

doi:10.15199/48.2015.05.17

Wykorzystanie urządzeń mobilnych do prezentacji medycznych danych obrazowych na przykładzie przeglądarki danych DICOM

Streszczenie. Nowoczesne urządzenia mobilne, takie jak tablet czy smartfon, dysponują możliwościami graficznymi oraz mocą obliczeniową pozwalającą na ich różnorodne wykorzystanie w praktyce klinicznej. W niniejszej pracy, na przykładzie mobilnej przeglądarki danych medycznych DICOM, omówiono możliwości technologiczne tych urządzeń oraz sposób ich wykorzystania do wizualizacji medycznych danych obrazowych. Zaprojektowana przeglądarka działa pod kontrolą systemu Android i współpracuje ze szpitalnym systemem archiwizacji danych PACS.

Abstract. Modern mobile devices including tablets and smartphones have enough graphics and computing power to enable their successful usage in clinical practice. In this paper technological capabilities of such devices are examined and possibilities of their application for medical data visualization is discussed based on implementation details of mobile DICOM browser, which runs on Android and supports PACS the hospital archiving system. (The use of mobile devices to medical image data presentation on the example of DICOM data viewer).

Słowa kluczowe: wizualizacja danych, urządzenia mobilne, DICOM, PACS.

Keywords: data visualization, mobile device, DICOM, PACS.

Wstęp

Dostęp do danych pacjenta jest we współczesnej diagnostyce i leczeniu niezwykle istotny, zwłaszcza, że dostępnych danych jest bardzo dużo oraz mają one często kluczową wartość dla lekarza. Dlatego zasadne staje się badanie i rozwijanie wszelkich możliwych metod wspomaganie pracy lekarza, w tym również takich, których celem jest prezentacja medycznych danych obrazowych.

Jedną z nowszych metod wspierania pracy lekarza jest wykorzystanie możliwości obliczeniowych mobilnych urządzeń takich jak telefony typu smartfon czy tablety [1]. Urządzenia te są już z powodzeniem wykorzystywane przez lekarzy jako podręczne banki wiedzy, np. do przechowywania i wyszukiwania aktualnych informacji na temat leków [2], "kalkulatory" ułatwiające np. wyliczenia klasyfikacji nowotworów TNM, czy też do prezentacji historii leczenia zawartej w cyfrowej karcie pacjenta [3]. Ze względu na obserwowany w ostatnich latach ogromny postęp technologiczny, współczesne urządzenia mobilne mają coraz większe możliwości. Posiadają wystarczającą moc obliczeniową do przetwarzania dużych zbiorów danych, jakimi są medyczne dane obrazowe pochodzące np. z tomografii komputerowej czy rezonansu magnetycznego.

W niniejszej pracy przedstawione zostaną wyniki implementacji prototypu przeglądarki medycznych danych obrazowych DICOM (ang. Digital Imaging and Communications in Medicine), która może współpracować ze szpitalnym systemem archiwizacji danych PACS (ang. Picture Archiving and Communication System) [4-6]. Przeglądarka ta składa się z dwóch części: klienta danych uruchamianego na urządzeniu stacjonarnym, odpowiedzialnego za komunikację i pobieranie danych ze szpitalnego systemu archiwizacji danych PACS oraz programu do wizualizacji danych, pracującego na urządzeniu mobilnym z systemem Android [7]. Do budowy opisanego oprogramowania wykorzystano biblioteki i narzędzia programistyczne dostępne na zasadach otwartego kodu (ang. open source).

Obrazowe dane medyczne w standardzie DICOM

Międzynarodowy standard DICOM został opracowany w celu ujednoczenia metod komunikacji i wymiany informacji między urządzeniami generującymi i przetwarzającymi obrazowe dane medyczne [4]. Standard ten definiuje uniwersalny format zapisu obrazów medycznych, uzupełniony licznymi informacjami, które służą do opisu

oraz jednoznacznej identyfikacji i interpretacji obrazu. Dodatkowo, poza definicją formatu przechowywania danych, standard DICOM definiuje sposób komunikacji między urządzeniami, które razem mogą tworzyć rozbudowaną i jednocześnie rozproszoną sieć. DICOM stał się podstawą tworzenia szpitalnych systemów informatycznych, w tym systemów przechowywania danych biomedycznych PACS.

Struktura cyfrowych danych DICOM odzwierciedla rzeczywistą strukturę danych pacjentów [5]. Do podstawowych jednostek informacji można zaliczyć: informacje na temat pacjenta, rodzaju badania, serii wyników uzyskanych w trakcie badania oraz samych obrazów. Dane w formacie DICOM mogą być dostępne w postaci strumienia informacji przesyłanego przez sieć lub w postaci zbiorów plików zapisanych na nośnikach CD lub DVD. Niezależnie od użytego medium, w celu zapewnienia spójności danych, zawsze wraz z danymi obrazowymi przesyłane są informacje o pacjencie, badaniu i serii.

Możliwości urządzeń mobilnych

Moc obliczeniowa oraz konfiguracja sprzętowa współczesnych tabletów i telefonów typu smartfon zaczynają dorównywać możliwościom komputerów klasy PC sprzed kilku lat. Urządzenia mobilne coraz częściej dysponują wielordzeniowymi procesorami o architekturze ARM, taktowanymi częstotliwościami kilku GHz. Oprócz procesorów CPU, dostępne są potężne akceleratory grafiki oraz wysokiej jakości wyświetlacze.

Bardzo ważnym elementem urządzeń mobilnych jest wyświetlacz. Są to zazwyczaj wyświetlacze wykonane w technologii LCD, rzadziej AMOLED, o wysokiej rozdzielczości. Standardem w wydajnych urządzeniach jest rozdzielczość FullHD (1920x1080 pikseli). W urządzeniach o znacznej przekątnej spotyka się wyświetlacze o rozdzielczości np. 2560x1600 pikseli. Wyświetlacze dostępne są w dwóch podstawowych proporcjach boków: 4:3 oraz 16:9 lub 16:10. Pierwszy typ charakteryzuje się proporcjami zbliżonymi do standardowej kartki papieru, drugi zaś przypomina ekran komputera lub telewizora HD. Zakres spotykanych przekątnych ekranu waha się od 4.5" do nawet 7" w przypadkach smartfonów oraz od 7" do 13" dla tabletów. W zależności od rozmiarów ekranu i jego rozdzielczości, uzyskiwana jest różna liczba pikseli na cal. Wielkość ta decyduje o subiektywnej jakości obrazu. Przy 300 pikselach na cal uzyskuje się obraz o jakości wydruku, w którym pojedyncze piksele nie są dostrzegane. Taką

gęstość pikseli uzyskuje się przy rozdzielczości FullHD na matrycy 6-7". Wysoka rozdzielczość ekranu, poza zapewnieniem bardzo dobrej jakości obrazu, jest wyzwaniem dla procesora oraz akceleratorów grafiki. Znaczna wydajność procesora graficznego wymagana jest zwłaszcza przy generowaniu grafiki 3D.

Bardzo ważnym uzupełnieniem ekranu jest zintegrowany z nim wielopunktowy, pojemnościowy czujnik dotyku, który umożliwia intuicyjne sterowanie urządzeniem poprzez dotykanie palcem lub specjalnym rysikiem (np. stukanie, przesuwanie) elementów graficznego interfejsu użytkownika oraz wykonywanie gestów (np. "szczypanie" ekranu).

Poważnym ograniczeniem urządzeń mobilnych w porównaniu z urządzeniami stacjonarnymi jest rozmiar pamięci operacyjnej RAM. W urządzeniach budżetowych często rozmiar pamięci nie przekracza 1 GB, standardem w wydajnych urządzeniach jest 2GB, zaś w urządzeniach najbardziej rozbudowanych może sięgać 3GB. Uzupełnieniem pamięci operacyjnej RAM jest pamięć przeznaczona do instalacji oprogramowania i przechowywania danych. Zazwyczaj jest to pamięć typu flash, której rozmiar może się wahać od 4GB do 32GB. Większość urządzeń mobilnych posiada złącze na karty pamięci typu SD (ang. Secure Digital), dzięki którym możliwe jest rozszerzenie dostępnej pamięci na dane.

Urządzenia mobilne dysponują dużym zestawem czujników, które wykorzystywane są do poszerzenia możliwości tych urządzeń. Do podstawowych należą: akcelerometr, który umożliwia automatyczne "obracanie" ekranu, kompas oraz czujnik intensywności oświetlenia, automatycznie dostosowujący jasność ekranu. Również dostępne zazwyczaj dwie kamery dają różne nowe możliwości, np. skanowanie kodów kreskowych, prowadzenie wideokonferencji lub uzupełnianie obrazu rzeczywistego o obrazy wirtualne (ang. Augmented Reality). Urządzenia mobilne posiadają też rozbudowane możliwości bezprzewodowej komunikacji, które zazwyczaj obejmują takie interfejsy jak WiFi, Bluetooth, NFC czy szybką transmisję GSM w standardzie LTE.

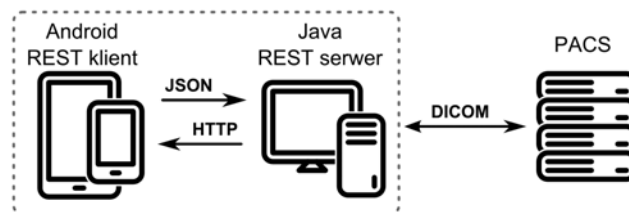
Jak widać, urządzenia mobilne typu tablet lub smartfon są technologicznie skomplikowanymi urządzeniami, które jednocześnie są powszechnie używanymi "gadżetami" a ich wykorzystanie może być bardzo różne.

Pomimo tak znacznych możliwości sprzętowych, rozwój dedykowanego na platformy mobilne oprogramowania nadal jest ograniczony. Przenoszenie doświadczeń w tworzeniu oprogramowania z urządzeń stacjonarnych [5,6] na mobilne jest utrudnione. Głównym czynnikiem ograniczającym te możliwości są nadal małe zasoby sprzętowe (np. dostępna pamięć RAM), różnice w architekturze procesorów oraz możliwości stosowanych systemów operacyjnych, który są znaczne ograniczone w stosunku do rozwiązań stacjonarnych.

Koncepcja opracowanego oprogramowania

W przypadku prezentowanej aplikacji, kluczowym problemem przy implementacji przeglądarki okazał się dostęp do danych [7]. W aplikacjach przeznaczonych do pracy na komputerach klasy PC, z systemem Windows, OSX lub Linux, do obsługi danych DICOM stosuje się dedykowane biblioteki np. DCMTK, GDCM [5,8,9]. Podejście to nie mogło jednak zostać zastosowane w aplikacji mobilnej, ponieważ biblioteki te nie mogły być poprawnie dołączone do aplikacji uruchamianej w systemie Android. Z tego też powodu zdecydowano o podzieleniu przeglądarki na dwie części (rys.1). Pierwsza część odpowiedzialna jest za obsługę komunikacji sieciowej ze szpitalnym systemem archiwizacji PACS i wykorzystuje

bibliotekę dcm4chee [10]. Została ona przystosowana do pracy na urządzeniu stacjonarnym. Drugą część przeglądarki jest aplikacją kliencką, uruchamianą bezpośrednio na urządzeniu mobilnym. Aplikacja ta wykorzystuje dostępne możliwości i narzędzia platformy Android. Komunikacja między tymi modułami przebiega zgodnie z wzorcem architektury oprogramowania REST (ang. Representational State Transfer) [11].



Rys. 1. Schemat komunikacji w opracowanej aplikacji do przeglądania danych medycznych DICOM, współpracującej ze szpitalnym systemem archiwizacji danych PACS

Zastosowana technologia REST jest abstrakcyjną koncepcją architektury budowania serwisów internetowych oraz tworzących je stron www, w której implementacje klientów i serwerów są od siebie odseparowane. Architektura REST określa zasady, dzięki którym dane mogą być przesyłane standardowym interfejsem np. przez protokół HTTP. Interfejs usług internetowych, wykorzystujących architekturę REST, charakteryzuje się tym, że parametry wywołania danej usługi umieszczane są w ścieżce adresu URL. Każdy taki adres reprezentuje pewien obiekt, a metody HTTP muszą być wywoływane jawnie i w sposób, który jest zgodny z definicją protokołu.

Głównymi cechami architektury REST są: separacja klientów od serwerów (serwer kontroluje zapytania URL), bezstanowość (serwer nie przechowuje sesji klienta), zdolność do przechowywania odpowiedzi (np. w pamięci podręcznej typu cache), warstwowość (nie jest wymagane bezpośrednie połączenie) oraz jednolity interfejs (stały zestaw metod oraz formatów danych, np. JSON).

Jako format wymiany danych między aplikacją kliencką, uruchamianą w systemie Android, a serwerem dostarczającym dane medyczne zastosowano format JSON (ang. JavaScript Object Notation). Jest to tekstowy format danych, niezależny od konkretnego języka programowania, który charakteryzuje się małym dodatkowym narzutem na wielkość transferu danych.

Środowiskiem do opracowania części serwerowej aplikacji była platforma programistyczna GRails obsługująca platformę Java. Umożliwiło to wykorzystanie bibliotek dcm4chee, a także znacznie uprościło tworzenie aplikacji po stronie serwera.

Wykorzystanie serwisu webowego typu REST niesie ze sobą wiele korzyści. Jedną z podstawowych jest to, że opracowane oprogramowanie ma strukturę modułową i może być wykorzystane niezależnie od siebie. Część serwerowa zaimplementowana w języku Java, może zostać uruchomiona praktycznie w dowolnym systemie operacyjnym. Dodatkowo, chcąc dostosować serwer dostarczający dane do współdziałania z urządzeniami mobilnymi, opartymi na różnych systemach jak np. iOS czy WindowsPhone, nie trzeba każdorazowo implementować pełnej funkcjonalności przeglądarki. Wystarczy zapewnić odpowiedni interfejs graficzny na poziomie urządzenia klienckiego, umożliwiający użytkownikowi wprowadzanie i odczytywanie parametrów oraz zapewnić przesył tych parametrów do serwera. Sam moduł serwisu danych jest przenośny (niezależny od sprzętu i systemu operacyjnego), tak jak inne programy pisane w języku Java.

Takie podejście do projektowania aplikacji mobilnych jest obecnie powszechnie stosowane. Większość logiki aplikacji umieszczona po stronie serwera sprawia, iż aplikacje bardzo łatwo można dostosować do działania we wszystkich dostępnych systemach operacyjnych obsługujących urządzenia mobilne. Aplikacje zbudowane według takiego paradygmatu cechują się znaczną uniwersalnością i umożliwiają dotarcie do większej liczby odbiorców.

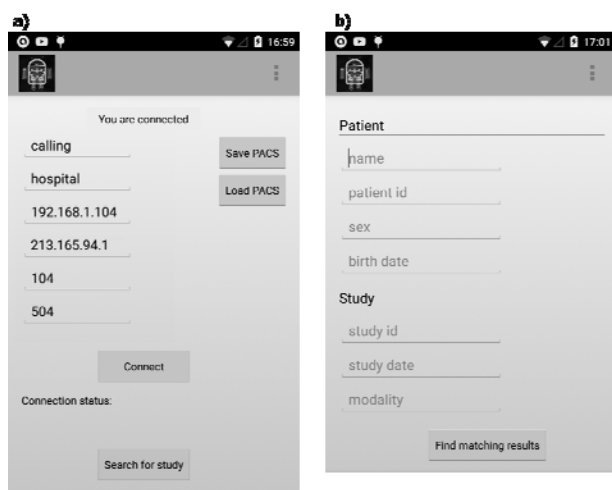
Ze względu na poufność przesyłanych danych medycznych prezentowanych w przeglądarce, niezbędne jest zapewnienie ich bezpieczeństwa. Osiągnięto to poprzez autoryzowany dostęp do serwera danych (logowanie z hasłem). Szyfrowanie połączenia zapewnia wymaganą poufność transmisji. Ponieważ przekazywane do wizualizacji dane nie są zapisywane na urządzeniu mobilnym, w przypadku kradzieży lub zgubienia takiego urządzenia, wrażliwe informacje pacjentów są bezpieczne.

Komunikacja z PACS

Szpitalne systemy archiwizacji danych PACS umożliwiają komunikację w standardzie DICOM z różnymi urządzeniami, zarówno generującymi dane (np. CT), jak również służącymi do ich prezentacji (np. drukarki klisz lub stacje dostępne dla lekarzy). Sieciowy transfer danych, jaki oferuje standard DICOM, oparty jest na architekturze klient-serwer (SCU-SCP) i wykorzystuje do transmisji danych protokół TCP/IP [4].

W celu ustanowienia połączenia między opracowanym serwerem danych a systemem PACS (rys.1) niezbędne jest zainicjowanie połączenia TCP/IP, następnie negocjacja warunków połączenia (np. ustalenie pełnionych względem siebie ról oraz możliwych akcji), a na koniec transmisja danych [4,5]. Moduł odpowiedzialny za komunikację z systemem PACS oraz przesyłanie konkretnych danych do urządzenia mobilnego wykorzystuje potencjał biblioteki dcm4chee [10].

Do nawiązywania połączeń z serwisami PACS zaimplementowano w prezentowanej przeglądarce interfejs przedstawiony na rysunku 2a. Interfejs ten wymaga podania następujących parametrów: calling AE title - tytułu aplikacji klienta, called AE title - tytułu aplikacji usługodawcy oraz adresów IP i numerów portu serwera systemu PACS i serwera danych.



Rys. 2. Interfejs przeglądarki umożliwiający: a) konfigurację połączeń oraz b) wyszukiwanie danych w systemie PACS

Po nawiązaniu połączenia ze szpitalnym systemem archiwizacji danych PACS, możliwe jest wysłanie zapytania o dane pasujące do wprowadzonych w formularzu

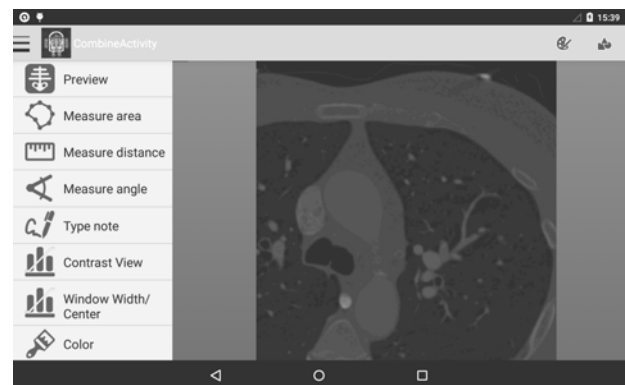
informacji (rys.2b). W wyniku otrzymuje się listę pasujących danych. Po wybraniu konkretnego badania, dane DICOM pacjenta zostają przesłane z systemu PACS do serwera danych (rys.1). Następnie wyodrębnione dane obrazowe i metadane przesyłane są do modułu aplikacji mobilnej.

Moduł sterowania i wizualizacji danych

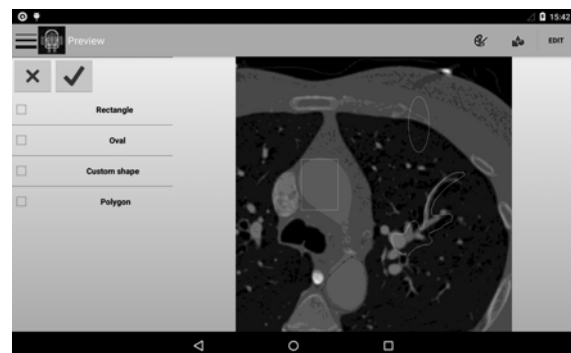
Opracowana aplikacja klienta, przeznaczona jest do uruchamiania na urządzeniach z systemem Android. Jest ona odpowiedzialna za funkcjonalność związaną z wizualizacją i przetwarzaniem danych medycznych pobranych z serwera. System Android ma duże możliwości graficzne, które dostępne są dla programisty w pakiecie android.graphics. Zostały one wykorzystane do opracowania następujących funkcjonalności przeglądarki:

- połączenie z serwerem danych (rys.2a),
- wykonanie zapytania do systemu PACS (rys.2b),
- pobranie konkretnych danych medycznych,
- podgląd obrazów medycznych (rys.3),
- zaznaczanie struktur poprzez nanoszenie różnorodnych, gotowych kształtów (rys.4),
- dodawanie komentarzy tekstowych (np. opisów),
- pomiar pola powierzchni naniesionych konturów (rys.5),
- pomiar odległości między wskazanymi punktami,
- pomiar kąta (rys.6),
- zmiana parametrów wizualizacji (rys.7),
- zmiana sposobu mapowania wartości danych medycznych na kolory,
- tworzenie płaszczyzn przekroji MPR wertykalnych i horyzontalnych, ułatwiających podgląd i analizę struktur anatomicznych pacjenta (rys.8),
- prezentacja szczegółowych informacji DICOM (rys.9).

Poza pakietem android.graphics, do wizualizacji histogramu danych wykorzystano API Android GraphView [12]. Przeglądarka powstała dla Android API w wersji SDK 19 (Android 4.4, KitKat), zaś minimalna wspierana wersja to SDK 16 (Android 4.1, JellyBean).



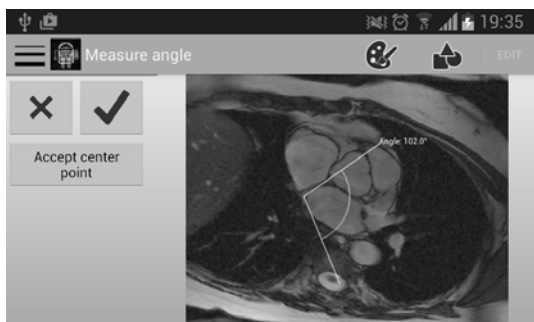
Rys. 3. Interfejs przeglądarki danych DICOM po wczytaniu danych



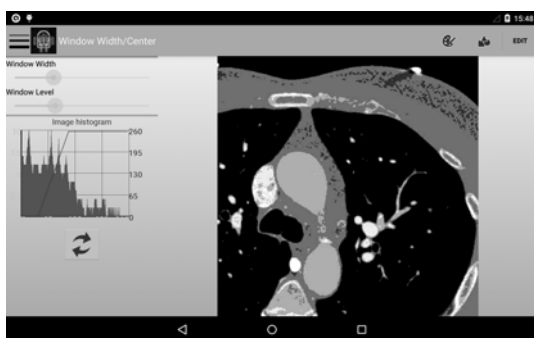
Rys. 4. Interfejs przeglądarki: przykład naniesionych opisów graficznych



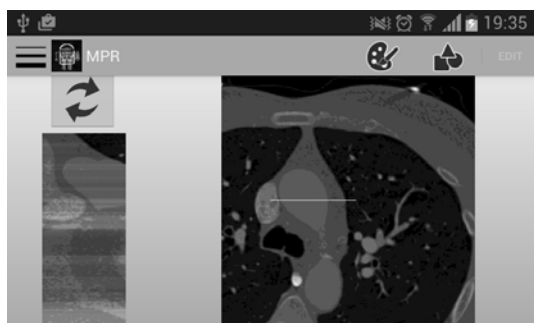
Rys. 5. Przykład pomiaru pola powierzchni



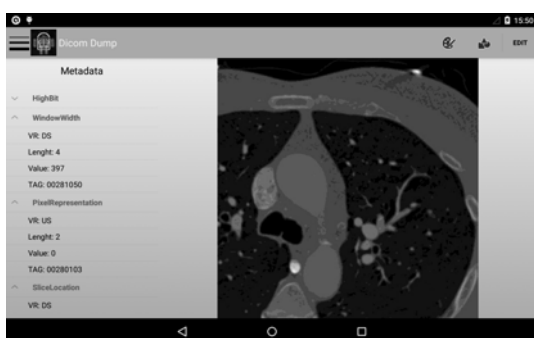
Rys. 6. Przykład pomiaru kąta



Rys. 7. Zmiana parametrów wizualizacji



Rys. 8. Przykład wygenerowanego przekroju MPR



Rys. 9. Interfejs przeglądarki: zdekodowane szczegółowe informacje DICOM dołączone do danych obrazowych

Podsumowanie

W pracy przedstawiono przykład wykorzystania urządzeń mobilnych, typu tablet lub smartfon, do przeglądania medycznych danych obrazowych pozyskiwanych z systemu PACS w formacie DICOM. Opracowana aplikacja składa się z dwóch części: serwera danych, którego zadaniem jest komunikacja ze szpitalnym systemem archiwizacji danych PACS, oraz klienta uruchamianego na urządzeniu mobilnym, którego zadaniem jest sterowanie i wizualizacja danych medycznych.

Serwer dostarczający dane do wizualizacji został napisany w języku Java, dzięki temu jest on niezależny od systemu operacyjnego. Podstawowe zadania serwera, czyli dostęp do danych oraz przygotowanie ich do wizualizacji, wymagają sporych mocy obliczeniowych oraz pamięci operacyjnej. Dodatkowo, gotowe narzędzia programistyczne, niezbędne do poprawnej komunikacji z systemem PACS, nie są dostępne na platformach mobilnych. Z tych powodów bezpośredni dostęp do danych medycznych DICOM nie mógł być zintegrowany z wizualizacją. Rozdzielenie tych funkcji umożliwiło stworzenie "lekkiej" mobilnej przeglądarki, która może być uruchomiona nawet na mało wydajnym urządzeniu mobilnym. Z sukcesem przetestowano działanie prototypu przeglądarki na kilku telefonach i tabletach z systemem Android. Ze względu na zaproponowaną dwuwarstwową i modułową budowę przeglądarki, możliwe jest opracowanie klienta dla dowolnego innego systemu operacyjnego, zarówno mobilnego jak i stacjonarnego.

Opracowana aplikacja klienta oraz serwer danych spełniają podstawowe wymagania, jakie stawiane są przed przeglądarką danych medycznych. Dalsze prace nad aplikacją będą się skupiały na rozbudowie i udoskonaleniu obecnej funkcjonalności oraz implementacji algorytmów przestrzennej wizualizacji danych.

Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową Katedry Metrologii i Elektroniki AGH.

LITERATURA

- [1] West D., How mobile devices are transforming healthcare, *Issues in technology innovation* 18.1 (2012): 1-11.
- [2] Medycyna Praktyczna, Aplikacja eMPendium Lekki, http://www.mp.pl/empendium/empendium_lekki.
- [3] Torrieri M., EHRs Go Mobile, *Physicians Practice*, (2012)
- [4] Pianyh Oleg S., Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) - A Practical Introduction and Survival Guide. *Springer Publishing Company, Incorporated*, 2008.
- [5] Kozakiewicz P., Piątek A., Socha M. Aplikacja do wizualizacji danych DICOM z komunikacją z serwerem PACS. *Pomiary, Automatyka, Kontrola* 58 (2012): 319-322.
- [6] Duplaga M.; Bułat J.; Leszczuk M.; Socha M.; Romaniak P., Turcza P., The BRONCHOVID - Computer System Supporting Bronchoscopy Laboratory, *Information Technologies in Biomedicine*, Springer Berlin Heidelberg, (2010), 511-522.
- [7] Pielka K., Przeglądarka plików DICOM na platformę Android, Praca magisterska. Materiały niepublikowane (2015).
- [8] Eichelberg M., Onken M., Thiel A.: OFFIS DCM4TK - DICOM toolkit. <http://dicom.offis.de/dcm4tk.php.en>, (2014).
- [9] Mathieu Malaterre and al., GDCM Reference Manual. <http://gdcm.sourceforge.net/gdcm.pdf>, (2011).
- [10] DCM4CHEE: <http://www.dcm4che.org> (2015).
- [11] Fielding, Roy Thomas, Chapter 5: Representational State Transfer (REST). Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures (Ph.D.), *University of California, Irvine*, (2000).
- [12] Android Graphview, <http://www.android-graphview.org> (2015).

Autorzy: dr inż. Mirosław Socha, E-mail: socha@agh.edu.pl, mgr inż. Karolina Pielka, E-mail: kpielka@gmail.com, dr inż. Wacław Gawędzki, E-mail: waga@agh.edu.pl, dr inż. Paweł Turcza, E-mail: turcza@agh.edu.pl, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Metrologii i Elektroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.