DICOM Data Transfer of Radiology Images based on Publish-Subscribe Software Architecture

Esmaeilyfard R[1], Paknahad M[2*]

[1]Assistant Professor, Department of Computer Engineering and Information Technology, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
[2]Associate Professor, Oral and Dental Disease Research Center, Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Shiraz University of Medical Science, Shiraz, Iran

Abstract

Introduction: Various methods have been introduced for the offline exchange of radiological images between medical centers using technologies such as CD or E-mail. Costly infrastructures such as PACS have also been introduced to exchange images in a medical center. But these methods or dedicated networks between various centers are practically impossible.

Methods: In this observational study, publish-subscribe software architecture is presented to facilitate communication between medical centers, considering the challenge of scalability. This approach transfers the images in DICOM format to the publish/subscribe server. Other medical centers receive the images by subscribing to this service and specifying their interesting images.

Results: The simulation results of this architecture on a data set of DICOM images and the number of publishers and subscribers showed that the system's response time does not increase much and it maintains an appropriate data transfer speed while the number of users increases. For this reason, it has good scalability.

Conclusion: Implementing the publish-subscribe architecture showed that eliminating the dependency between imaging and medical centers makes implementing and interacting with users easier. From this point of view, this architecture has excellent potential to create an infrastructure for sharing images between medical centers.

Keywords: Software, Radiology, Computers, Data Exchange

Sadra Med Sci J 2022; 10(3): 257-266.
Received: May 12th, 2021
Accepted: Aug. 22nd, 2022

[*]Corresponding Author: **Paknahad M.** Associate Professor, Oral and Dental Disease Research Center, Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Shiraz University of Medical Science, Shiraz, Iran, paknahadmaryam@yahoo.com

مقاله پژوهشی
(Original Article)

مجـــــله علـــــوم پزشکی صدرا
دوره ۱۰، شماره ۳، تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۲۵۷ تا ۲۶۶
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱

انتقال داده‌های دایکام تصاویر رادیولوژی بر اساس معماری نرم‌افزاری انتشار - اشتراک

رسول اسماعیلی فرد[۱]، مریم پاک نهاد[۲*]

[۱]استادیار گروه نرم افزار، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران
[۲]دانشیار، مرکز تحقیقات بیماری های دهان و دندان، گروه رادیولوژی فک و صورت، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

چکیده

مقدمه: روش‌های مختلفی برای تبادل اطلاعات تصاویر رادیولوژی بین مراکز درمانی با استفاده از تکنولوژی‌هایی نظیر CD یا ایمیل یا زیرساخت‌های پرهزینه‌ای همچون پکس به‌منظور تبادل تصاویر در یک مجموعه درمانی ارائه شده است اما، استفاده از این روش‌ها یا شبکه‌های اختصاصی بین گسترهٔ وسیعی از مراکز عملاً امکان‌پذیر نیست.

روش‌ها: در این مطالعهٔ مشاهده‌ای، یک معماری نرم‌افزاری انتشار-اشتراک جهت تسهیل برقراری ارتباط بین مراکز درمانی با در نظر داشتن چالش مقیاس‌پذیری ارائه شده است. در این راهکار تصاویر با فرمت DICOM به سرویس‌دهنده انتشار و اشتراک منتقل می‌شوند و مراکز درمانی دیگر با عضویت در این سرویس و مشخص کردن نوع تصاویر مورد علاقه خود، تصاویر را دریافت می‌کنند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از شبیه‌سازی این معماری روی مجموعه داده‌ای از تصاویر دایکام و همچنین تعداد ناشرین و مشترکین نشان داد که سیستم همزمان با سرعت مناسب در انتقال داده‌ها با افزایش بار کاری و تعداد کاربران، تغییر زیادی در افزایش زمان پاسخ‌دهی نمی‌دهد و ازاین‌جهت از مقیاس‌پذیری مناسبی برخوردار است.

نتیجه‌گیری: پیاده‌سازی معماری انتشار-اشتراک نشان داد که رفع وابستگی بین مراکز تصویربرداری و مراکز درمانی باعث سادگی در پیاده‌سازی و تعامل کاربران می‌شود. از این نظر این معماری از پتانسیل خوبی برای ایجاد زیرساختِ اشتراک‌گذاری تصاویر بین مراکز درمانی برخوردار است.

واژگان کلیدی: نرم افزار، رادیولوژی، کامپیوتر، تبادل داده

[*]نویسنده مسئول: **مریم پاک نهاد**، دانشیار، مرکز تحقیقات بیماری های دهان و دندان، گروه رادیولوژی فک و صورت، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران، paknahadmaryam@yahoo.com

مقدمه

با توسعهٔ فناوری‌های اینترنت، پزشکان و بیماران عادت کرده‌اند تا به اطلاعات مورد نیاز خود بر حسب نیاز دسترسی داشته باشند (۱). تاکنون تکنولوژی‌های مختلفی از انتقال روی CD تا ایمیل داده‌ها برای انتقال و تبادل تصاویر دایکام[1](۲) در رادیولوژی ارائه شده است (۳)، اما استفاده از این رسانه‌های آفلاین باعث صرف زمان و تلاش زیادی برای فرستنده و گیرنده می‌شود، اما پروژه دایکام از انجمن رادیولوژی آلمان (۴) نشان داد که در عمل این داده‌ها از قابلیت سازگاری مناسبی برخوردار هستند و حداقل مشکل برای انتقال آن‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها بین مراکز مختلف وجود دارد.

در مطالعات میدانی انجام‌شده از اطلاعات ده‌ها مرکز مشاهده می‌شود که بخش زیادی از بیماران از شهرستان‌های اطراف یا از مراکز درمانی کوچک به مراکز درمانی بزرگ‌تر مراجعه می‌کنند. حتی بیمارانی که قبلاً به جهت تشخیص مشکل از آن‌ها تصویربرداری شده است و درمان نشده‌اند ممکن است در وضعیت اورژانسی به مراکز درمانی دیگر ارجاع داده شوند و در مرکز بعدی از آن‌ها تصویربرداری مجدد انجام گیرد. این موضوع نشان می‌دهد که زمان بسیار زیادی در فرآیند درمان بیمار صرف تصویربرداری می‌شود و تسریع در انتقال تصاویر پزشکی از ملزومات درمان است. اهمیت این موضوع در دوران بحران کوید بیش‌ازپیش نمایان شد (۵). زمانی‌که رسانه‌های انتقال نوری و USB، و الزام پزشکان برای تعامل همزمان با بیماران بیش‌ازپیش مسائل را پیچیده کرده بود.

امروزه از فناوری‌های شناخته‌شده‌ای نظیر پکس[2](۶, ۷) برای تبادل اطلاعات استفاده می‌شود و در حال حاضر انتقال این تصاویر از طریق شبکه و امکانات آن نظیر DICOM C-Store امکان‌پذیر است (۸, ۹). حتی روش‌هایی برای ذخیره‌سازی اطلاعات این تصاویر در زیرساخت‌های ابری نیز ارائه شده است (۱۰). اما هنوز مراکز درمانی کوچک به دلیل هزینهٔ زیادی که به همراه دارد، از آن به‌صورت فراگیر استفاده نمی‌کنند و اطلاعات در اکثر مراکز درمانی به‌صورت محلی ذخیره می‌شود (۶). امنیت و محرمانه ماندن اطلاعات خصوصی بیماران نیز در این روش‌ها تضمین نمی‌شود و نیاز به توسعه روش‌های امنی برای انتقال اطلاعات وجود دارد (۱۱) بنابراین، به‌منظور تسریع در دسترسی به اطلاعات و تصاویر بیماران و اشتراک‌گذاری آن بین مراکز درمانی نیاز به سازوکاری وجود دارد که قابلیت دسترسی بهتری داشته باشد (۱۲, ۱۳).

به منظور ارائهٔ روش برای تبادل اطلاعات بین مراکز درمانی مطالعات مختلفی انجام شده است. به‌عنوان‌مثال، جوزیک و همکاران(۱۴) به ارائه روشی تحت وب مبتنی بر معماری سرویس‌دهنده-سرویس گیرنده برای اشتراک‌گذاری تصاویر رادیولوژی پرداخته‌اند. هدف از ارائه این سیستم تسهیل در دسترسی به داده‌ها بدون نیاز به کامپیوتری با پردازنده قوی برای دسترسی به تصاویر بوده است. جویک و همکاران (۱۵) راهکاری برای کاهش حجم این تصاویر و طبقه‌بندی سلسه‌مراتبی آن بین چند مرکز ارائه کرده‌اند که بتواند انتقال در محیط وب را تسهیل کند. اگرچه روش‌های ارائه شده به دسترسی راحت‌تر اطلاعات در محیط وب کمک کرده‌اند، اما این روش‌ها در صورت افزایش تعداد کاربران قابلیت پاسخگویی خود را از دست می‌دهند. به‌عبارت‌دیگر این روش‌ها از مقیاس‌پذیری مناسبی برخوردار نیستند.

در این مقاله معماری انتشار-اشتراک[3] جهت ارتباط بین مراکز درمانی با هدف سهولت در نصب، راه‌اندازی و همچنین بهبود قابلیت مقیاس‌پذیری سیستم، معرفی خواهد شد. بررسی مطالعات قابل دسترسی نشان می‌دهد، این اولین مطالعه‌ای است که یک معماری انتشار-اشتراک برای تبادل تصاویر دایکام بین مراکز درمانی را مورد توجه قرار داده است.

[1] DICOM
[2] PACS
[3] Publish-Subscribe

روش‌ها

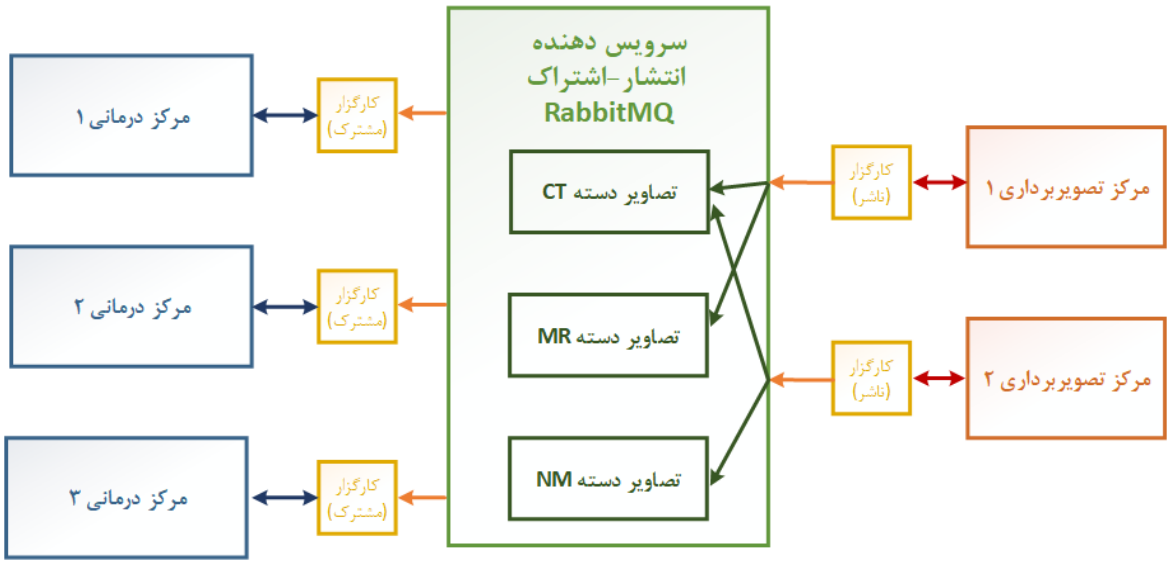
راهکار معرفی‌شده خدمتی ارائه می‌دهد تا مراکز درمانی بتوانند به یک سرویس انتشار-اشتراک متصل شوند. در این معماریِ نرم‌افزاری، فرستندگان تصاویر رادیولوژی که به‌عنوان ناشر شناخته می‌شوند پیام‌ها را مستقیماً به سمت یک گیرنده مشخص که در اینجا مشترک نامیده می‌شود، ارسال نمی‌کنند بلکه پیام‌های ارسال‌شده به‌صورت دسته‌بندی‌شده بدون داشتن اطلاعاتی در مورد مشترکین ارسال می‌شود. به شکل مشابه، مشترکین علاقه‌مندی خود را در دریافت یک یا چند نوع تصویر در قالب دسته‌بندی ارائه‌شده از این سرویس اعلام می‌کنند و تصاویری دریافت می‌کنند که مورد نظر آن‌هاست، بدون آنکه اطلاعی در مورد ناشرین داشته باشند.

۱- معماری روش پیشنهادی

شکل ۱ نمایی از این معماری را نشان می‌دهد. در این معماری تصاویر با فرمت دایکام تبادل می‌شوند. بر این اساس، هر مرکز تصویربرداری تصاویر خود را از طریق سرویس انتشار-اشتراک منتشر می‌کند. از طرف دیگر، مراکز درمانی با تعیین مشخصه‌های مورد نظر خود در این سرویس عضو می‌شوند و سرویس انتشار-اشتراک با دریافت تصاویر دایکام و تطبیق آن با نیاز مراکز درمانی، تصاویر را برای آن‌ها ارسال می‌کند. برای پیاده‌سازی سرویس انتشار-اشتراک از نرم‌افزار RabbitMQ نسخه ۳.۷ بر روی ویندوز سرور ۲۰۱۶ بهره گرفته شد.

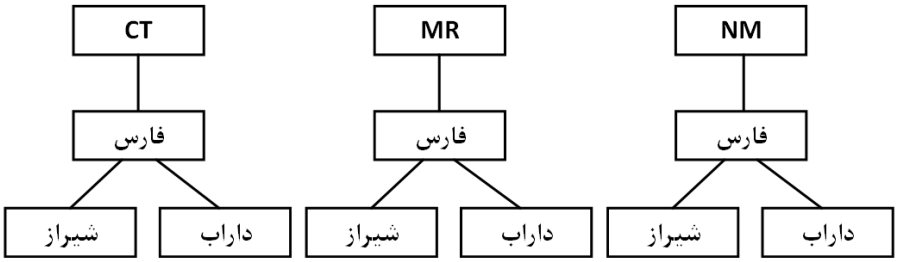
۲- دسته‌بندی اشتراک‌ها

در این مطالعه، دسته‌بندی مشخص‌شده در شکل ۲ برای دسته‌بندی و اشتراک در دریافت تصاویر استفاده شد که به جهت محدودیت فضای نمایش تنها تعدادی از شهرها نمایش داده شده است. بر این اساس یک مرکز با مشخص کردن یک الگو در این سلسله مراتب طبقه‌بندی نظیر «*/فارس» می‌توانست کلیه تصاویر مربوط به منطقه فارس را دریافت نماید. علاوه بر این، در هر مرکز درمانی برای



CT: Computed Tomography
MR: Magnetic resonance imaging
NM: Neuromelanin-sensitive MRI

شکل ۱. معماری انتشار-اشتراک در انتقال تصاویر دایکام



CT: Computed Tomography
MR: Magnetic resonance imaging
NM: Neuromelanin-sensitive MRI

شکل ۲. طبقه‌بندی تصاویر

اتصال به این زیرساخت یک نرم‌افزار کارگزار[1] پیاده‌سازی و نصب شد. این کارگزار روی یک سیستم در مرکز درمانی نصب می‌شود و خدمات خواندن فایل‌های دایکام و ارسال آن‌ها و همچنین دریافت فایل‌ها را انجام می‌دهد. این نرم‌افزار از طریق شبکه محلی به دستگاه‌های تصویربرداری و محل ذخیره‌سازی اطلاعات آن‌ها متصل می‌شد تا اطلاعات دایکام را از آنجا دریافت و ارسال کند. از طرف دیگر در این کارگزار امکان مشخص کردن محل ذخیره‌سازی اطلاعات دریافت شده فراهم شد. این محل می‌توانست هر سیستمی باشد که از طریق شبکه محلی قابل دسترس بود.

۳- پیکربندی محیط

کلیه ارتباطات برقرار شده با سرویس‌دهنده انتشار-اشتراک به جهت حفظ امنیت داده‌ها از طریق پروتکل رست[2] و با استفاده از ارتباط رمزنگاری‌شده HTTPS[3] برقرار می‌شد.

۴- ملاحظات اخلاقی

این مطالعه با کد اخلاق IR.SUMS.DENTAL.REC.1401.090 در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی شیراز مصوب شده است.

۵- شرایط محیطی و کیفیت داده‌ها

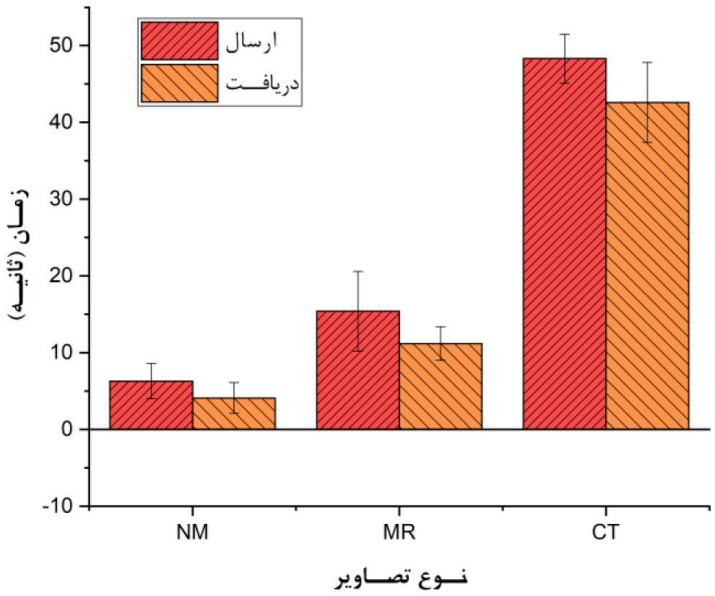
برای بررسی عملکرد این معماری از روش شبیه‌سازی استفاده شد و سرویس‌دهنده انتشار-اشتراک روی یک سرویس‌دهنده با پردازنده ۱۶ * ۲.۶ GHz و حافظه ۲۴ گیگابایت نصب شد. ۵ سرویس گیرنده نیز با پردازنده ۴ * ۲.۲ GHz و حافظه ۶ گیگابایت نصب و راه‌اندازی شد. این سرویس‌گیرنده‌ها از طریق یک شبکه محلی با سرعت ۱ گیگابایت به یکدیگر متصل شدند و از یک مجموعه تصاویر دایکام (۱۶) برای تست سیستم استفاده شد. این مجموعه فایل شامل ۷۲۳ فایل CT با حجم ۳۶۲ مگابایت، ۳۹۶ فایل MR با حجم ۱۵ مگابایت و ۵۹ فایل NM با حجم ۴.۷۸ مگابایت بود. برای تست سیستم نیز از یک استرس تست با استفاده از ابزار Apache jMeter با نرخ ۲۰۰۰ درخواست در ثانیه استفاده گردید.

یافته‌ها

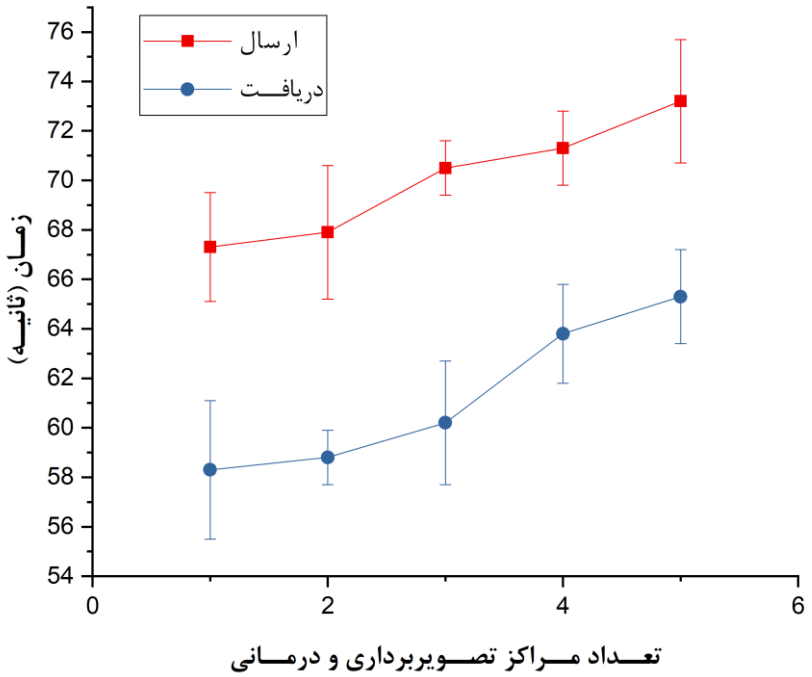
معماری معرفی‌شده از نظر زمان ارسال و دریافت درخواست‌ها، میانگین زمان ارسال و دریافت عکس مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ نتایج سرعت ارسال و دریافت داده‌ها با استفاده از این معماری را نشان داده است.

جهت بررسی تأثیر تعداد ناشرین و مشترکین نیز چند تست مجزا انجام شد. شکل ۴ نتایج حاصل از انتشار این تصاویر را به ازای تعداد مختلف ناشرین و مشترکین نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج با افزایش تعداد ناشرین و

[1] Broker
[2] REST
[3] Hypertext Transfer Protocol Secure



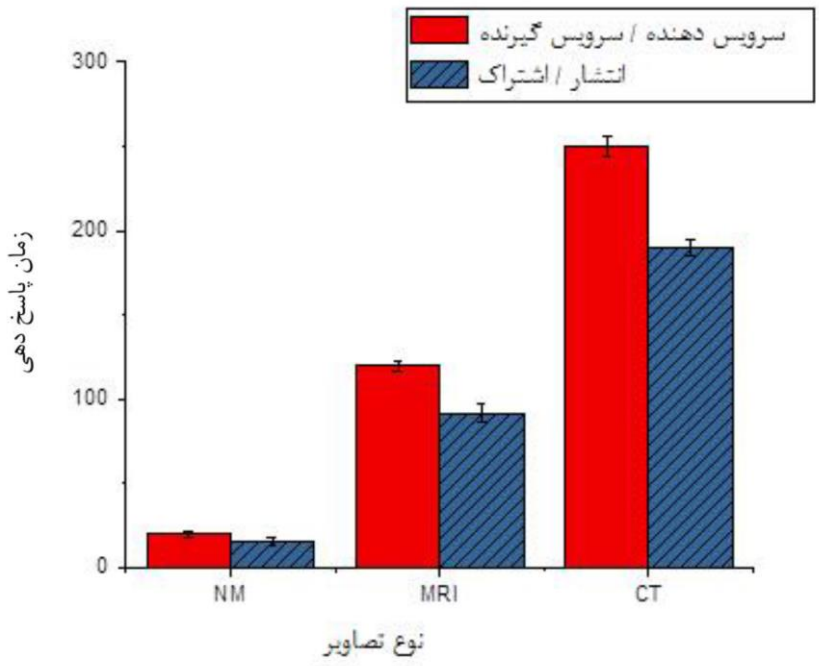
شکل ۳. سرعت ارسال و دریافت تصاویر دایکام در معماری ارائه شده



شکل ۴. تأثیر تعداد ناشرین و مشترکین بر زمان ارسال و دریافت

مشترکین زمان، افزایش محسوسی ندارد و نشان از پتانسیل مقیاس‌پذیری مناسب سیستم است.

در شکل ۵ زمان پاسخ‌دهی برای انواع تصاویر متفاوت با معماری سرویس‌دهنده/سرویس گیرنده مقایسه شده است.



شکل ۵. تأثیر نوع تصاویر رادیولوژی بر روی زمان پاسخ‌دهی

نتایج نشان می‌دهد که معماری جدید توانسته است به‌سرعت بالاتری در مقایسه با معماری مرسوم سرویس‌دهنده/سرویس گیرنده دست یابد.

بحث

راه‌اندازی این سیستم با هدف عملکرد ساده در برقراری ارتباط مراکز تصویربرداری و مراکز درمانی انجام گرفت. در یک معماری انتشار- اشتراک عدم اطلاعات مشترکین از ناشرین حداقل وابستگی بین این دو ایجاد می‌کند که از ویژگی‌های بارز همراهی آزادانه[1] در نرم‌افزار است و باعث سادگی در پیاده‌سازی و تعامل کاربران با سامانه می‌شود. به‌عنوان‌مثال حتی اگر هر یک از مراکز تصویربرداری یا مراکز درمانی از دسترس خارج شوند و ارتباط شبکه آن‌ها قطع شود، کاربران این سیستم با مشکلی در تعامل با مراکز درمانی مواجه نمی‌شوند. این موضوع زمان نصب و راه‌اندازی را کاهش می‌دهد. بهره‌گیری از تکنیک رمزنگاری داده‌ها سبب انتقال امن داده‌ها بین طرفین گردید.

علاوه بر این استفاده از این مکانیزم باعث می‌شود تا ناشرین الزامی بر دریافت پاسخ برای داده‌های ارسال‌شده نداشته باشند و با افزایش تعداد مراکز تصویربرداری پتانسیل بهتری برای بهبود قابلیت مقیاس‌پذیری سیستم فراهم شود. از این نظر این سیستم مقیاس‌پذیری بهتری نسبت به سیستم‌های مبتنی بر وب دارد. لازم به ذکر است که سیستم‌هایی که مدیریت اطلاعات را تحت وب یا به‌صورت مشابه بر اساس تکنیک‌های مبتنی بر رایانش ابری انجام می‌دهند به دلیل حجم بالای ذخیره‌سازی اطلاعات، نیاز به مدیریت بالایی روی زیرساخت مورد نیاز بر این اقدام دارند (۱۷). به‌عنوان نمونه، کشاورزی و آقایی زاده (۱۸) روشی برای انتقال داده‌ها با استفاده از رایانش ابری برای انتقال تصاویر پزشکی مطرح کرده‌اند. البته این روش علاوه بر طراحی ویژه برای سرویس پکس[2] به ارتباط بین ابرهای خصوصی مراکز درمانی وابسته است. راهکار ارائه شده در این پژوهش در مقایسه با این مطالعات، با حذف این پیچیدگی‌ها بر ساده‌سازی روش انتقال و حذف وابستگی بین ناشرین تصاویر و دریافت‌کنندگان تصاویر

[1] Loosely coupled

[2] PACS

متمرکز است و با توجه به عدم ذخیره‌سازی دائمی اطلاعات راحت‌تر نگهداری و پشتیبانی می‌شود.

غربی و همکاران (۱۹) استفاده از یک سرویس نرم‌افزاری و یک واسط با نام Aneka را از پروتکل دایکام به واسط‌های وب مورد توجه قرار داده و روی امکان ایجاد فرآیندهای کاری مراکز درمانی متمرکز شده‌اند. در مقایسه با این مطالعه، راهکار ارائه شده در این مقاله با استفاده از معماری انتشار-اشتراک به‌سادگی قابلیت تبدیل به فرآیندهای کاری مراکز درمانی را دارد و پیاده‌سازی فرآیندهای کاری در قالب این معماری با پیچیدگی کمتری امکان‌پذیر است.

موتا و همکاران (۲۰) نیز روی ارائه یک معماری توزیع‌شده غیرمتمرکز به‌منظور به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات پرداخته‌اند. اما مطالعه آن‌ها نیز به دلیل وابستگی به زیرساخت پکس و وابستگی به زیرساخت ایمیل علاوه بر پیچیدگی مطالعات قبلی از مقیاس‌پذیری بالایی برخوردار نیست.

مطالعاتی نظیر یانگ و همکاران(۲۱) نیز به موضوع مقیاس‌پذیری بالا در انتقال تصاویر پرداخته و با بهره‌گیری از ابزارهای اشتراک فایل در مقیاس وسیع و توزیع‌شده نظیر هدوپ متمرکز شده‌اند و نرم‌افزاری (میان‌افزار) برای مدیریت اشتراک فایل در این سیستم ارائه کرده‌اند. در مقایسه با این مطالعه این روش علاوه بر نیاز به پشتیبانی یک سیستم پیچیده نظیر هدوپ به دلیل توزیع اطلاعات بین مراکز درمانی عملاً سرعت دسترسی به اطلاعات و بروز مشکلاتی نظیر قطعی شبکه بیشتر است.

این مطالعه محدودیت‌هایی داشت: تنها از ۵ سیستم جهت تست مقیاس‌پذیری سیستم استفاده شد. اگرچه سیستم به‌راحتی قابل بسط به استفاده از سیستم‌های بیشتر است ولی بهتر است مطالعات آتی با تعداد سیستم‌های بیشتری اجرا گردد. همچنین نتایج ارائه شده از محیط تنها یک مرکز داده ارائه شده است. تست سیستم در حالت توزیع‌شده و در فاصله‌های طولانی‌تر برای بررسی تأخیر سیستم توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

بهره‌گیری از زیرساخت‌های یکپارچه در مراکز درمانی ضمن ایجاد سهولت در دسترسی به اطلاعات می‌تواند کارایی و عملکرد این مراکز را نیز تحت تأثیر قرار دهد. در این مقاله با رویکرد ایجاد یک سرویس یکپارچه و همچنین در نظر داشتن اهداف دسترسی امن به داده‌ها، کاهش زمان نصب و راه‌اندازی و ایجاد استقلال و به‌تبع آن حذف مشکلات ناشی از قطع ارتباط بین ناشرین تصاویر پزشکی و مراکز درمانیِ استفاده‌کننده از این تصاویر، یک معماری انتشار-اشتراک ارائه شد. این معماری با انتشار تصاویر پزشکی بین مراکز درمانی بر اساس نیاز آن‌ها یک سیستم توزیع بهینه و مناسب را ایجاد می‌کند. نتایج نشان داد که این سیستم علاوه بر سرعت مناسب در انتقال داده‌ها به مراکز درمانی از مقیاس‌پذیری مناسبی نیز برخوردار است.

تضاد منافع

هیچ گونه تعارض منافع از سوی نویسندگان بیان نشده است.

منابع

1. Vidal FP, Bello F, Brodlie KW, John NW, Gould D, Phillips R, et al. Principles and Applications of Computer Graphics in Medicine. Computer Graphics Forum. 2006;25(1):113-37.
2. The DICOM Standard – Current Edition [Available from: https://www.dicomstandard.org/curren.
3. Czwoydzinski J, Eßeling R, Meier N, Heindel W, Lenzen H. xPIPE--Reception of DICOM Data from any Sender via the Internet. Rofo. 2015;187(5):380-4.

4. Mildenberger P, Kotter E, Riesmeier J, Onken M, Kauer T, Eichelberg M, et al. The DICOM-CD-Project of the German Radiology Association--an overview of the content and results of a pilot study in 2006. RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin. 2007;179(7):676-82.

5. Ahmad W, Ahmad U. Role of radiology in COVID-19 pandemic and post COVID-19 potential effects on radiology practices. Indian J Radiol Imaging. 2021;31(S 01):S196-S7.

6. Berkowitz SJ, Wei JL, Halabi S. Migrating to the Modern PACS: Challenges and Opportunities. RadioGraphics. 2018;38(6):1761-72.

7. Caffery LJ, Clunie D, Curiel-Lewandrowski C, Malvehy J, Soyer HP, Halpern AC. Transforming Dermatologic Imaging for the Digital Era: Metadata and Standards. Journal of Digital Imaging. 2018;31(4):568-77.

8. Dreyer KJ, Hirschhorn D, Thrall JH, PACS M. A guide to the digital revolution: Springer; 2006.

9. Genereaux BW, Dennison DK, Ho K, Horn R, Silver EL, O'Donnell K, et al. DICOMweb™: Background and Application of the Web Standard for Medical Imaging. Journal of Digital Imaging. 2018;31(3):321-6.

10. Esmaeilyfard R, Samanipour A, Paknahad M. A cloud-fog software architecture for dental CBCT dose monitoring using the DICOM structured report: Automated establishment of DRL. Physica Medica. 2021;89:147-50.

11. Eichelberg M, Kleber K, Kammerer M. Cybersecurity Challenges for PACS and Medical Imaging. Academic Radiology. 2020;27(8):1126-39.

12. Ranschaert ER, van Ooijen PMA. Sharing Imaging Data. In: van Ooijen PMA, editor. Basic Knowledge of Medical Imaging Informatics: Undergraduate Level and Level I. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 67-82.

13. Bruthans J. The Successful Usage of the DICOM Images Exchange System (ePACS) in the Czech Republic. Appl Clin Inform. 2020;11(01):104-11.

14. Jozić K, Frid N, Jović A, Mihajlović Ž. DICOM SIVR: A web architecture and platform for seamless DICOM image and volume rendering. SoftwareX. 2022;18:101063.

15. Jozić K, Jović A, Ž M, editors. Seamless Remote Rendering of DICOM Images. 2021 14th International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE); 2021 17-19 Sept. 2021.

16. DICOM Files [Internet]. Available from: https://www.osirix-viewer.com/resources/dicom-image-library/.

17. Lebre R, Silva LB, Costa C. A Cloud-Ready Architecture for Shared Medical Imaging Repository. Journal of Digital Imaging. 2020;33(6):1487-98.

18. Keshavarzi A, Aghaeizadeh R. Providing an advanced PACS service

for use in critical situations of trauma centers with a cloud computing approach (In Persian). Journal of Computer Science and Information Technology. 2017;16(1).

19. Gharbi N, Kirikova M, Bouzguenda L. Integrated Cloud-Based Services for Medical Workflow Systems. Applied Computer Systems. 2016;20(1):36-9.

20. Motta G, Araujo DAB, Lucena-Neto JR, Azevedo-Marques PM, Cordeiro SS, Araujo-Neto SA. Towards an Information Infrastructure for Medical Image Sharing. Journal of Digital Imaging. 2020;33(1):88-98.

21. Yang C-T, Chen L-T, Chou W-L, Wang K-C, editors. Implementation of a medical image file accessing system on cloud computing. 2010 13th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering; 2010: IEEE.

Cite this article as:
Esmaeilyfard R, Paknahad M. DICOM Data Transfer of Radiology Images based on Publish-Subscribe Software Architecture. Sadra Med Sci J 2022; 10(3): 257-266.