejszenia krajowych wydatków na opiekę zdrowotną poprzez wyeliminowanie powtarzania procedur z powodu niedostępności dokumentacji medycznej. W samym 2006 r. różne usługi obrazowania medycznego stanowiły 58% wydatków gabinetu lekarskiego Medicare. Aby kontrolować te wydatki na obrazowanie medyczne, w 2005 r. utworzono „Ustawę o redukcji deficytu” (DRA) w celu zmniejszenia wydatków na obrazowanie medyczne o 2,8 miliarda dolarów do 2011 r. Projekt ten pozwoli różnym CDO na udostępnianie dokumentacji medycznej i obrazowania w ten sposób, eliminując konieczność powtarzania procedur w określonym czasie, służąc tym samym celom ustawy o redukcji deficytu. Należy pamiętać, że przy obecnej technologii obrazowanie radiologiczne może być udostępniane w ramach CDO, ale nie pomiędzy różnymi CDO. Opracowanie bezstratnej przyspieszonej warstwy prezentacji umożliwiłoby bezstratny dostęp do wszystkich obrazów radiologicznych znajdujących się w rozproszonej bazie danych opartej na chmurze za pośrednictwem internetowej przeglądarki DICOM. Warstwa ta zapewniłaby bezproblemowy dostęp do wszystkich obrazowań radiologicznych z dowolnego miejsca w czasie rzeczywistym, zwiększając w ten sposób wydajność ogólnych systemów dokumentacji medycznej. Centralizacja dokumentacji medycznej może również stworzyć nowe i bardziej inteligentne perspektywy w medycynie. Taka baza danych z informacjami medycznymi będzie niezwykle cenna dla zaawansowanej eksploracji danych w badaniach klinicznych. Będzie to miało potencjał do analitycznej oceny i wprowadzenia innowacji w zakresie nowych informacji o chorobach i metod testowych, które poprawią świadczenie opieki zdrowotnej i poprowadzą do poszukiwania nowych metod leczenia zapobiegawczego. Ponadto proponowany projekt spełnia również kryteria krajowej agendy informatyki medycznej.

Tło i pokrewne prace

Integracja systemowa zawsze była najbardziej krytyczną kwestią dla rozwoju systemów informatycznych w branży medycznej. Medyczne Systemy Informacyjne (MIS) mają niejednorodny charakter i dlatego stanowią poważne wyzwanie pod względem ich interoperacyjności. Wiele aplikacji medycznych jest odizolowanych i nie komunikuje się ze sobą. Dlatego integracja istniejących systemów informacyjnych stanowi jeden z najpilniejszych priorytetów systemów informacyjnych opieki zdrowotnej. Badanie RAND z 2005 r. szacuje, że Stany Zjednoczone mogą zaoszczędzić 81 miliardów dolarów rocznie i przyczynić się do poprawy jakości opieki poprzez przyjęcie wysokiej jakości zintegrowanych systemów MIS. Pod koniec 2003 roku podpisano Ustawę Medicare Prescription Drug Improvement and Modernization Act (MMA), która wymagała powołania Komisji ds. Interoperacyjności Systemowej w celu dostarczenia mapy drogowej dla standardów interoperacyjności, aby większość obywateli USA miała interoperacyjną elektronikę kartoteki zdrowia w ciągu dziesięciu lat. Podjęto wiele wysiłków na rzecz integracji heterogenicznych systemów w szpitalach (Haux, 2006). Branża opieki zdrowotnej opracowała kilka standardów, dzięki którym odpowiednie dane mogą być przesyłane między różnymi systemami informacyjnymi (Hasselbring, 2000). Normy te to między innymi Health Language Seven (HL7), Electronic Data Interchange (EDI) X12 Version 4010, Health Insurance Portability and Accountability (HIPAA), Digital Image Communication in Medicine (DICOM), Integrating Healthcare Enterprise (IHE). Wszystkie te standardy są obecnie szeroko stosowane w branży medycznej. Według Open Source Clinical Research Group HL7 jest

najczęściej używanym standardem przesyłania wiadomości w zdrowiu nie tylko w Ameryce Północnej, ale także na całym świecie. Co więcej, badanie przeprowadzone w 1998 r. wykazało, że standard HL7 jest używany w ponad 95 procentach szpitali z ponad 400 łózkami. Ogólnie rzecz biorąc, ponad 80 procent respondentów w tym badaniu zgłosiło używanie HL7 w swoich działach systemów informatycznych, a kolejne 13,5% planuje to zrobić. Zaproponowane rozwiązanie będzie w stanie zintegrować wszystkie medyczne systemy informatyczne zgodne ze standardem HL7. Znormalizowane interfejsy są dostępne dla wielu usług „Object Oriented Services”, takich jak CORBAmed (Common Object Request Broker Architecture in Medicine), który realizuje podział wspólnych funkcji, takich jak kontrola dostępu między różnymi systemami. Inne, takie jak DICOM, HL7 (Health Level Seven) i inicjatywa IHE (Integrating the Healthcare Enterprise) (Carr & Moore, 2003), określają wytyczne lub standardy wymiany komunikatów między różnymi systemami, które sprawiają, że różne systemy działają harmonijnie i wdrożyć integrację przepływu pracy. Broker, wbudowane urządzenie, ułatwiło komunikację między HIS, RIS i Picture Archiving and Communication System (PACS) poprzez integrację HL7 z DICOM. Broker zaakceptował komunikaty HL7 z RIS, przetłumaczył i mapował dane w celu wygenerowania komunikatów DICOM do transmisji do PACS. Jednak system Broker stanowił wyzwanie, ponieważ umożliwiał przepływ informacji RIS tylko w jednym kierunku, co powodowało duplikację baz danych. Inicjatywa IHE, ustanowiona wspólnie przez Towarzystwo Systemów Zarządzania Informacją Szpitala (HIMSS) i Towarzystwo Radiologiczne Ameryki Północnej (RSNA), zajęła się później tą kwestią, umożliwiając integrację informacji klinicznych w ramach sieci opieki zdrowotnej. Później skonsolidowane rozwiązanie z integracją RIS/PACS/HIS zostało zaoferowane przez firmy medyczne. Był to ważny krok w kierunku udanej integracji danych pacjentów w ramach sieci (Boochever, 2004). Podjęto pewne wysiłki w celu udostępnienia informacji o pacjentach ograniczonej grupie osób w celu ułatwienia pracy zespołowej i skutecznego zarządzania opieką zdrowotną. Narzędzie Sieci Informatyki Medycznej (MTNL). Oprogramowanie zawierało inteligentny silnik, który był używany tylko do leczenia schizofrenii, przewlekłej choroby mózgu. Oprogramowanie pozwoliło zebrać przydatne informacje o pacjencie i ułatwić komunikację między wszystkimi członkami zespołu oprócz innych dostarczając innych przydatnych informacji związanych ze schizofrenią. System ten był bardzo pomocny w szybkim podejmowaniu znaczących decyzji, a zatem miał pozytywny wpływ na opiekę zdrowotną pacjentów. Podobnie, proponowane rozwiązanie zapewniłoby wszystkie informacje dotyczące pacjenta w scentralizowanej lokalizacji. Agregacja takich informacji będzie miała głęboki wpływ na ogólną opiekę zdrowotną pacjenta i zmniejszy prawdopodobieństwo podjęcia błędnych decyzji, takich jak przepisywanie sprzecznych recept. W 2006 r. Al-Busaidi i inni badali wprowadzenie spersonalizowanych informacji o pacjencie, które zostały pobrane z jednej bazy danych pacjentów. Badanie to było bardziej skoncentrowane na eksploracji sieci i inteligentnym wyszukiwaniu informacji z sieci, które mogą zapewnić uproszczony i znaczący opis problemu, którego może doświadczać pacjent. Projekt był bardziej skoncentrowany na analizie informacji w oparciu o pojęciową integrację ontologii. Jednak w tym projekcie naszym celem jest integracja kilku systemów kartoteki pacjentów (System Informacji Radiologicznej (RIS), Elektroniczna Dokumentacja Medyczna (EMR), System Informacji Szpitalnej (HIS), Dokumentacja Zdrowia Pacjenta (PHR) i System Informacji Klinicznej (CIS) między innymi) i zapewnić interfejs oparty na chmurze obliczeniowej dla wszystkich pacjentów. Ostatnio platformy IT o architekturze zorientowanej na usługi pojawiają się jako rozwiązania dla przedsiębiorstw klinicznych. Usługi sieciowe (WS) zapewniają otwarty i ustandaryzowany sposób na osiągnięcie współdziałania między różnymi aplikacjami, działającymi na różnych platformach i/lub frameworkach. Stanowią zatem ważne narzędzie technologiczne służące stopniowemu dostarczaniu zaawansowanych usług między przedsiębiorstwami. Istotnymi zaletami korzystania z WS jako uzupełnienia dowolnego istniejącego rozwiązania oprogramowania pośredniczącego jest przejrzystość lokalizacji, niezależność od języka i platformy, wraz z ich akceptacją przez dużych dostawców i akceptacją, jaką cieszą się wśród użytkowników. WS, z ich korzeniami w języku Extensible Markup

Language (XML), otwiera drzwi dla nowej generacji, luźno powiązanych, gruboziarnistych, zorientowanych na dokumenty architektury. Termin „luźno powiązany” jest używany do scharakteryzowania usług, w których założenia przyjęte przez komunikujące się strony dotyczące wzajemnego wdrażania, struktury wewnętrznej i samej komunikacji są ograniczone do minimum. W Wang, Wang i Zhu naukowcy zaproponowali wykorzystanie SOA do łączenia kilku przepływów pracy w celu integracji różnych systemów informacji zdrowotnych. Chociaż przepływy pracy nie są kompletne, jest to jednak ważny wkład w integrację różnych systemów informatycznych. CIO Harvard Medical School John Halamka zacytował: „Umieszczanie serwerów i wymian w gabinetach lekarskich nie zadziała”. Zasugerował, że lepszym modelem jest wykorzystanie regionalnych centrów technologii informacyjnej opieki zdrowotnej, które wykorzystują systemy przetwarzania w chmurze do pracy z lekarzami. Obliczenia wykonywane w skali chmury umożliwiają użytkownikom dostęp do wirtualnego superkomputera. Celem przetwarzania w chmurze jest dostarczanie dziesiątek bilionów obliczeń na sekundę w przypadku problemów, takich jak dostarczanie informacji medycznych w taki sposób, aby użytkownicy mogli korzystać z Internetu. Po prawidłowym wdrożeniu, przetwarzanie w chmurze umożliwia tworzenie i wdrażanie aplikacji, które mogą łatwo zwiększać pojemność, dostarczać wymaganej wydajności i charakteryzują się wysokim stopniem odporności na awarie, a wszystko to bez obawy co do charakteru i lokalizacji podstawowej infrastruktury. IBM ogłosił, że American Occupational Network i HyGen Pharmaceuticals poprawiają opiekę nad pacjentami poprzez digitalizację dokumentacji medycznej i usprawnienie operacji biznesowych za pomocą oprogramowania opartego na chmurze. Rozwiązania zdrowotne GoogleHealth i Microsoft Vault to komercyjne kroki w kierunku agregowania danych pacjentów w ujednoczonym środowisku. Jednak głównym problemem związanym z ich rozwiązaniem jest niezdolność CDO do przesyłania danych dotyczących zdrowia pacjentów do centralnego repozytorium danych. W obu systemach pacjenci muszą przesyłać wszystkie dane, co wymaga uprzedniego uzyskania dostępu do swojej historii medycznej. Ważne jest, aby pamiętać, że EMR jest podstawowym budulcem, źródłem informacji, które zasila Elektroniczne Rejestry Zdrowia (EHR). EHR jest zapisem podłużnym, możliwym dzięki regionalnym organizacjom informacji o zdrowiu (RHIO). Podczas gdy on Patient Health Record (PHR) jest dokumentacją posiadaną, dostępną i zarządzaną przez konsumenta. Zależności między nimi są bardzo wyraźne. Bez łączenia (interfejsu) EMR z PHR, konsument będzie musiał ręcznie wprowadzić istotne dane, takie jak wyniki laboratoryjne. Bez EHR, PHR nie może przyjmować informacji od wielu dostawców. Tak jest w przypadku obu rozwiązań oferowanych przez Microsoft i Google. Często mija kilka tygodni, zanim można uzyskać dostęp do ich dokumentacji medycznej ze szpitala, co ogranicza jej wykorzystanie. Ponadto zarówno rozwiązania zdrowotne Google, jak i Microsoft nie zapewniają bezstratnego rozwiązania usług obrazowania, które są ważnym elementem całego systemu zorientowanego na pacjenta. W tym rozdziale omówimy strukturę, która pozwoli nam połączyć wszystkie systemy dokumentacji medycznej zgodne z HL7 i przechowywać dane w rozproszonym systemie baz danych opartym na wielu chmurach.

Krótką dyskusja na temat standardów medycznych

Branża opieki zdrowotnej ma obecnie kilka standardów, za pomocą których odpowiednie dane są przesyłane między różnymi systemami informatycznymi, są to między innymi HL7, EDI X12 Wersja 4010 (EDI X12), HIPAA, DICOM, IHE. Krótkie omówienie tych standardów jest omówione poniżej: Health Language 7: ma na celu umożliwienie komunikacji między aplikacjami dostarczonymi przez różnych dostawców, przy użyciu różnych platform, systemów operacyjnych, środowisk aplikacji (np. języki programowania, narzędzia). W zasadzie HL7 umożliwia komunikację pomiędzy dowolnymi systemami bez względu na ich podstawę architektoniczną i historię. Dlatego HL7 obsługuje komunikację między systemami rzeczywistymi, nowo opracowanymi lub starszymi. Osiąga się to poprzez komunikaty ustandaryzowane pod względem składniowym i semantycznym. Interfejsy HL7 realizują procedurę

żądania/usługi poprzez wysyłanie i odbieranie tych ustandaryzowanych komunikatów. Obszary funkcjonalne HL7 obejmują typowe domeny opieki zdrowotnej (kliniczne), takie jak Przyjęć, Zwolnienia i Transfery (ADT), Rejestracja Pacjentów, Zamówienia, Wyniki, Finanse i Akta Główne. Nowsze wersje HL7 zawierają również zestawy znaków spoza ASCII, obsługę języka zapytań, dokumenty medyczne, badania kliniczne, raportowanie szczepień, lek Ad6erse, reakcje, harmonogramy, skierowania oraz problemy i cele. Przykład zestawu transakcji HL7 pokazano poniżej:

```
MSH^~\&IGHH LABELAB-3IGHH OEIBLDG4200202150930I|ORU^R01|CNTRL-3456|P2.4<<<>
PID||555-44-4444|EVERYWOMAN^EVE^E^LJONES|19620320|F||153 FERNWOOD DR.^
^STATESVILLE^OH^35292|(206)3345232|(206)752-121||AC55544444|67-A4335^OH^20030520<<<>
OBR||1845439^GHH OE|1045813^GHH LAB|15545^GLUCOSE||200202150730|
555-55-5555^PRIMARY^PATRICIA P^MD^F||44-44-4444^HIPPOCRATES^HOWARD H^MD<<<>
OBX||SN|1554-5^GLUCOSE^POST 12H CFST:MCNC:PT:SER/PLAS:QN|^182mg/dl|70_105|H|F<<<>
```

Elektroniczna wymiana danych: to format danych oparty na standardach ASC (Accredited Standards Committee) X12. Służy do wymiany określonych danych między dwoma lub więcej partnerami handlowymi. Termin „partner handlowy” może oznaczać organizację, grupę organizacji lub inny podmiot. EDI X12 podlega standardom wydanym przez ASC X12. Każde wydanie zawiera zestaw typów wiadomości, takich jak faktura, zamówienie, roszczenie zdrowotne itp. Każdy typ wiadomości ma przypisany określony numer zamiast nazwy. Na przykład: faktura to 810, zamówienie zakupu to 850, a roszczenie zdrowotne to 837. Niektóre kluczowe transakcje EDI to:

- * 837: Oświadczenia medyczne z podtypami dla odmian zawodowych, instytucjonalnych i stomatologicznych
- * 820: Potrącenia z wynagrodzeń i inne składki grupowe za produkty ubezpieczeniowe
- * 834: Rejestracja i utrzymanie świadczeń
- * 835: Przelewy elektroniczne
- * 270/271: Zapytanie o kwalifikowalność i odpowiedź
- * 276/277: Zapytanie o status roszczenia i odpowiedź
- * 278: Prośba o sprawdzenie i odpowiedź służby zdrowia

Przenośność i odpowiedzialność ubezpieczenia zdrowotnego: przepisy mają wpływ na pracowników służby zdrowia, którzy wymieniają informacje o pacjentach drogą elektroniczną. Przepisy HIPAA zostały stworzone w celu ochrony integralności i bezpieczeństwa informacji zdrowotnych, w tym ochrony przed nieuprawnionym wykorzystaniem lub ujawnieniem informacji. HIPAA stwierdza, że musi istnieć proces zarządzania bezpieczeństwem, aby chronić przed „próbą lub udanym nieautoryzowanym dostępem, użyciem, ujawnieniem, modyfikacją lub ingerencją w operacje systemu”. In umożliwia monitorowanie, raportowanie i alarmowanie dźwiękowe w przypadku próby lub pomyślnego dostępu do systemów i aplikacji zawierających poufne informacje o pacjencie. Aktualna wersja HIPAA to X12 4010, a ostatnio wydano nową wytyczną X12 5010, która została nakazana przez Departament Zdrowia do przestrzegania i wdrożenia przez wszystkich opiekunów przed styczniem 2013 roku.

Obrazowanie cyfrowe i komunikacja w medycynie: to branżowy standard przechowywania i przesyłania wszystkich obrazów radiologicznych. Standard zapewnia interoperacyjność systemu i może być używany do tworzenia, wyświetlania, wysyłania, odpytywania, przechowywania, przetwarzania, pobierania i drukowania obiektów DICOM. DICOM, wzorowany na Open System Interconnection Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej, umożliwia cyfrową komunikację pomiędzy urządzeniami diagnostycznymi i terapeutycznymi oraz systemami różnych producentów. Standard DICOM 3.0, opracowany przez American College of Radiology (ACR) i National Electrical Manufacturers

Association (NEMA), ewoluował z wersji 1.0 i 2.0, które ewoluowały odpowiednio w 1985 i 1988 roku. Oprócz tych norm konieczne jest, aby projektowany system informatyki medycznej był zgodny z następującymi wymaganiami.

Bezpieczeństwo pacjenta: Jednym z najważniejszych wymagań każdego medycznego systemu informatycznego jest dostępność spójnych i prawidłowych informacji. W żadnym momencie system nie powinien pokazywać niedokładnych, niekompletnych i niezamierzonych informacji, które mogą zagrażać bezpieczeństwu pacjenta.

Odzyskiwanie po awarii: Ponieważ proponowany system jest oparty na chmurze obliczeniowej (hostowany w Internecie), należy zapewnić wykonanie kopii zapasowej całego systemu danych na wypadek awarii systemu. Należy dołączyć metodę, która zapobiegnie uszkodzeniu lub utracie danych. W przeciwnym razie może to doprowadzić do poważnego kryzysu w zakresie bezpieczeństwa pacjentów.

Dokładność, dostępność i dostępność: System informatyki medycznej musi osiągnąć cel dostępności powyżej 99%, ponieważ system przechowuje krytyczne informacje. Przechowywane dane muszą być dokładne, dostępne i zawsze dostępne z dowolnego miejsca.

Integracja: Jak omówiono powyżej, aby system służył jako globalna dokumentacja medyczna obejmująca wszystkie dane pacjentów, wszystkie standardy medyczne muszą być prawidłowo i starannie zintegrowane z systemem. Kilka z tych standardów zostało już omówionych powyżej.

Łatwość obsługi i satysfakcja klienta: Przewiduje się, że system będzie szeroko stosowany przez wszystkich pacjentów, lekarzy, pielęgniarki i inne podmioty zajmujące się ochroną zdrowia. Dlatego system musi zapewniać prosty interfejs użytkownika dla wszystkich zaangażowanych podmiotów (użytkowników). Niemożność osiągnięcia tego może uniemożliwić użytkownikom korzystanie z systemu, zmniejszając w ten sposób potencjalny wpływ proponowanego systemu informatycznego.

Zgodność rządowa: Najważniejszym wymogiem systemowym jest bezpieczeństwo i zgodność z HIPAA. System musi obsługiwać oba. Każdy przepływ pracy musi być starannie zaprojektowany tak, aby spełniał standard HIPAA.

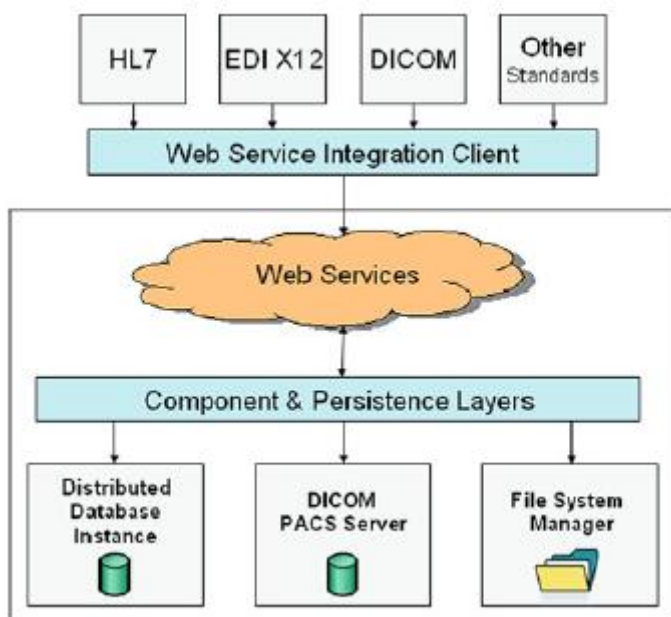
Opis architektury i metody badawcze

Obecnie dane kliniczne, w ustandaryzowanym formacie, są dystrybuowane do organizacji świadczących opiekę zdrowotną (CDO), takich jak m.in. szpitale, apteki, firmy ubezpieczeniowe. Celem proponowanego projektu jest stworzenie i autoryzowane i bezpieczne udostępnianie tego repozytorium danych w rozproszonej bazie danych opartej na chmurze. W tej sekcji przedstawiamy opis architektury każdej warstwy proponowanego przez nas systemu informacji medycznej, jak pokazano na ryc. 24.2 powyżej w sekcji „Wprowadzenie”. Projekt koncentruje się na kilku krytycznych komponentach badawczych, takich jak architektura rozproszonej bazy danych, algorytmy równoważenia obciążenia do zarządzania ruchem w systemie chmury obliczeniowej, integracja systemów, opracowanie bezstratnej warstwy prezentacji do przeglądania obrazów i oceny wydajności.

Cel 1: Architektura zorientowana na usługi do łączenia komunikatów medycznych

W tej części omówiono podejście, które zostało przyjęte do łączenia kilku systemów medycznych w celu scentralizowania wszystkich rejestrów pacjentów. Proponowane rozwiązanie nie skupia się na opracowaniu kolejnego standardu, który próbowałby zmusić inne organizacje do przestrzegania. Wybrano raczej podejście sfederowane, oparte na zestawie już istniejących standardów branżowych opieki zdrowotnej, za pomocą których komunikaty medyczne są przesyłane między różnymi systemami

informacyjnymi. Obecnie standardy powiadamiania medycznego umożliwiają przesyłanie danych pomiędzy systemami w trybie żądanie – usługa, gdzie dane są przesyłane z jednego systemu do drugiego bezpośrednio lub za pośrednictwem modulatora takiego jak dostawca usługi EDI VAN. Takie przekazanie danych następuje wyłącznie na żądanie i nie jest uzależnione od zaistnienia zdarzenia takiego jak przyjęcie pacjenta. Dzięki architekturze zorientowanej na usługi można zintegrować różne medyczne systemy informacyjne, zbierając ustandaryzowane dane w rozproszonym repozytorium baz danych w chmurze. W tej architekturze usługi sieciowe będą bezpiecznie hostowane w chmurze, podczas gdy klienci usług sieciowych pełniący rolę agentów będą działały w różnych systemach informacji o zdrowiu. Aby ułatwić bezproblemową integrację różnych baz danych informacji medycznych, schematy rozproszonej bazy danych znajdującej się w chmurze (chmach) będą naśladować istniejący schemat standardów opieki zdrowotnej, takich jak HL7, EDI i DICOM. Podczas początkowej konfiguracji klientów usług internetowych, schemat istniejących systemów HIS lub EMR zostanie zmapowany do proponowanego schematu rozproszonej bazy danych opartej na chmurze. Umożliwiłoby to agentowi okresowe wysyłanie zapytań do baz danych klientów za pośrednictwem nawiązanych połączeń, co ułatwi przesyłanie danych do chmury (chmur) za pośrednictwem bezpiecznego połączenia HTTP. Rysunek przedstawia proponowane podejście, jak omówiono powyżej. Web-Services (WS) to główne, zorientowane na usługi technologie połączeń, które są oparte na specyfikacji iw większości otwarte.

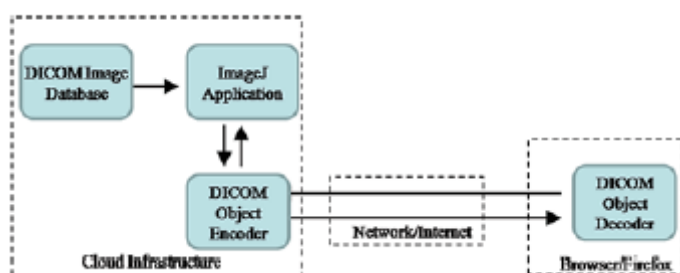


Oprócz potencjału rozwoju oprogramowania open source w środowisku neutralnym technologicznie, głównymi dostawcami są konsorcjum World Wide Web Consortium (W3C) i wysiłki grupy zadaniowej ds. inżynierii internetowej (IETF). Istotnymi zaletami korzystania z WS jako uzupełnienie dowolnego istniejącego rozwiązania oprogramowania pośredniczącego jest przejrzystość lokalizacji, niezależność od języka i platformy, a także ich przyjęcie przez dużych dostawców i szeroka akceptacja. WS, z ich korzeniami XML, otwierają drzwi dla nowej generacji, luźno powiązanych, gruboziarnistych, zorientowanych na dokumenty architektury. Bezpieczeństwo nie powinno być traktowane jako refleksja, ale powinno być wbudowane w samą platformę komunikacyjną. WS były pierwotnie uważane za łatwy sposób prowadzenia działalności biznesowej przez Internet, ponieważ umożliwia tunelowanie przez protokół przesyłania hipertekstu, który zwykle omija korporacyjne zapory ogniowe. Użycie zabezpieczeń warstwy transportowej może nie wystarczyć do zapewnienia pożądanych poziomów uwierzytelniania, autoryzacji i zaufania. Korzystanie z technologii takich jak XMLSignature,

XML-Encryption i WS-Security powinno być obowiązkowe w celu osiągnięcia niezbędnej jakości ochrony integralności i poufności wiadomości. Należy również wziąć pod uwagę dodatkowe wysiłki, takie jak WS-Trust, WS-Policy i WS-Secure Conversation. Obecnie najpowszechniejszym narzędziem technologicznym obejmującym różne aspekty bezpieczeństwa jest Infrastruktura Klucza Publicznego (PKI). PKI służy do opisywania procesów, zasad i standardów regulujących wydawanie, konserwację i odwoływanie certyfikatów oraz kluczy publicznych i prywatnych wymaganych przez operacje szyfrowania i podpisywania. PKI zawiera niezbędne techniki umożliwiające dwóm nieznanym się podmiotom bezpieczną wymianę informacji przy użyciu niezabezpieczonej sieci, takiej jak Internet.

Cel 2: Bezstratna przyspieszona warstwa prezentacji do przeglądania obiektów DICOM w chmurze

Kluczowym wymogiem dla przeglądarek DICOM jest bezstratne kodowanie obrazu; użytkownicy uzyskujący dostęp do obrazów DICOM powinni otrzymać bezstratny obraz, aby wykluczyć wszelkie artefakty kompresji. Rysunek przedstawia proponowaną architekturę podsystemu obrazowania.



Gdy użytkownicy otwierają obraz DICOM, przeglądarka DICOM jest uruchamiana w chmurze. Widoki renderowane przez przeglądarkę DICOM muszą być przekazywane użytkownikom zdalnie uzyskującym dostęp do obrazu. Komercyjne narzędzia dostępu zdalnego, takie jak Citrix, wykorzystują kompresję stratną do zdalnego przeglądania i dlatego nie nadają się do zastosowań w obrazowaniu medycznym. Kilka szpitali zastosowało takie rozwiązanie do udostępniania obiektów DICOM poza siecią szpitalną. Jednak takie zastosowanie stratnej kompresji może nie być akceptowalnym rozwiązaniem w kilku schorzeniach. Na przykład taka stratna kompresja może dostarczyć błędnych informacji o wielkości komórek rakowych, które mogą rosnąć w dowolnej części ciała. Ponieważ stadium raka zależy od objętości komórek rakowych; stratny obraz może wykazywać zmniejszoną objętość po usunięciu niektórych pikseli. Proponowane przez nas rozwiązanie polega na wykorzystaniu jako podstawy oprogramowania do zdalnego sterowania TightVNC i zmodyfikowaniu silnika kodowania obrazu w celu obsługi obrazów bezstratnych. Złożoność kodowania i osiągana kompresja różni się w zależności od algorytmów. Można łatwo ocenić i zmierzyć wydajność kompresji dla bezstratnego JPEG-2000 i JPEG. Następnie można wybrać wysokowydajne algorytmy kompresji, aby uzyskać maksymalną wydajność podsystemu obrazowania.

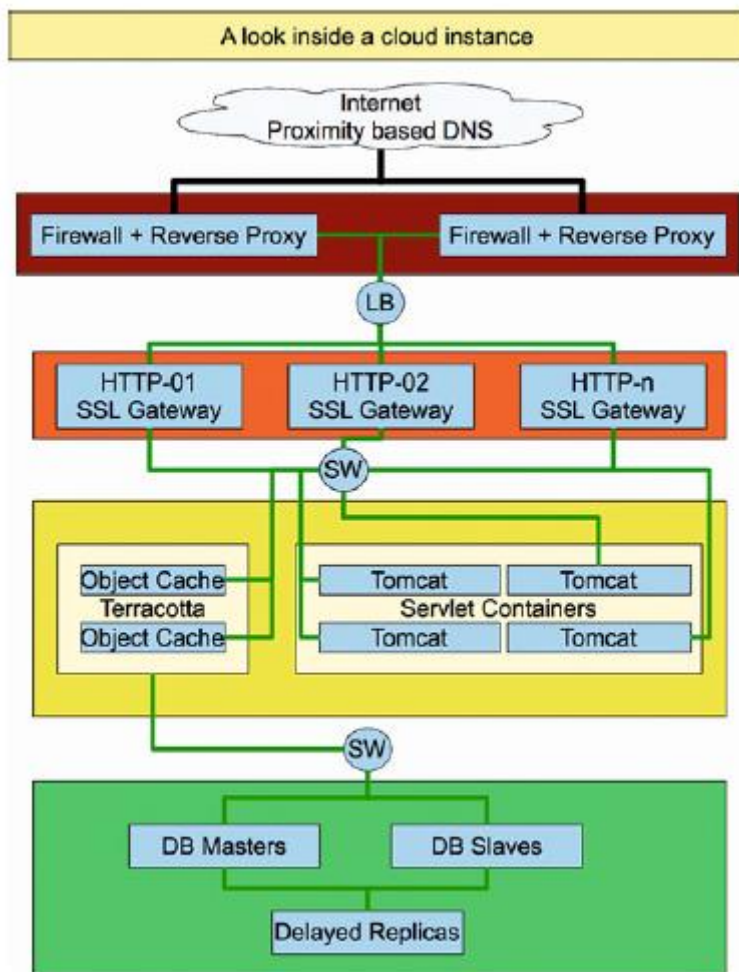
Cel 3: Interfejs sieciowy do dokumentacji stanu zdrowia pacjenta

Rejestry zdrowia pacjentów przechowywane w scentralizowanym repozytorium danych w rozproszonej chmurze (chmurach) mogą być natychmiast przeglądane przez dowolnego autoryzowanego użytkownika podłączonego do tego systemu za pośrednictwem interfejsu internetowego zaprojektowanego jako część proponowanego systemu. Dostęp do danych można uzyskać za pomocą istniejących systemów informacji zdrowotnej za pomocą zdalnych połączeń z usługami internetowymi hostowanymi w chmurze. Proponowana architektura SOA umożliwiłaby różnym medycznym systemom informacyjnym łączenie się z tymi usługami sieciowymi za

pośrednictwem ich klientów. Wszyscy klienci przejdą przez standardową warstwę uwierzytelniania i autoryzacji za pomocą standardów szyfrowania klucza publicznego. Ponieważ dane są przechowywane w standardowym formacie (HL7 lub EDI) w bazie danych GHIS w chmurze, musimy przedstawić dane w czytelnej formie. Portal internetowy może zapewnić wszystkim użytkownikom możliwość wyszukiwania tożsamości pacjenta na podstawie zestawu kryteriów demograficznych oraz wyszukiwania wszystkich powiązanych informacji zdrowotnych i medycznych dotyczących danego pacjenta. Dodatkowe filtrowanie danych pacjenta będzie możliwe, jeśli konsument usługi będzie ograniczony tylko do przeglądania niektórych części dokumentacji medycznej pacjenta. Zostanie to osiągnięte poprzez wykorzystanie ról użytkowników i przydziałów dostępu. Bezpieczne loginy umożliwiające dostęp do dokumentacji pacjenta dla uprawnionych użytkowników, takich jak lekarze, radiolodzy, technicy laboratoryjni, mogą być tworzone przy użyciu istniejących metod, takich jak hasła jednorazowe (OTP). Metody OTP można ułatwić poprzez zastosowanie standardowego urządzenia medycznego, takiego jak „Token”, który generowałby zsynchronizowane czasowo jednorazowe hasło umożliwiające dostęp do bazy danych pacjentów. Internetowy interfejs ImageJ można łatwo udostępnić za pośrednictwem tego systemu portalu internetowego do przeglądania obiektów DICOM. ImageJ to program do przetwarzania obrazów w języku Java z domeny publicznej, zainspirowany przez NIH ImageJ dla komputerów Macintosh. Został zaprojektowany z otwartą architekturą, która zapewnia rozszerzalność za pomocą wtyczek Java. ImageJ zostanie zintegrowany z serwerem PACS w chmurze, aby odczytywać obiekty DICOM znajdujące się w rozproszonej bazie danych. Interfejs użytkownika aplikacji przeglądarki ImageJ zależy od roli użytkownika uzyskującego dostęp. Na przykład radiolog będzie miał pozwolenie na zmianę obiektu DICOM, który będzie przechowywany jako nowa wersja w postaci oddzielnej warstwy obrazu. Przeglądarka internetowa przedstawi zdalny „pulpit”, z którego autoryzowany użytkownik może uruchomić ImageJ w celu otwarcia obiektów DICOM. Użytkownicy wchodzi w interakcję z ImageJ bezpośrednio za pomocą kontrolki dostarczonej przez ImageJ. Gdy widoki ImageJ się zmieniają, koder widoku oparty na serwerze TightVNC kompresuje „pulpit” i przesyła go do użytkownika. TightVNC używa standardowego protokołu Remote Frame Buffering (RFB) do udostępniania i sterowania pulpitem. Ponieważ w View Encoder zostanie zastosowana kompresja bezstratna, użytkownicy zobaczą obrazy identyczne z obrazami renderowanymi przez ImageJ.

Cel 4: Globalnie rozproszona, dynamicznie skalowalna architektura aplikacji oparta na chmurze

Proponowana koncepcja systemu informacji medycznej ma na celu zapewnienie pacjentom, lekarzom i innym świadczeniodawcom natychmiastowego dostępu do dokumentacji medycznej, obrazów i innych zasobów cyfrowych. Po podłączeniu do systemu informatycznego usługi dostępne dla konsumenta będą filtrowane w zależności od roli, rodzaju lub odpowiedzialności konsumenta. Rysunek przedstawia architekturę warstwową wysokiego poziomu dla proponowanej globalnie rozproszonej dynamicznie skalowalnej chmury, która będzie używana do przechowywania wszystkich danych medycznych.

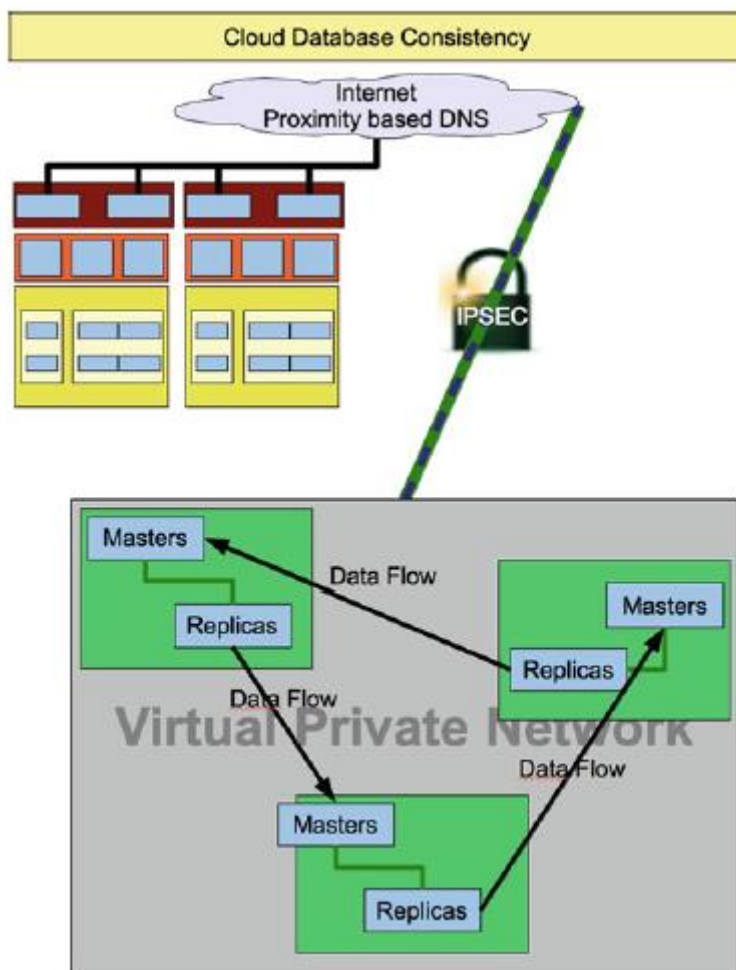


Każda warstwa na zawiera wiele instancji w chmurach lokalnych i rozproszonych geograficznie. Warstwa 1 (warstwa bezpieczeństwa) każdej partycji aplikacji obejmowałaby zapórę ogniową z VPN, filtrowanie ruchu, raportowanie statystyczne oraz funkcje i możliwości równoważenia. Aby zwiększyć wydajność warstwy, można byłoby zbadać połączenie kilku z tych usług na tym samym hoście lub urządzeniu, chociaż usługi wirtualnej sieci prywatnej (VPN) działające w różnych chmurach będą znajdować się na odizolowanych hostach. Dodatkowo, ze względu na wrażliwy charakter hostów IPSEC (Internet Protocol Security) oraz w celu zapewnienia bezpieczeństwa danych, ta separacja jest uważana za niezbędną. Warstwa 2 (Warstwa prezentacji) reprezentuje serwer sieciowy do obsługi klientów http. Ostatecznie każda instancja w tej warstwie powinna być w stanie wykryć uszkodzony węzeł w swojej warstwie i przejąć obciążenie, aby zapewnić odporność na błędy w naszym ogólnym proponowanym systemie. Można to osiągnąć za pomocą oprogramowania klastrowego „Linux-Ha” w konfiguracji aktywnej/aktywnej (<http://www.linux-ha.org/GettingStarted/TwoApaches>). Usługi Secure Socket Layer (SSL)/Transport Layer Security (TLS) i proxy http wymagają nieco dużej mocy obliczeniowej, dlatego ich wpływ na ogólną wydajność jest bliski liniowemu. W ten sposób zasoby na tej warstwie można oszacować na podstawie liczby połączeń. Warstwa 3 (Warstwa aplikacji) to rzeczywista warstwa aplikacji/logiki biznesowej. Podstawowe platformy w tej warstwie to Apache Tomcat i Sun Java. Ponieważ równoważenie obciążenia będzie wykonywane głównie na zewnętrznym obwodzie i w warstwie http, wysoka dostępność staje się głównym problemem na tym poziomie. Ponieważ jest to dziedzina opieki zdrowotnej, jednym z naszych głównych celów jest zapewnienie stałej dostępności aplikacji. Ponieważ dane mają krytyczne znaczenie, aplikacje medyczne nie mogą

sobie pozwolić na utratę połączenia nawet podczas poważnej awarii sprzętowej węzłów x-1 (gdzie x to liczba węzłów obsługujących aplikację za pośrednictwem Apache Tomcat), warstwa zapewniłaby stałą dostępność wszystkich aplikacji. Ostatnia warstwa, warstwa 4 (warstwa bazy danych) systemów serwerowych to systemy baz danych. Omawiamy krótką architekturę proponowanego przez nas systemu.

Spójność rozproszonych danych w różnych chmurach

Można łatwo przeprowadzić szczegółową ocenę wydajności i testy porównawcze różnych metodologii przechowywania baz danych, takich jak tradycyjne systemy zarządzania relacyjnymi bazami danych (RDBMS), zorientowane obiektowo systemy baz danych i rozproszona trwałość wartości kluczy. Wydajną architekturę bazy danych można następnie zaimplementować w pojedynczej chmurze w standardowej topologii master-slave z rozproszonymi odczytami i zapisami tylko master. Można skonfigurować specjalny serwer replikacji, który będzie replikował dane z głównej bazy danych co 20–60 minut. Taka konfiguracja pozwoliłaby nam zachować spójny stan danych, który jest opóźniony o 20–60 min. W przypadku awarii systemu dane z tego stanu można odzyskać. Wszystkie kopie zapasowe danych można zaplanować tak, aby były uruchamiane ze specjalnego serwera replikacji, aby uniknąć wpływu na wydajność odczytu lub zapisu. Istnienie wielu baz danych rozproszonych w wielu chmurach będzie stanowić problem ze spójnością danych. W celu bezpiecznego i wydajnego rozwiązania tego problemu można opracować architekturę cross-cloud. Rysunek przedstawia proponowaną metodę synchronizacji rozproszonej bazy danych master.



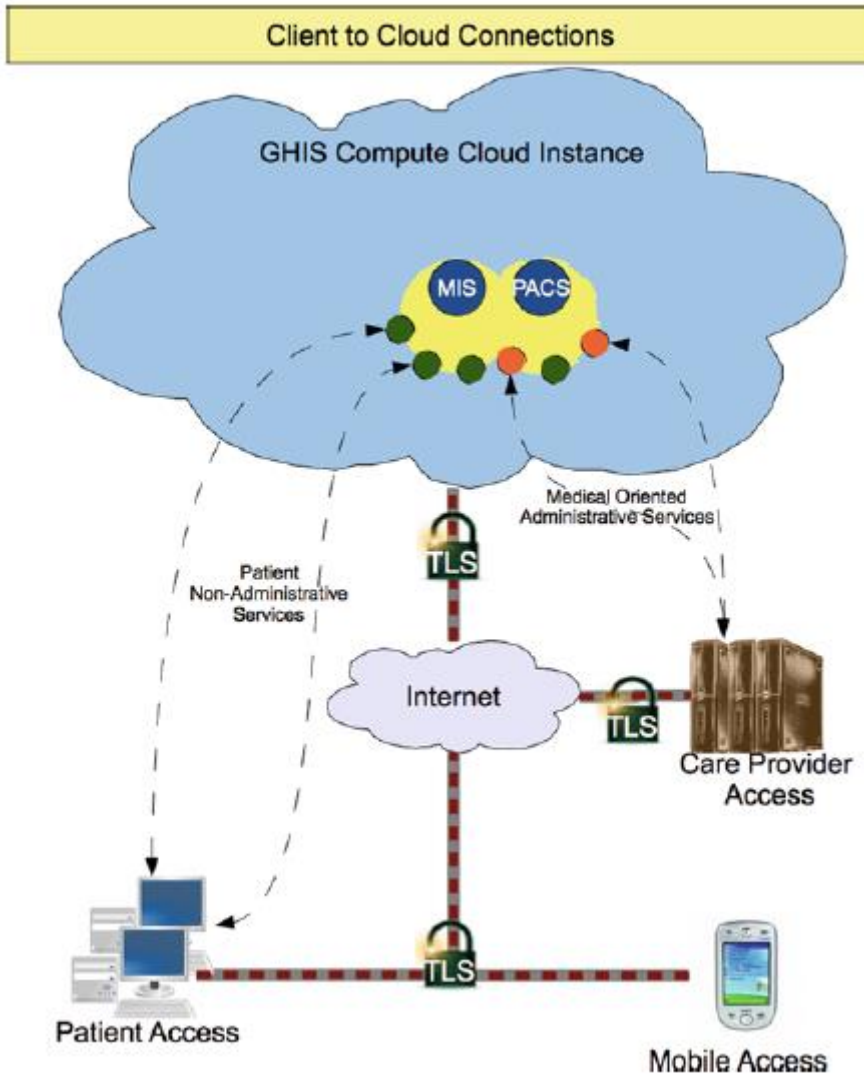
Proponowanym rozwiązaniem jest wykonywanie synchronizacji offline zgodnie z harmonogramem. Na replikowanym systemie możemy opracować agenta do zatrzymywania i przekierowywania nowych połączeń, wstrzymywania wszystkich zautomatyzowanych agentów konserwacji, opróżniania wszystkich pamięci podręcznych w każdym węźle każdego systemu, a następnie wykonywania replikacji krzyżowej z repliki systemu online do własnego systemu głównego. Odpowiedzialni za to agenci będą również komunikować się między sobą, aby zapewnić, że będzie to wykonywane w sposób ciągły, w którym nie więcej niż 1/3 do 1/2 indywidualnych instancji chmury globalnej jest niedostępnych w danym momencie. Wyeliminuje to postrzegane przerwy w świadczeniu usług. Ponieważ te dane są bardzo wrażliwe i muszą być chronione za wszelką cenę, należy wdrożyć standard branżowy IPSEC VPN, aby ułatwić tę replikację lub synchronizację w wielu chmurach.

Większa dostępność i skalowalność aplikacji

Proponujemy architekturę globalnego systemu informacji medycznej, który może mieć miliony użytkowników uzyskujących dostęp do systemu w celu uzyskania dostępu do osobistej dokumentacji medycznej. Dlatego system musi zapewnić wysoką skalowalność, aby obsłużyć coraz większą liczbę użytkowników w systemie. Ponadto konieczne będzie zapewnienie trwałości i integralności magazynu informacji przy zachowaniu wysokiej wydajności. Można łatwo badać i porównywać metody rozproszonego udostępniania HTTP. Jedną metodą rozproszonego serwowania HTTP, określaną jako równoważenie obciążenia geograficznego, jest kontrowersyjna co do jej skuteczności, ale jest dość intensywnie wykorzystywana w dużych witrynach internetowych, takich jak Google, Inc. czy Amazon.com. Założeniem metody równoważenia obciążenia geograficznego jest to, że dowolny host z publicznym adresem IP może być powiązany z przypisaniami bloków adresów IP w poszczególnych krajach. Dla warstwy aplikacji proponujemy zaimplementować równoważenie obciążenia za pomocą łącznika JK z warstwy http w schemacie ważonego równoważenia obciążenia okrężnego. Stos oprogramowania klastra aplikacji będzie zawierał Apache Tomcat na Sun Java TM oraz pakiet klastrowania sterty JVM, Terracotta. Na klastrach cloud computing można dynamicznie tworzyć nowe zasoby obliczeniowe, maszyny wirtualne. Proponujemy, aby opracować metodę, która pozwoliłaby nam efektywnie alokować/dealokować nową instancję aplikacji w odpowiednim czasie. Taka metoda dodatkowo sprzęgałaby się z łącznikami JK w celu dynamicznej zmiany wag połączeń i powiadamiania warstwy HTTP o nowym zasobie, z którym może się zrównoważyć. Proponowany system składałby się z czterech partycji aplikacji: Core System Services, Hospital Information Web Services, PACS System oraz Accelerated DICOM Presentation Services. Agent będzie wiedział, która z tych usług potrzebuje więcej zasobów. Opracujemy algorytm do wykrywania tempa wzrostu obciążenia w oparciu o specjalne potrzeby każdego podsystemu.

Oдноśnie bezpieczeństwa niskiego poziomu

Chociaż uwierzytelnianie i autoryzacja użytkowników będzie znajdować się w usługach aplikacyjnych i integracyjnych, Infrastruktura GMIS musi być rozwijana w taki sposób, aby zapewnić godne zaufania korzystanie z systemów i sieci chmurowych. Komponenty i warstwy zabezpieczeń GMIS będą egzekwowane na dowolnej platformie obsługującej Internet. Istniejące metody bezpieczeństwa, takie jak użycie zapór sieciowych z minimalną niezbędną polityką dostępu i infrastrukturą klucza publicznego, zostaną wdrożone w celu zapewnienia bezpiecznego dostępu do chmury opieki zdrowotnej. Ponadto należy dążyć do certyfikacji wszystkich klientów przez GMIS Root Certificate Authority, które z kolei może być certyfikowane przez stronę trzecią. Rysunek przedstawia uproszczony widok połączenia zaufanego klienta z chmurą opieki zdrowotnej.



Infrastruktura klucza publicznego powinna być używana do uzyskiwania dostępu do usług i aplikacji za pomocą protokołu Transport Layer Security (TLS) i wymagać od serwerów dostarczenia swoich poświadczeń klientowi. Dodatkowo, wymagając od klienta również przedstawienia swoich poświadczeń bezpieczeństwa (lub certyfikatu), możemy łatwo ustanowić niski poziom zaufania i założyć, że obie strony z dużym prawdopodobieństwem będą tym, za kogo się podają. Należy dodatkowo skonfigurować serwery przetwarzania SSL/TLS z odwrotnym serwerem proxy opartym na HTTP i pakietem wykrywania włamań.