

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

System pisania testów na platformie Android

A test writing system on the Android platform

AUTOR:
Filip Malinowski

PROWADZĄCY PRACĘ:
doc dr inż. Witold Paluszyński

OCENA PRACY:

Spis treści

1	Analiza problemu	5
1.1	Systemy pisania testów w czasie rzeczywistym	5
1.2	Środowisko tworzenia aplikacji na Android	5
1.2.1	Android Studio	6
1.2.2	Środowiska multiplatformowe	6
1.3	Komunikacja internetowa	7
1.3.1	Protokoły	7
1.3.2	Serwer HTTP	8
1.3.3	Serwer aplikacji	10
1.3.4	Dedykowany serwer sieciowy	12
2	Specyfikacja	13
2.1	Oryginalna specyfikacja	13
2.1.1	Aplikacja mobilna	13
2.1.2	Aplikacja serwerowa	13
2.1.3	Dodatkowe programy	14
2.2	Dodatki i zmiany	14
2.2.1	Aplikacja mobilna	14
2.2.2	Aplikacja serwerowa	14
2.2.3	Dodatkowe programy	14
3	Implementacja	15
3.1	Elementy aplikacji	15
3.1.1	Logiczne elementy interfejsu	15
3.1.2	Interfejs aplikacji	15
3.1.3	Interaktywne elementy na widokach	17
3.1.4	Powiadomienia	20
3.1.5	Komunikacja internetowa	20
3.1.6	Szyfrowanie plików	21
3.1.7	Zapisywanie plików na telefonie	21
3.1.8	Skaner QR	21
3.1.9	Baza danych	21
3.1.10	Odrzucanie połączeń w trakcie testu	22
3.1.11	Walidacja aplikacji	22
3.2	Programy dodatkowe	22
3.2.1	Generator konfiguracji	22
3.2.2	Deszyfrator	23
3.2.3	Parser logów	23

4	Praktyczne wykorzystanie systemu	25
4.1	Wdrożenie aplikacji	25
4.2	Statystyki pisanie testów	25
5	Podsumowanie	29
	Bibliografia	29

Wstęp

Tematem pracy jest stworzenie systemu na platformę Android umożliwiającego pisanie testów na wykładach akademickich i zautomatyzowane przetworzenie wyników testów. W skład systemu wchodzi: aplikacja na system Android oraz aplikacja serwerowa. Aplikacje na systemach Android mają łączyć się z serwerem i przysyłać informacje o wykonanych testach, a serwer ma przetwarzać otrzymane informacje i je magazynować. System ma być niezawodny pozwalając na bezpieczne wykonywanie testów. Interfejs aplikacji na system Android ma być czytelny, a dostęp do danych zapisywanych przez serwer maksymalnie uproszczony.

Rozdział 1

Analiza problemu

1.1 Systemy pisania testów w czasie rzeczywistym

Na rynku istnieją już aplikacje częściowo odpowiadające tematowi pracy inżynierskiej. Ich funkcjonalność spełnia pewne aspekty pożądanego systemu jakimi są: wybór odpowiedzi do pytań na ekranie telefonu, przesyłanie odpowiedzi do serwera oraz pobieranie informacji z serwera na aplikację. Najlepszym przykładem jest aplikacja nazywająca się Quizwanie [AB(2016)]. Aplikacja ta pozwala na pobieranie i wyświetlenie pytań z serwera, wyświetlenie możliwych odpowiedzi jako przycisków dla użytkownika oraz wysłanie odpowiedzi do serwera i zweryfikowanie ich. Quizwanie jest aplikacją nastawioną na współzawodnictwo pomiędzy użytkownikami, którzy wspólnie odpowiadają na te same pytania zdobywając przy tym punkty. Kod źródłowy tej aplikacji jest zamknięty.

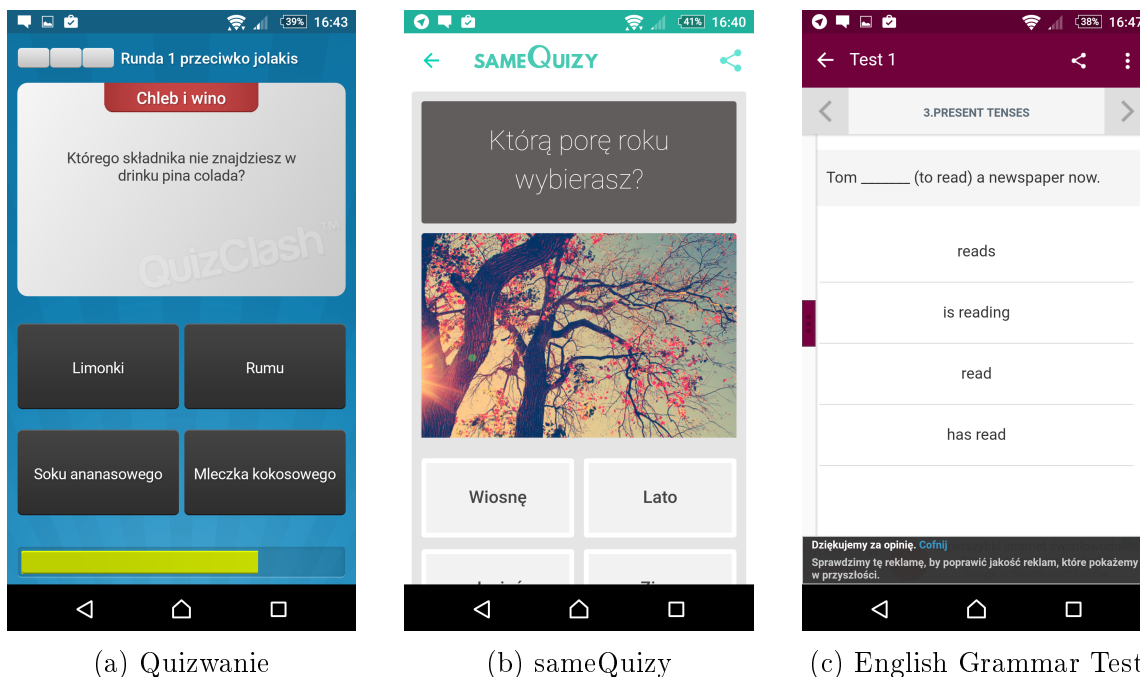
Inne aplikacje, które można wymienić to English Grammar Test [SevenLynx(2016)] lub też sameQuizy [Filing(2016)]. English Grammar Test jest aplikacją bardzo rozbudowaną i ukierunkowaną na prostą naukę języka angielskiego. Schematy odpowiadania na pytania, wybór odpowiedzi oraz poruszanie się po menu aplikacji są zbliżone do tych, jakie występują w aplikacji Quizwanie. W sameQuizy użytkownik, tak jak w poprzednich aplikacjach, w prosty sposób poprzez naciskanie przycisków wybiera odpowiedzi na zadane na ekranie aplikacji pytania. Kod źródłowy obu tych aplikacji jest zamknięty.

Każda z trzech aplikacji wyróżnia się jednak innym podejściem przy tworzeniu interfejsu użytkownika. English Grammar Test ma prosty i czytelny wygląd. Interfejs aplikacji sameQuizy oprócz wyświetlania pytań i propozycji odpowiedzi, urozmaicony jest wieloma obrazami przyciągającymi wzrok. Interfejs aplikacji Quizwanie ma interfejs pośredni pomiędzy tym jaki można zobaczyć w English Grammar Test i sameQuizy.

Interfejs odpowiada zastosowaniu aplikacji. Aplikacje ukierunkowane na rozrywkę mają kolorowy, zwracający uwagę wygląd. Aplikacje ukierunkowane na naukę mają interfejs prosty i czytelny, a te przeznaczone do gier i rywalizacji mają interfejs bardziej urozmaicony, ale w stopniu takim, który nie pogarsza czytelności treści wyświetlanych na ekranie.

1.2 Środowisko tworzenia aplikacji na Android

Najbardziej popularne środowiska, w jakich można tworzyć aplikacje mobilne to Android Studio oraz Qt. Oba oferują duże wsparcie ze strony społeczności programistycznej oraz szeroki zestaw narzędzi. Oprócz nich istnieją także Apache Cordova, Xamarin, i inne środowiska pozwalające na tworzenie aplikacji multiplatformowych.



Rysunek 1.1: Przykładowe pytania wraz z odpowiedziami w analizowanych aplikacjach

1.2.1 Android Studio

Środowisko to jest oparte na IntelliJ IDEA. Dedykowane jest tworzeniu aplikacji na systemy Android. Do budowania aplikacji wykorzystywany jest Gradle. Gradle jest to otwarty zautomatyzowany system budowania aplikacji pozwalający też na dowolne dostosowanie procesu budowania aplikacji do potrzeb użytkownika. Biblioteki mogą być dodawane ręcznie lub też ze zdalnego Maven Central Repository. Wbudowanych jest wiele narzędzi do testowania pisanych aplikacji, integrowania ich z repozytoriami Git. Środowisko to pozwala także na wprowadzanie zmian w uruchomionej aplikacji bez konieczności jej ponownego budowania. W tym środowisku można tworzyć aplikacje w języku Java ale też w C++ za pomocą Android NDK. Interfejs aplikacji tworzony jest w XML. Aplikacje stworzone w tym środowisku nie będą przenośne na inne systemy operacyjne niż Android. Jest to jednak najpopularniejsze środowisko do tworzenia aplikacji Android z najszerszym wsparciem wśród społeczności użytkowników.

1.2.2 Środowiska multiplatformowe

- **Qt Creator**

Można na nim tworzyć aplikacje na systemy Symbian, Maemo, MeeGo oraz Android. Bazowo nie jest to środowisko tak rozbudowane jak Android Studio, pozwala jednak na integrację wielu dodatkowych narzędzi. Pozwala na pisanie aplikacji w takich językach jak Python, Ruby, Perl, Java i C++. Interfejs tworzony jest w oparciu o QML, języku opartym na JavaScript, składnią zbliżonym do XML. Aplikacje stworzone w tym środowisku są łatwo przenośne na inne systemy operacyjne. Posiada większość odpowiedników klas występujących w Android Studio, potrzebnych do pisania aplikacji na systemy operacyjne Android.

- **Apache Cordova**

Za pomocą tego środowiska można tworzyć aplikacje na systemy Android, iOS,

Windows Phone, BlackBerry i Ubuntu. Pisanie aplikacji w tym środowisku opiera się na CSS3, HTML5 oraz JavaScript.

- **Appcelerator Titanium**

Pozwala na tworzenie aplikacji na systemy Android, iOS oraz Windows Phone. Aplikacje w tym środowisku tworzone są za pomocą Titanium code, wywodzącym się z JavaScript. Pozwala na dołączanie kodu napisanego w Java, Objective C lub Swift.

- **Xamarin**

Środowisko pozwalające na pisanie aplikacji Android, iOS oraz Windows Phone. Środowisko to jest częścią Microsoft Visual Studio. Pozwala na pisanie aplikacji w języku C#.

- **Corona SDK**

Środowisko ukierunkowane na pisanie mobilnych gier 2D. Pozwala także na pisanie aplikacji mobilnych. W tym środowisku można tworzyć aplikacje na systemy Android, iOS, Windows Phone, Kindle oraz systemy Windows oraz macOS (OS X) na komputery stacjonarne. Aplikacje za pomocą tego środowiska pisane są w języku Lua.

- **Cocos2d-x**

Pozwala na pisanie aplikacji na systemy Android, iOS, Linux, macOS, Windows oraz Windows Phone. Do tworzenia aplikacji w tym środowisku wykorzystuje się C++, Lua i JavaScript.

- **Unity**

Środowisko dedykowane do pisania gier mobilnych 2D oraz 3D. Aplikacje w tym środowisku pisane są w języku Java wraz z Android SDK.

- **Sencha**

W tym środowisku można tworzyć aplikacje na systemy Android, iOS oraz Windows Phone. Pozwala na tworzenie aplikacji w języku JavaScript.

1.3 Komunikacja internetowa

Komunikacja internetowa jest kluczowym zagadnieniem występującym w tej pracy. Z racji tego, że użytkownikami systemu są prowadzący kursów i studenci, a zaliczenie kursów przez studentów w dużej mierze zależy od poprawności działania komunikacji sieciowej, musi ona być zrealizowana w sposób bezpieczny i niezawodny.

1.3.1 Protokoły

Przy tworzeniu systemu gdzie występuje komunikacja serwer-klient przez Internet jest wiele możliwych protokołów, które można użyć. Są to np. TCP, UDP, POP, SMTP, HTTP czy FTP [Lew et al.(1999)Lew, Spanier, Stevenson, Ford, and Systems]. Wybór protokołu wpływa znacząco na sposób komunikacji pomiędzy klientem a serwerem. Każdy z protokołów różni się sposobem przesyłania danych oraz ich bezpieczeństwem. Protokoły bezpołączeniowe jak UDP nie pozwalają na bezpieczne przesyłanie danych, ponieważ nie ma informacji o ich poprawnym dotarciu do odbiorcy. Protokoły jak TCP, HTTP są protokołami połączeniowymi. W ich przypadku nadawca otrzymuje informację o poprawności

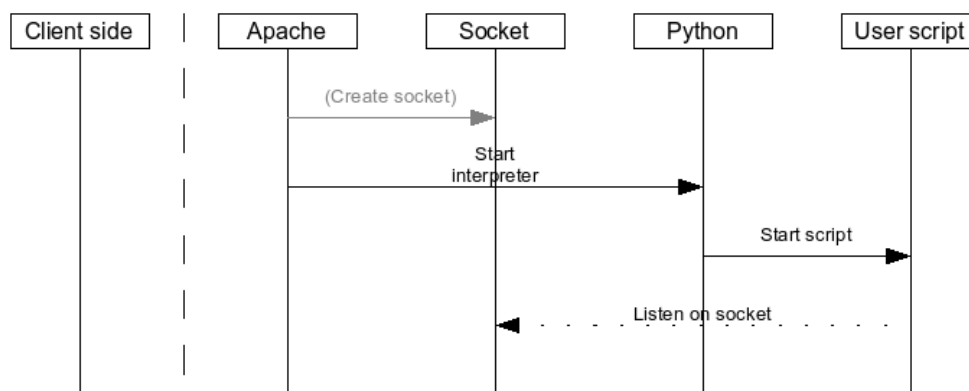
przesyłu danych do odbiorcy. Każdy z protokołów domyślnie też korzysta z różnych portów do przesyłu danych. HTTP standardowo korzysta z portu 80, POP z kolei korzysta z portu 110, a FTP z portów 20 i 21.

1.3.2 Serwer HTTP

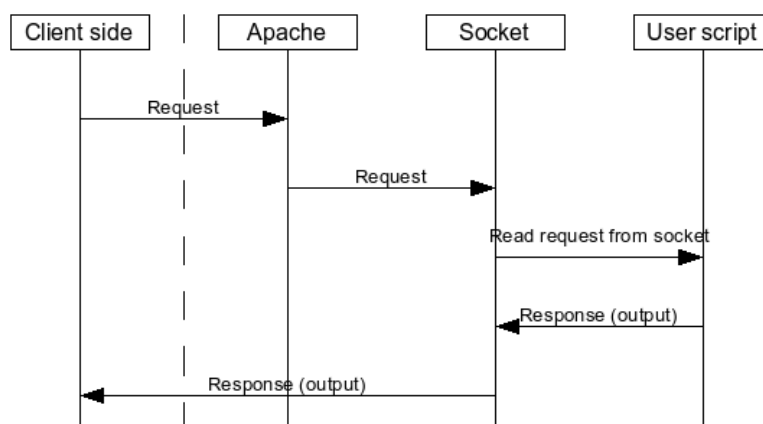
Do obsługi zapytań aplikacji mobilnych można wykorzystać serwer HTTP połączony z FastCGI [Boender(2009)] lub CGI. Najpopularniejsze aplikacje [W3Techs(2016)] to między innymi: Apache, nginx, Microsoft-IIS, OpenLiteSpeed. Każdy z serwerów obsługuje FastCGI (FCGI) oraz CGI pozwalające na napisanie programu przyjmującego i przetwarzającego przychodzące zapytania sieciowe.

Pierwszym rodzajem serwera jaki można wykorzystać to serwer HTTP połączony z serwerem FCGI. Proces napisany z pomocą biblioteki do FCGI łączy się z serwerem FCGI, do którego przekierowywane są zapytania przyjmowane przez serwer HTTP. Programy FCGI istnieją cały czas jako wątki, oczekują na zapytania, obsługują je i po ich obsłużeniu oczekują na następne zapytania. Ten interfejs jest kompatybilny z wieloma językami programowania, np. C++, Python, Java. W ten sposób można stworzyć mało rozbudowany ale szybki system przetwarzający zapytania sieciowe.

FastCGI (Startup)



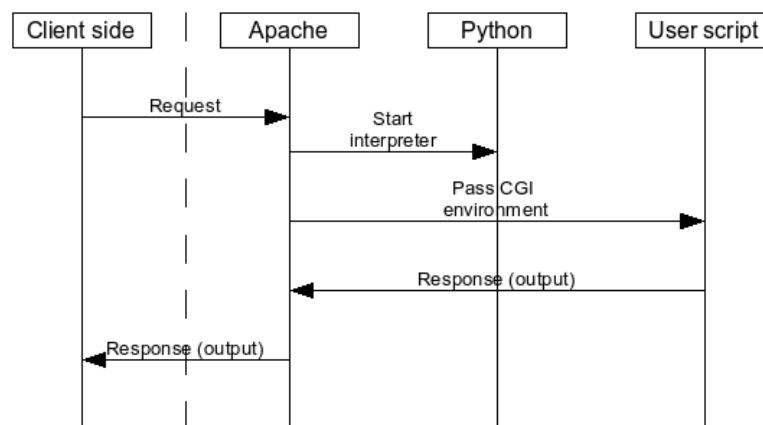
FastCGI (Request handling)



Rysunek 1.2: Schemat działania FCGI ze skryptem do generowania odpowiedzi napisanym w Python. [Boender(2009)]

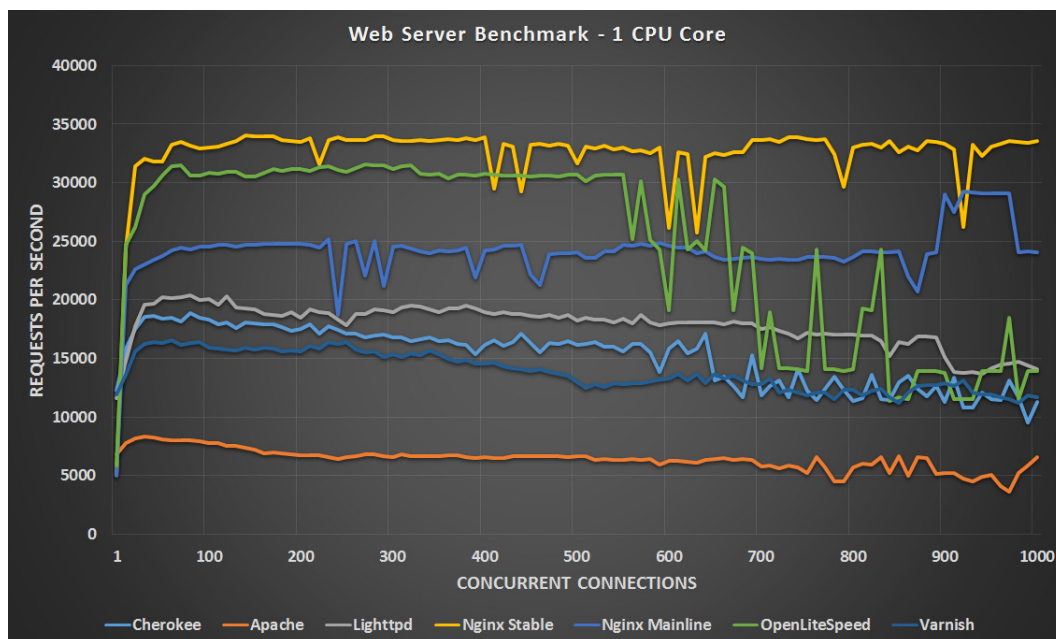
Drugim rodzajem serwera jaki można wykorzystać to Serwer HTTP z CGI. W tym przypadku przy każdym zapytaniu uruchomi się interpreter skryptu mający wygenerować odpowiedź do zapytania. Po wygenerowaniu odpowiedzi na zapytanie interpreter kończy swoje działanie.

CGI

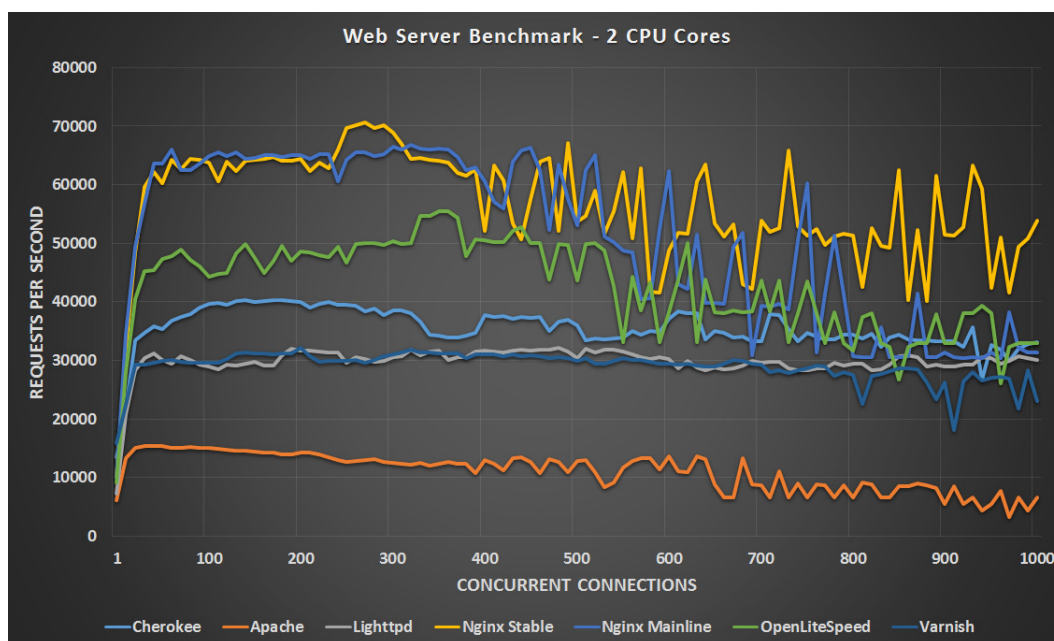


Rysunek 1.3: Schemat działania CGI ze skryptem do generowania odpowiedzi napisanym w Python. [Boender(2009)]

Wymienione serwery jednak różnią się między sobą wydajnością obsługi zapytań. Na podstawie Linux Web Server Performance Benchmark [Jarrod(2016)] można stwierdzić, że nginx oferuje największą szybkość obsługi zapytań.



Rysunek 1.4: Ilość obsługiwanych zapytań przy danej ilości otwartych połączeń na 1 rdzeń CPU. [Jarrod(2016)]

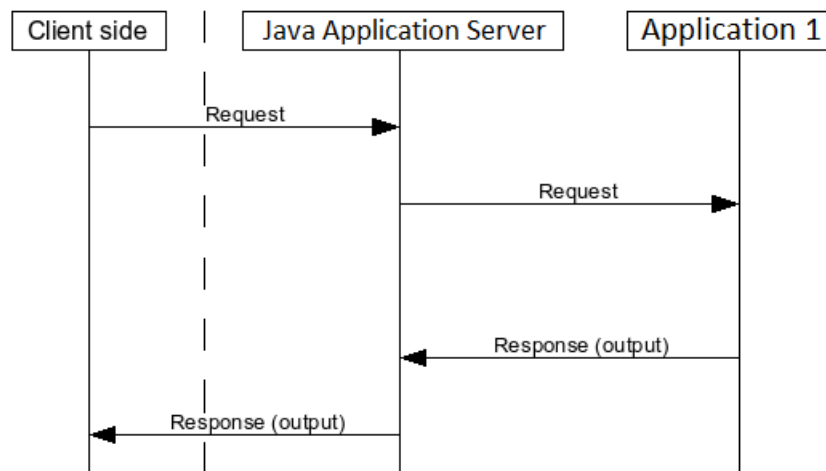


Rysunek 1.5: Ilość obsługiwanych zapytań przy danej ilości otwartych połączeń na 2 rdzenie CPU. [Jarrod(2016)]

1.3.3 Serwer aplikacji

Drugim rodzajem systemu jaki można wykorzystać to serwer aplikacji działający na protokole HTTP. Najpopularniejsze aplikacje [Salnikov-Tarnowski(2016)] to: Tomcat, WildFly (dawny JBoss) oraz Jetty. Za ich pomocą można napisać aplikację np. w języku Java lub C++, która później służy do obsługi zapytań sieciowych. Jest to system modułarny. Wykorzystując już istniejący serwer aplikacji obsługujący aplikacje w konkretnej konfiguracji serwera działające na danym adresie i porcie, można dodać kolejną aplikację rozszerzając w ten sposób funkcjonalność serwera. Dzięki temu można stworzyć zaawansowane i rozbudowane serwery sieciowe.

Java Application Server (Request handling)



Rysunek 1.6: Schemat działania serwera aplikacji z 1 aplikacją.

Porównanie wyżej wymienionych serwerów aplikacji można znaleźć w artykule Lightweight Java servers and developer view on the App Server [Kharkovski(2015)].

	IBM WAS Liberty 8.5.5.7	IBM WAS full 8.5.5.6	Tomcat 8.0.26	TomEE+ 1.7.2 ⁴	Jetty 9.3.2	Glass Fish 4.1	Web Logic 12.1.3 ³	WildFly 9.0.1	JBoss EAP 6.4
Server stop+start ⁵	4.9 sec	34.1 sec	5.5 sec	11.2 sec	3.1 sec	9.4 sec		10.2 sec	9.2 sec
App redeploy ⁵	1.2 sec	6.1 sec	2.3 sec	2.5 sec	2.2 sec	2.5 sec		1.2 sec	1.2 sec
RAM ⁵	59 MB	175 MB	125 MB	236 MB	102 MB	376 MB		269 MB	430 MB
Download size ¹	11 to 94 MB	3 GB	10 MB	48 MB	10 MB	103 MB		127 MB	158 MB
Size installed ¹	15-123 MB	2.6 GB	17 MB	52 MB	12 MB	214 MB		159 MB	174 MB
Size per instance	0.5 MB	40 MB	0.4 MB	0.4 MB	0.4 MB	96 MB		1.5 MB	1.2 MB
Dev. Install ⁶	5 sec	30 min	2 sec	3 sec	1 sec	5 sec		5 sec	5 sec
# of config files	1+	100+	8+	12+	20+	14+		16+	16+
Dynamic config ²	99%	80%	20%	20%	20%	20%	80%	60%	60%
IDE	Eclipse, IntelliJ IDEA, NetBeans are supported with some minor differences								
Configuration Editor	Eclipse UI	Browser UI	None	None	None	Browser UI	Browser UI	Browser UI	Browser UI
DevOps	Maven, Jenkins, Ant, Chef and other DevOps tools are supported with some minor differences								
Java EE	Java EE 7	Java EE 6+	JSP/Servlet	Java EE 6 Web Prof.	JSP/Servlet	Java EE 7	Java EE 6	Java EE 7	Java EE 6
Free Dev. License	IBM	IBM	Apache 2.0	Apache 2.0	EPL 1.0	CDDL 1.1	Oracle	LGPL 2.1	LGPL 2.1
Free Dev. Support	IBM ⁷	IBM ⁷	Self	Self	Self	Self	\$	Self	Red Hat ⁸

Rysunek 1.7: Ogólne porównanie popularnych serwerów aplikacji. [Kharkovski(2015)]

1.3.4 Dedykowany serwer sieciowy

Trzecim rodzajem systemu jaki można wykorzystać do obsługi zapytań sieciowych to jest dedykowany serwer sieciowy. Jego główną zaletą jest to, że stworzony w ten sposób system może realizować wszystkie wymagania użytkownika. Tworzenie go w porównaniu do dwóch wymienionych wyżej systemów jest najbardziej pracochłonne ponieważ wszystkie elementy systemu należy napisać od podstaw. Tego rodzaju serwer nie ma ograniczeń co do tego w jakim języku programowania miałby powstać. Wszystko zależy od specyfikacji podanej przez użytkownika.

Rozdział 2

Specyfikacja

2.1 Oryginalna specyfikacja

2.1.1 Aplikacja mobilna

Podstawowe wymagania jakie aplikacja ma spełniać są następujące:

- zgodność z systemami Android w wersji 2.2 - 7.0
- komunikacja z serwerem przez HTTP i przesyłanie odpowiedzi studenta na bieżąco w czasie rzeczywistym
- szyfrowanie odpowiedzi z testu i przechowywanie ich w pamięci wewnętrznej telefonu
- bezpieczny sposób przechowywania odpowiedzi na telefonie
- obsługa testów o różnej liczbie pytań
- zabezpieczenie przed manipulacjami użytkownika:
 - korzystanie z innych aplikacji
 - podszywanie się przez inną aplikację
- odczytywanie krytycznych parametrów testów + kodów QR wyświetlanych na ekranie, w celu uniknięcia błędnie wprowadzonych danych testów (co może skutkować błędnym wyznaczeniem numeru grupy)
- logiczny i przyjazny dla użytkownika interfejs

2.1.2 Aplikacja serwerowa

Wymagania aplikacji serwerowej są następujące:

- komunikacja przez HTTP
- duża wydajność przetwarzania zapytań sieciowych
- przetwarzanie i zapisywanie zapytań przychodzących z aplikacji mobilnych
- maksymalnie uproszczony dostęp do zarejestrowanych wyników, w celu ich przetworzenia ogólnie dostępnymi narzędziami

2.1.3 Dodatkowe programy

- deszyfrator plików z odpowiedziami tworzonych przez aplikację mobilną

2.2 Dodatki i zmiany

2.2.1 Aplikacja mobilna

W trakcie implementacji i testowania systemu były wprowadzane zmiany w specyfikacji aplikacji mobilnej. Następujące zmiany to:

- komunikacja z serwerem poprzez HTTPS
- minimalna wersja obsługiwanego systemu Android zmieniona na 4.0

Dodatki to:

- odrzucanie połączeń przychodzących do użytkownika w trakcie testu
- weryfikacja parametrów testu otrzymywanych z serwera
- trwałe przechowywanie parametrów użytkownika takich jak imię, nazwisko, itd., w aplikacji
- wyświetlanie informacji dla użytkownika o procesach zachodzących w aplikacji
- nadanie aplikacji cyfrowego podpisu
- obfuskacja skompilowanego kodu źródłowego aplikacji
- testowanie osiągalności serwera HTTP
- weryfikacja aplikacji za pomocą SafetyNet
- automatyczna konfiguracja parametrów testu na podstawie danych otrzymanych z serwera

2.2.2 Aplikacja serwerowa

Dodatki w specyfikacji aplikacji serwerowej wyglądają następująco:

- walidacja aplikacji mobilnych poprzez SafetyNet
- przesyłanie konfiguracji testu do aplikacji mobilnej
- sprawdzenie studenta pobierającego konfigurację testu:
 - czy zapisany na kurs
 - czy już wcześniej nie zarejestrowano się na innym miejscu
 - czy inny student nie zgłosił się na tym samym miejscu

2.2.3 Dodatkowe programy

- konfigurator tworzący pliki konfiguracyjne dla aplikacji mobilnych
- deszyfrator plików zapisywanych przez aplikację mobilną na telefonie

Rozdział 3

Implementacja

Biorąc pod uwagę przeprowadzoną analizę problemu zdecydowano, że system do rozwiązywania testów musi być napisany od podstaw. Nie znaleziono przykładów otwartych systemów na tyle użytecznych, żeby można było użyć ich przy tworzeniu systemu. Systemy takie jak Quizwanie mają zamknięty kod i można się nimi sugerować jedynie w kwestii tworzenia interfejsu użytkownika.

3.1 Elementy aplikacji

3.1.1 Logiczne elementy interfejsu

Interfejs aplikacji można podzielić na jego logiczne elementy. Te elementy realizują podstawową funkcjonalność aplikacji. Są to:

- główny ekran startowy + obliczanie nr grupy i czytanie kodów QR
- dane permanentne wydzielone, ustawiane na innym ekranie, i pamiętane w bazie danych
- dodawanie pytań, odpowiadanie na nie i przesuwanie pomiędzy pytaniami

Na podstawie tych elementów stworzony został interfejs aplikacji spełniający wyżej wymienione logiczne elementy interfejsu.

3.1.2 Interfejs aplikacji

Wygląd aplikacji stanowi ważny element aplikacji. W początkowych fazach projektu rozmieszczenie elementów na ekranie telefonu komórkowego jak też ich estetyka wielokrotnie była zmieniana. Potrzebne było wypracowanie przejrzystego oraz przyjaznego dla studenta interfejsu aplikacji. W trakcie tworzenia aplikacji zauważono, że istotnym elementem jest zachowanie kompatybilności z różnymi wersjami systemu Android realizując jednolite i przewidywalne zachowanie się interfejsu. Na przykład nie można było zastosować kolorowania przycisków korzystając z metody `setColorFilter` obecnej we wszystkich wersjach systemu od Android 4.0 do Android 7.0. Efekt wywołania tej metody w systemach Android 4.0 do 4.4 był inny od efektu uzyskiwanego w systemach Android 5.0 i wyższych. Powodowało to brak kompatybilności pomiędzy tymi wersjami.

Widoki jakie zostały zaimplementowane w aplikacji to:

- Widok główny

Za jego pomocą użytkownik może wprowadzić swoje miejsce i rząd w jakim się znajduje, wektor wag służący do wyliczenia grupy na teście oraz kod testu. Na tym widoku można uruchomić również skaner kodów QR do automatycznego pobrania wektora wag i kodu testu oraz wyliczenia grupy na teście. Trzy dolne przyciski służą do wyjścia z aplikacji, ręcznego wyliczenia numeru grupy oraz przejścia do testu. Z tego widoku można również otworzyć menu, z którego można dostać się do widoku ustawień i widoku informacji.

- Widok ustawień

Tutaj użytkownik może wprowadzić i zapisać w aplikacji swoje dane takie jak: imię, nazwisko, numer indeksu oraz nazwa przedmiotu. Opcjonalnie może wprowadzić inny adres serwera, na który aplikacja będzie przysyłać odpowiedzi użytkownika.

(a) Menu główne

(b) Ustawienia

Rysunek 3.1: Przykładowo skonfigurowane widoki menu głównego i ustawień

- Widok konfigurowania testu

Tutaj użytkownik jest informowany o przebiegu konfiguracji testu. Aplikacja sprawdza osiągalność serwera, do którego wysyła odpowiedzi oraz pobiera plik konfiguracyjny zawierający takie dane jak: minimalna i maksymalna wersja aplikacji dopuszczona do testu oraz klucz do szyfrowania danych w plikach testu przechowywanych na telefonie użytkownika. Następnie porównuje dopuszczalną wersję aplikacji z aktualną wersją oraz zapisuje klucz szyfrowania.

- Widok testu

W tym miejscu wyświetlany jest zestaw zakładek, po którym użytkownik może się poruszać i wchodzić w interakcje. UI użytkownika pozwala na przesuwanie ekranu w celu wyświetlenia innych pytań. Początkowo wyświetlana jest tylko jedna zakładka. Na zakładce pytania znajduje się: nr grupy użytkownika, nr pytania, przyciski:

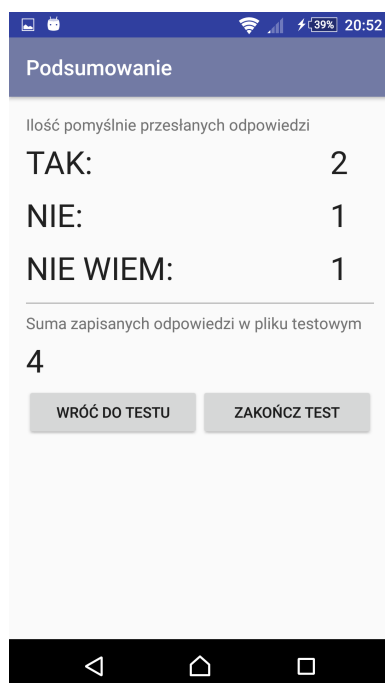
tak, nie, nie wiem do wysłania odpowiedzi, przyciski do dodawania pytań oraz do podsumowania testu. Na dole zakładki wyświetlany jest unikalny identyfikator sesji wygenerowany dla aktualnej sesji testowej otwartej na telefonie. Dodanie pytania wymusza przejście do następnego pytania.

- Widok podsumowania

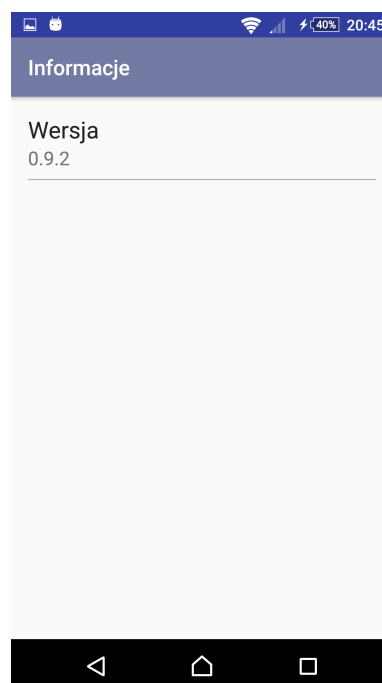
Tutaj wyświetlana jest ilość poprawnie przesłanych odpowiedzi "tak", "nie" oraz "nie wiem" do serwera, oraz ilość odpowiedzi zapisanych w pliku testowym. W razie różnicy w odpowiedziach przesłanych do serwera, a zapisanych w pliku aplikacja wyświetla odpowiednie ostrzeżenie sugerujące użytkownikowi powrót do testu i ponowne przesłanie odpowiedzi. Na ekranie podsumowania wyświetlany jest przycisk pozwalający powrót do testu oraz przycisk kończący test powodujący powrót do menu głównego aplikacji.

- Widok informacji

W tym widoku użytkownik może się dowiedzieć z jakiej wersji aplikacji korzysta.



(a) Podsumowanie testu

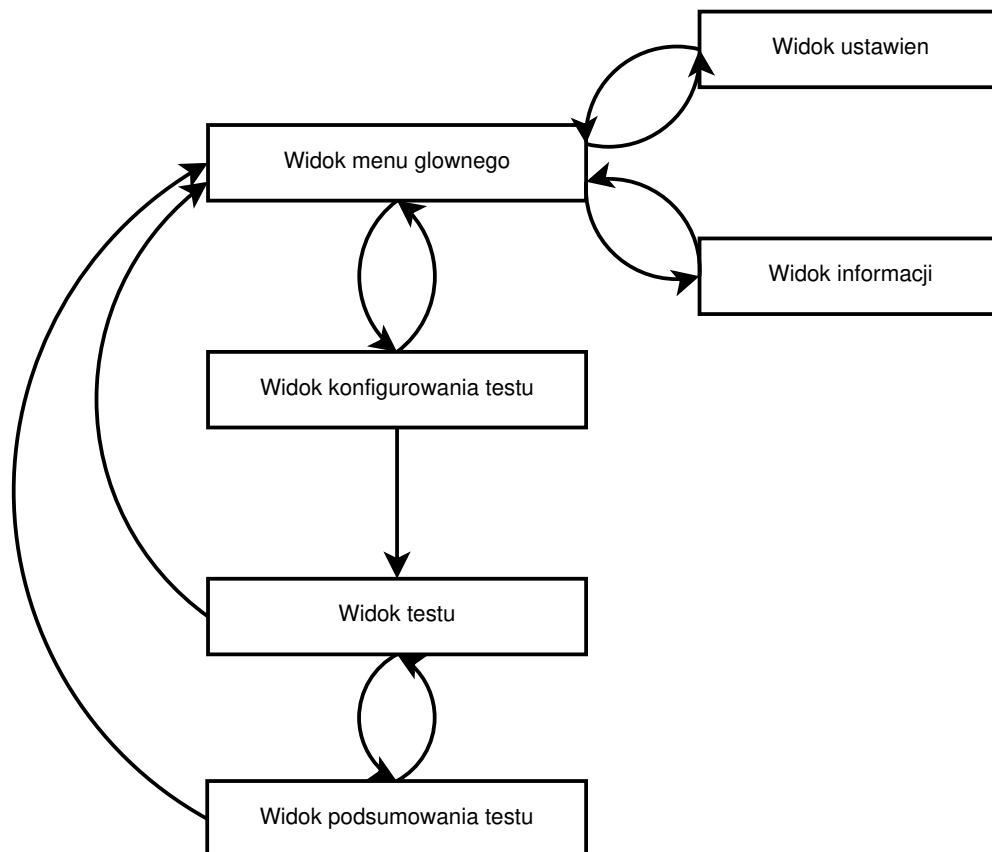


(b) Informacje

Rysunek 3.2: Możliwe informacje wyświetlane na podsumowaniu i widoku informacji

3.1.3 Interaktywne elementy na widokach

Rozwijane listy zostały utworzone w widoku ustawień i widoku głównym. W widoku ustawień po kliknięciu na pole do edycji nazwy testu otwiera się okienko z przesuwalną listą, z której można wybrać nazwę kursu. W widoku głównym taka sama wizualnie lista wyświetla propozycje ID testu wygenerowane na podstawie nazwy kursu.

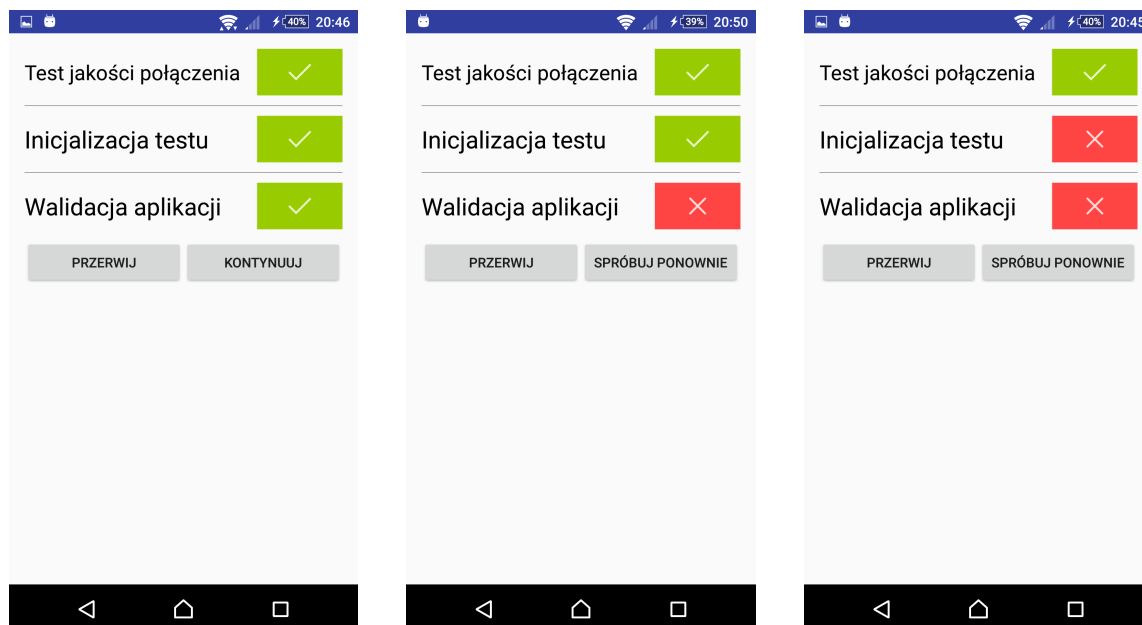


Rysunek 3.3: Zależności pomiędzy widokami informujące o tym jak użytkownik może się po nich poruszać

Zmiennokształtne przyciski służą do sygnalizowania asynchronicznych operacji zachodzących w trakcie konfiguracji i weryfikacji aplikacji. Za podstawę służy Circular Progress Button [Dmytro(2014)], który został umieszczony na widoku ustawień. Przycisk ten w aplikacji zmienia swój kolor oraz wygląd sygnalizując:

- bezczynność - niebieski pusty przycisk
- przetwarzanie operacji - wirujące kółko
- powodzenie przetwarzania operacji - zielony przycisk z checkmark
- niepowodzenie przetwarzania operacji - czerwony przycisk

Sygnalizowanie bezczynności zostało początkowo użyte dla jednej nieaktywnej funkcji, którą była walidacja aplikacji. Zielony kolor sygnalizuje powodzenie testowego połączenia z serwerem, poprawne pobranie pliku konfiguracyjnego oraz walidację klucza szyfrowania i dopuszczalny zakres wersji aplikacji. Czerwony kolor sygnalizuje niepowodzenie wyżej wymienionych operacji. Wirujące kółko trwa tak długo jak te asynchronicznie wykonywane operacje nie zakończą swojego działania.



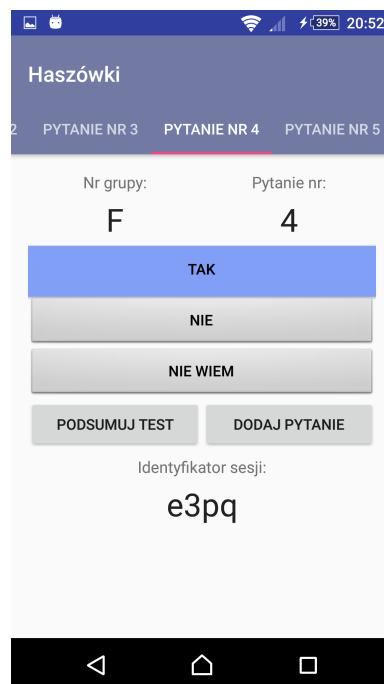
(a) Walidacja przeszła poprawnie (b) Niepoprawna wersja lub klucz (c) Brak pliku konfiguracyjnego na serwerze

Rysunek 3.4: Przykładowe wyniki etapu konfiguracji

Przyciski zmieniające kolor – umieszczone są na kartach z odpowiedziami w aplikacji. Sygnalizują swoimi kolorami stan przetwarzania odpowiedzi użytkownika. Biały przycisk informuje o braku wybranej do tej pory odpowiedzi. Szary przycisk sygnalizuje poprawnie zapisaną odpowiedź do pliku testowego. Niebieski przycisk sygnalizuje poprawnie wysłaną odpowiedź na serwer. Jeżeli operacja zapisywania do pliku się nie powiedzie to przycisk pozostaje biały. Jeżeli operacja wysyłania do serwera się nie powiedzie to przycisk pozostaje szary. Użytkownik wtedy wie, że jego aktualna odpowiedź przechowywana jest jedynie lokalnie.



(a) Wybrana odpowiedź "tak"



(b) Brak wybranej odpowiedzi

Rysunek 3.5: Widok testu

3.1.4 Powiadomienia

Istotnym elementem aplikacji okazały się być powiadomienia pozwalające na zrozumienie użytkownikowi zdarzeń występujących w aplikacji. Dzięki wypracowaniu zestawu chmurek oraz monitów użytkownik jest na przykład informowany o:

- wprowadzeniu nr indeksu o niepoprawnej długości,
- nie wprowadzeniu swojego imienia, nazwiska, kursu, indeksu,
- wprowadzeniu niepoprawnego wektora wag (równego 0),
- nie wprowadzeniu swojego miejsca i rzędu,
- braku dostępu do sieci,
- braku łączności z serwerem,
- niedotarciu do serwera danych odpowiedzi, itd.

3.1.5 Komunikacja internetowa

Z tego powodu, że w niezabezpieczonej sieci WiFi Politechniki Wrocławskiej odblokowane są jedynie porty służące do obsługi poczty i protokołu HTTP to do komunikacji internetowej wykorzystano protokół HTTP. Odpowiedzi są wysyłane na zasadzie pobierania nagłówka pliku konfiguracyjnego XML z odpowiedziami umieszczonymi w query string. Kod otrzymany po wykonaniu zapytania jest następnie interpretowany, a jego wartość

decyduje o powiadomieniu użytkownika o poprawnym lub niepoprawnym wysłaniu odpowiedzi do serwera.

Po stronie serwera wybrano najprostszy model przetwarzania danych, który jednocześnie spełnia postawione systemowi założenia. Wszystkie informacje o przesłanych odpowiedziach są zapisywane w logu serwera. Log następnie jest przetwarzany za pomocą skryptów i ogólnodostępnych narzędzi dzięki czemu odczytywane z niego są informacje o przebiegu testów wszystkich użytkowników.

3.1.6 Szyfrowanie plików

Początkowo pliki były szyfrowane algorytmem DES z kluczem przechowywanym w aplikacji. Było to jednak rozwiązanie niebezpieczne, ponieważ klucz szyfrowania można było uzyskać po zdekompilowaniu aplikacji. Pierwszym ulepszeniem zaimplementowanym w aplikacji było zastosowanie metody "security by obscurity", gdzie klucz szyfrowania zmieniał się w trakcie działania programu. W ten sposób sprawa jego uzyskania została utrudniona. Następnie w aplikacji zaimplementowano pobieranie dokumentu XML z ustawieniami testu. W tym dokumencie znajdował się klucz szyfrowania wykorzystywany później w algorytmie DES. W dalszym etapie wykorzystano szyfrowanie algorytmem RSA, którym zastąpiono algorytm DES, a klucz w dokumencie XML został zamieniony na 4096 bitowy klucz publiczny algorytmu RSA.

3.1.7 Zapisywanie plików na telefonie

Po szyfrowaniu odpowiedzi aplikacja musi je zapisać w pamięci telefonu w pliku tekstowym. Android nie umożliwia w prosty sposób pisanie strumieniem bitowym do pliku. Zapisywanie i czytanie z plików opiera się na zapisywaniu i czytaniu stringów. Pojawiła się więc potrzeba zastosowania kodowania transportowego po to, żeby w trakcie operacji zapisu i odczytu dane nie mogły ulec uszkodzeniu. Wykorzystać do tego można base64, base16 (Hex) lub też kodowanie będące jednobajtowym kodowaniem znaków jak np. ISO-8859-1. Dzięki zastosowaniu jednego z powyższych metod kodowania bajtów można w bezpieczny sposób zapisywać i odczytywać ciągi bajtów będące zakodowanymi odpowiedziami.

3.1.8 Skaner QR

W aplikacji wykorzystano również skaner kodów QR. Wykorzystano do tego bibliotekę zxing (Zebra Crossing) [Ftylitakis(2016)]. Pozwala ona nie tylko na skanowanie kodów QR ale również kodów kreskowych, kodów Aztec i innych. Skaner skanuje kod QR wyświetlany na ekranie przez rzutnik, automatycznie zapisując w aplikacji kodu testu i wektor wag. Po operacji skanowania wymusza wyliczenie nowego numeru grupy. Ułatwia to pracę z aplikacją potencjalnemu użytkownikowi oraz pozwala na zmniejszenie prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez użytkownika przy wyliczaniu grupy na teście.

3.1.9 Baza danych

Do długotrwałego przechowywania danych w aplikacji wykorzystano bazę danych MySQL. W tym celu stworzono klasę imitującą bazę danych MySQL oraz klasę imitującą interfejs dostępowy do tej klasy. Interfejs został następnie wykorzystany do zapisywania

informacji zawartych w widoku ustawień. Baza danych dodatkowo służy jako narzędzie do wymiany danych między widokami aplikacji. Baza danych służy do przechowywania danych użytkownika takich jak: imię, nazwisko, numer indeksu oraz inne parametry właściwe dla aktualnej sesji testu. Przy tworzeniu bazy danych oparto się na przykładzie opisanym na portalu Vogella [Vogel(2016)].

3.1.10 Odrzucanie połączeń w trakcie testu

W trakcie testowania aplikacji na grupie studentów pojawiła się potrzeba automatycznego odrzucania przychodzących połączeń telefonicznych. W tym celu stworzono klasę na bazie wbudowanej `BroadcastReceiver`, która to odrzuca wszystkie przychodzące połączenia jeśli użytkownik jest w trakcie pisania testu. Do odrzucania połączeń wykorzystano kod z portalu Stack Overflow [Larsen(2011)].

3.1.11 Walidacja aplikacji

W trakcie tworzenia aplikacji zaistniała potrzeba sprawdzenia czy aplikacja nie jest podrobiona. Aplikacja po skompilowaniu jest podpisywana cyfrowo, a każde jej rozpakowanie powoduje utratę podpisu cyfrowego. Dodatkowo w trakcie działania serwer ma sprawdzać autentyczność klienta. Schemat działania walidacji wygląda następująco:

- serwer generuje i wysyła klucz do klienta (aplikacji mobilnej)
- aplikacja żąda weryfikacji z Google Play Services przesyłając w żądaniu klucz wygenerowany na serwerze
- Android SafetyNet sprawdza czy oprogramowanie systemu klienta nie jest zmodyfikowane i przechodzi przez Compatibility Test Suite
- klient otrzymuje podpisaną cyfrowo odpowiedź (atestację) informującą o pozytywnej lub negatywnej weryfikacji (weryfikowana jest suma kontrolna aplikacji oraz jej podpis cyfrowy)
- atestacja jest przesyłana do serwera, a wraz z nią klucz oraz podpis cyfrowy
- serwer sprawdza podpis cyfrowy oraz klucz, następnie przesyła atestację do Google Play Services
- Google Play Services informuje serwer o tym czy atestacja jest autentyczna

3.2 Programy dodatkowe

3.2.1 Generator konfiguracji

Do tworzenia plików konfiguracyjnych napisany został konfigurator w języku Java. Pozwala na uruchomienie się tylko w linii poleceń. W parametrach wywołania tego programu podaje się kod testu, minimalną wersję aplikacji oraz maksymalną wersję aplikacji dopuszczoną do testu. Program generuje dwa pliki. Pierwszy jest dokumentem XML zawierającym klucz publiczny RSA plus dodatkowe parametry testu przeznaczone dla aplikacji Android. Drugi plik zawiera klucz prywatny RSA służący do rozszyfrowywania odpowiedzi zaszyfrowanych wcześniej kluczem publicznym.

3.2.2 Deszyfrator

Deszyfrator również został napisany w języku Java i umożliwia uruchomienie się jedynie w linii poleceń. Początkowa wersja deszyfratora korzystała z algorytmu DES, najpierw ze stałym kluczem zapisanym w aplikacji, potem z kluczem odczytywanym z pliku. Deszyfrowanie odbywało się za pomocą klucza symetrycznego. Ostatecznie stosuje algorytm RSA, a klucz prywatny do rozszyfrowywania pobiera z pliku. Korzysta przy tym z szyfrowania asymetrycznego.

3.2.3 Parser logów

Do przetwarzania logów serwera Apache wykorzystano skrypt napisany w języku AWK. Skanuje on logi serwera Apache w poszukiwaniu zarejestrowanych zapytań przysłanych z aplikacji mobilnych i umożliwia zapisanie ich w formacie użytecznym dla zarządcy systemu. Skrypt został napisany przez Promotora dr Witolda Paluszyńskiego.

Rozdział 4

Praktyczne wykorzystanie systemu

System został pomyślnie wykorzystany na Wydziale Mechanicznym (W-10), kierunku Automatyce i Robotyce na kursie Systemy Czasu Rzeczywistego i Sieci Komputerowe (SCRSK). Średnio z aplikacji korzystało około 90 osób na każdym z siedmiu wykonanych testów. Ponadto aplikacja została wykorzystana na testach na Wydziale Elektroniki (W-4), kierunku Automatyce i Robotyce na kursie SCR Systemy Operacyjne. Te testy także zakończyły się sukcesem.

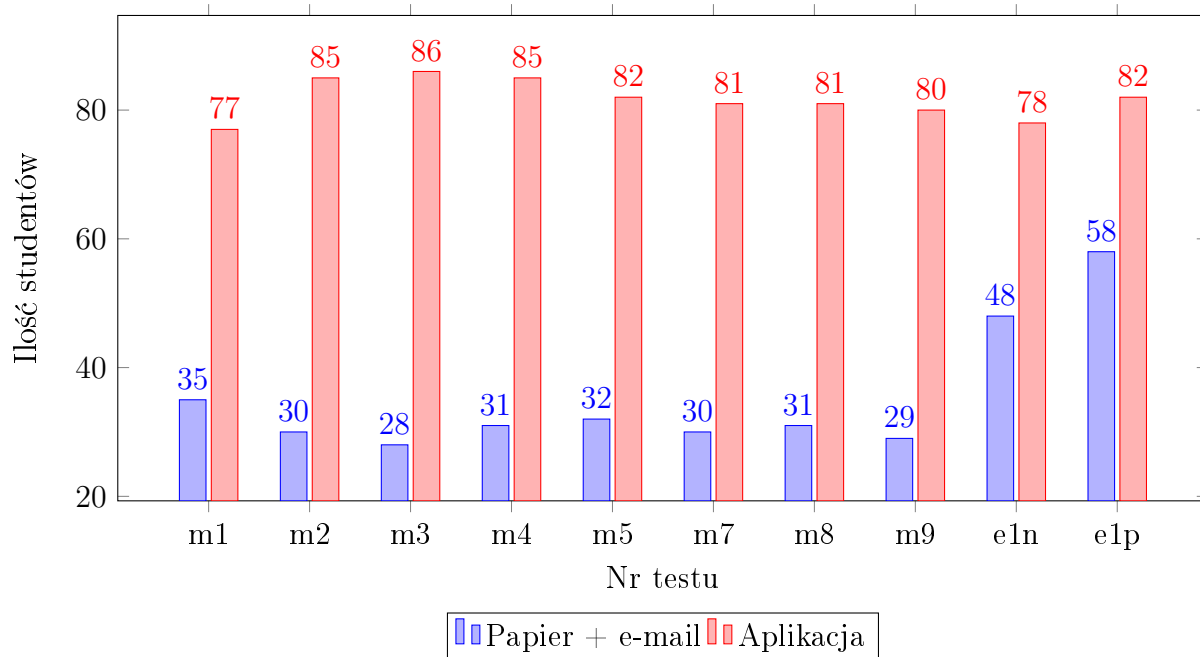
4.1 Wdrożenie aplikacji

Przygotowywanie aplikacji zostało rozpoczęte w lipcu 2016 roku. Tak duże wyprzedzenie wynikało z możliwości przetestowania aplikacji na wykładach jako platformy testowej, sprawdzenia jej przydatności i w ten sposób zweryfikowania idei takiego systemu. Pierwszy test odbył się 4 listopada 2016 roku. W sumie z aplikacji skorzystano na dziesięciu testach i na każdym z nich nie wystąpiły problemy. Przed użyciem aplikacji system został dokładnie przetestowany. Została sprawdzona odporność interfejsu aplikacji na błędy jakie może popełnić użytkownik, bezpieczeństwo wrażliwych danych przechowywanych na telefonach oraz stabilność działania całego systemu.

4.2 Statystyki pisanie testów

Studenci w trakcie testów mieli do wyboru dwie formy pisanie testów. Pierwszą było pisanie testu za pomocą telefonu z systemem Android i zainstalowaną aplikacją. Drugą było pisanie testów na papierze i dostarczanie ich do wykładowcy drogą e-mailową.

Wykorzystanie obu form dostarczania odpowiedzi z testu wyglądają następująco:

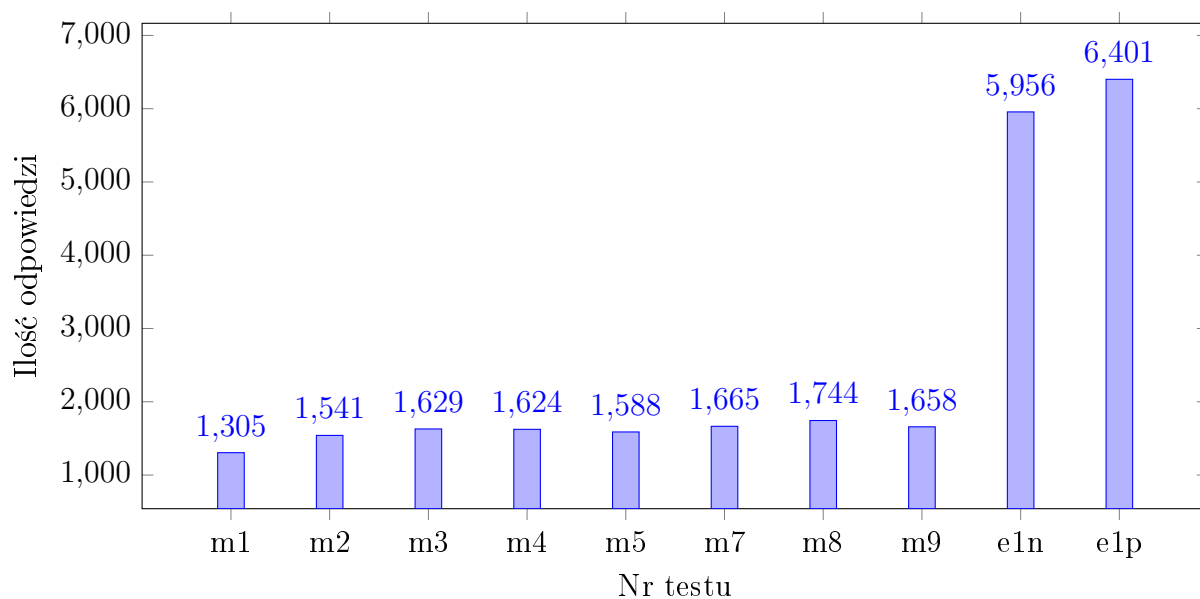


gdzie:

- od m1 do m9 - testy wykonane na Wydziale Mechanicznym
- e1n - test wykonany na Wydziale Elektroniki w tygodniu nieparzystym
- e1p - test wykonany na Wydziale Elektroniki w tygodniu parzystym

O możliwości pisania testów studenci zostali powiadomieni 2 dni przed wykonaniem 1 testu na Wydziale Mechanicznym. Stąd można zaobserwować wzrost ilości użytkowników aplikacji na 2 teście, między innymi kosztem papierowej formy pisania testu. W dalszych testach można zaobserwować powolny spadek użytkowników aplikacji jak i formy papierowej. Wynika to z rezygnacji studentów z pisania testów cząstkowych w celu przystąpienia do testu końcowego będącego alternatywnym sposobem zaliczenia kursu.

Suma wszystkich otrzymanych zapytań na serwerze dla każdego z testów wygląda następująco:



Na wykresie można zauważyć jak zmienia się obciążenie serwera w trakcie rozwijania aplikacji Android. Wraz z dokładaniem kolejnych pakietów informacji przesyłanych do serwera w zauważalny sposób zwiększa się sumaryczna ich ilość otrzymana na serwerze. Porównując ostatni test na Wydziale Mechanicznym do pierwszego testu wykonanego na Wydziale Mechanicznym zauważono wzrost o 27% sumarycznej ilości odpowiedzi.

Średnia szczytowa ilość odpowiedzi w trakcie pisania testów oscylowała między 10 a 16 odpowiedziami na sekundę. Najwyższa zarejestrowana wartość szczytowa to było 29 odpowiedzi na sekundę. Po wprowadzeniu informowania serwera o braku wybranej odpowiedzi przez studenta szczytowa ilość odpowiedzi wzrosła średnio o 3 odpowiedzi na sekundę.

Statystyki błędów popełnianych przez studentów przy wyliczaniu swoich grup na testach na Wydziale Mechanicznym oraz Wydziale Elektroniki na przestrzeni ostatnich 6 lat wyglądają następująco:

Wydział	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Elektroniki	7	24	22	14	7
Mechaniczny	5	6	6	10	1

Każdemu rocznikowi odpowiada suma wszystkich jednostkowych błędów popełnionych w trakcie semestru. Na każdy semestr Wydziału Elektroniki składa się od 8 do 9 testów 16 pytaniowych. W przypadku Wydziału Mechanicznego każdy semestr odpowiada dwóm testom 64 pytaniowym.

Można zauważyć, że dzięki wykorzystaniu aplikacji udało się zauważalnie zmniejszyć ilość błędów popełnianych przez studentów. W przypadku AiR na W-10 ilość błędów spadła do poziomu z okresu 2012-2013. Zaś w przypadku AiR na W-4 udało się uzyskać mniejszą ilość błędów niż w jakimkolwiek poprzednim okresie.

Rozdział 5

Podsumowanie

W tej pracy stworzono system pozwalający na wykonywanie testów na aplikacjach Android. Aplikacje komunikują się z serwerem przez Internet przysyłając wszystkie informacje o przebiegu wykonywanych testów. Aplikacja na system Android ma zrozumiały dla użytkownika interfejs. Komunikuje się korzystając z protokołu HTTP przez Internet z serwerem. Pozwala na przysyłanie odpowiedzi "tak", "nie", "nie wiem" podczas rozwiązywania testu. Te odpowiedzi następnie są rejestrowane na serwerze pozwalając na ich późniejsze przetworzenie. Na telefonach z aplikacją dodatkowo są przechowywane zaszyfrowane pliki z kopią zapasową przebiegu testu zabezpieczając się przed ich utratą przy wysyłaniu ich na serwer lub przed uszkodzeniem danych zarejestrowanych na serwerze. Stworzone zostały dodatkowe programy takie jak Deszyfrator pozwalający na rozszyfrowywanie plików z telefonów komórkowych, oraz Generator Konfiguracji tworzący konfigurujący serwer do pisania danych testów na aplikacjach mobilnych.

Wprowadzenie aplikacji do użycia zakończyło się sukcesem. Aplikacja jest stabilna i niezawodna. Studenci piszący testy nie zgłaszali uwag dotyczących stabilności aplikacji. Dodatkowo na żadnym z dziesięciu testów, na których była wykorzystywana nie wystąpiły problemy z przetwarzaniem, przesyłem i zapisem danych, przy około 80 osobowej ilości użytkowników na każdym z testów. Można stwierdzić przewagę tego systemu nad papierowym rozwiązywaniem testów. Jest on wygodniejszy dla studentów oraz prowadzącego kurs. Znacząco ułatwia pisanie testu wyliczając dla użytkownika wszystkie potrzebne informacje. Pozwala w prosty sposób wykonywać testy z mniejszym prawdopodobieństwem popełnienia błędów przez użytkownika. A co najważniejsze pozwala na zaoszczędzenie dużej ilości czasu przez prowadzącego kurs przy sprawdzaniu wyników testów.

Pisanie systemu tej wielkości w znacznym stopniu zależy od odpowiedniego wyspecyfikowania elementów takiego systemu. Wszystkie najważniejsze wymagania co do programu powinny być ustalone na samym początku tworzenia projektu. Ich początkowy opis w dużej mierze decyduje o strukturze oprogramowania systemu w etapie weryfikacji i wdrażania. Specyfikacja musi też przewidzieć wszystkie krytyczne sytuacje jakie mogą w systemie wystąpić. Jak najwcześniejsze ich wykrycie pozwala w prostszy sposób się przed nimi zabezpieczyć. System przed wykorzystaniem w praktyce musi być wcześniej odpowiednio przetestowany, a założenia zweryfikowane żeby potwierdzić ich poprawność oraz poprawność ich implementacji. Należy też mieć odpowiedni zapas czasu na wprowadzenie poprawek do błędów znalezionych w trakcie przetestowania przed jego praktycznym wykorzystaniem.

Bibliografia

- [AB(2016)] FEO Media AB. Quizwanie. <https://play.google.com/store/apps/details?id=se.feomedia.quizkampen.pl.light>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Boender(2009)] Ferry Boender. Apache, FastCGI and Python. https://www.electricmonk.nl/docs/apache_fastcgi_python/apache_fastcgi_python.html, 2009. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Dmytro(2014)] Danylyk Dmytro. Circular Progress Button. <https://github.com/flavioarffaria/circular-progress-button>, 2014. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Filing(2016)] Filing. sameQuizy. <https://play.google.com/store/apps/details?id=pl.filing.samequizy>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Ftylitakis(2016)] Nikolaos Ftylitakis. ZXing. <https://github.com/zxing/zxing>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Jarrod(2016)] Jarrod. Linux Web Server Performance Benchmark – 2016 Results. <https://www.rootusers.com/linux-web-server-performance-benchmark-2016-results/>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Kharkovski(2015)] Roman Kharkovski. Lightweight Java servers and developer view on the App Server. <https://advantage.ibm.com/2015/09/22/lightweight-java-servers-and-developer-view-on-the-app-server-update/>, 2015. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Larsen(2011)] Finn Larsen. How to Reject a call programatically in android. <https://stackoverflow.com/questions/7347871/how-to-reject-a-call-programatically-in-android>, 2011. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Lew et al.(1999)Lew, Spanier, Stevenson, Ford, and Systems] H. Kim Lew, Steve Spanier, Tim Stevenson, Merilee Ford, and Inc Cisco Systems. Internetworking Technologies Handbook. <http://www.net130.com/tutorial/other/Internet%20overview.pdf>, 1999. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Salnikov-Tarnovski(2016)] Nikita Salnikov-Tarnovski. Most popular Java application servers: 2016 edition. <https://plumbr.eu/uncategorized/most-popular-java-ee-servers-2016-edition>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].

- [SevenLynx(2016)] SevenLynx. English Grammar Test. <https://play.google.com/store/apps/details?id=english.grammar.test.app>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].
- [Vogel(2016)] Lars Vogel. Android SQLite database and content provider - Tutorial. <http://www.vogella.com/tutorials/AndroidSQLite/article.html>, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].
- [W3Techs(2016)] W3Techs. Usage of web servers for websites. https://w3techs.com/technologies/overview/web_server/all, 2016. [Online; accessed 11-December-2016].