

Grupa D:

Tomasz Rydzewski
Magdalena Malenda
Joanna Ohradka
Włodzimierz Szewczyk
Piotr Kuciński
Dominik Giżyński
Michał Herman

Projekt RSO:

**Usługa bezpiecznej niezawodnej
dystrybucji przetworzonej chronionej
informacji**

Spis treści

| | |
|--|----|
| 1. Projekt | 1 |
| 1.1. Harmonogram | 1 |
| 2. Wymagania | 4 |
| 2.1. Wymagania funkcjonalne | 4 |
| 2.2. Wymagania niefunkcjonalne | 4 |
| 3. Architektura i opis systemu | 6 |
| 3.1. Opis ogólny architektury systemu | 6 |
| 3.2. Serwer danych | 6 |
| 3.2.1. Redundancja danych | 7 |
| 3.2.2. Protokół spójności | 7 |
| 3.2.3. Przechowywanie danych | 8 |
| 3.2.4. Przetwarzanie danych | 8 |
| 3.2.5. Komunikacja | 9 |
| 3.2.6. Przetwarzanie żądań | 9 |
| 3.2.7. Szyfrowanie wiadomości | 9 |
| 3.2.8. Koordynator warstwy wewnętrznej | 9 |
| 3.2.9. Algorytm elekcji | 10 |
| 3.2.10. Bezpośrednie wstawianie danych | 10 |
| 3.2.11. Dziennik operacji | 10 |
| 3.3. Serwer warstwy zewnętrznej | 10 |
| 3.3.1. Komunikacja | 10 |
| 3.3.2. Szyfrowanie danych | 10 |
| 3.3.3. Przetwarzanie żądań | 11 |
| 3.3.4. Koordynator | 11 |
| 3.3.5. Algorytm elekcji | 12 |
| 3.3.6. Awaria węzła | 12 |
| 3.3.7. Przerwanie połączenia między węzłami | 12 |
| 3.3.8. Dziennik operacji | 12 |
| 3.4. Aplikacja kliencka | 12 |
| 3.4.1. Komunikacja | 12 |
| 3.4.2. Szyfrowanie | 13 |
| 3.4.3. Funkcjonalność | 13 |
| 3.5. Plik konfiguracyjny | 13 |
| 3.6. Protokół komunikacyjny | 15 |
| 3.6.1. Format ramek | 15 |
| 3.6.2. Komunikacja klient-serwer warstwy zewnętrznej | 15 |
| 3.6.3. Komunikacja między serwerami warstwy zewnętrznej | 18 |
| 3.6.4. Komunikacja między serwerami danych | 19 |
| 3.6.5. Komunikacja między serwerami warstwy zewnętrznej a serwerami danych | 21 |
| 3.6.6. Komunikacja między serwerami danych a klientem edytującym dane | 22 |
| 3.6.7. Obsługa błędów | 23 |
| 3.7. Klucze prywatne i publiczne | 23 |
| 3.8. Skrypt uruchamiający aplikację | 24 |

| | |
|---|----|
| 4. Prezentacja systemu | 25 |
| 4.1. Opis prezentacji systemu | 25 |
| 5. Testy systemu | 27 |
| 5.1. Opis testów systemu | 27 |
| 6. Docker | 33 |
| 6.1. Opis rozwiązania Docker | 33 |
| 6.2. Raport z przykładowych uruchomień | 35 |
| 6.2.1. Uruchomienie aplikacji 'Hello World' | 35 |
| 6.2.2. Uruchomienie aplikacji webowej | 36 |
| 6.2.3. Tworzenie własnego obrazu | 37 |
| 6.2.4. Korzystanie z Docker Hub | 39 |
| Dodatek A. Wprowadzenie i instrukcja użytkowania systemu kontroli wersji Git | 40 |
| A.1. Wprowadzenie | 40 |
| A.2. Przygotowanie do pracy i pierwsze pobranie zawartości repozytorium | 41 |
| A.3. Użytkowanie | 41 |
| A.4. Dodatkowe narzędzia | 42 |
| A.5. Przydatne informacje | 43 |
| Dodatek B. Spotkania zespołu | 44 |
| B.1. Spotkanie zespołu nr 1 | 44 |
| B.2. Spotkanie zespołu nr 2 | 44 |
| B.3. Spotkanie zespołu nr 3 | 44 |
| B.4. Spotkanie zespołu nr 4 | 45 |
| B.5. Spotkanie zespołu nr 5 | 45 |
| Dodatek C. Narzędzia | 46 |
| Dodatek D. Role projektowe | 47 |

1. Projekt


1.1. Harmonogram

Poniżej przedstawiony został harmonogram projektu wraz z diagramem Gantta.

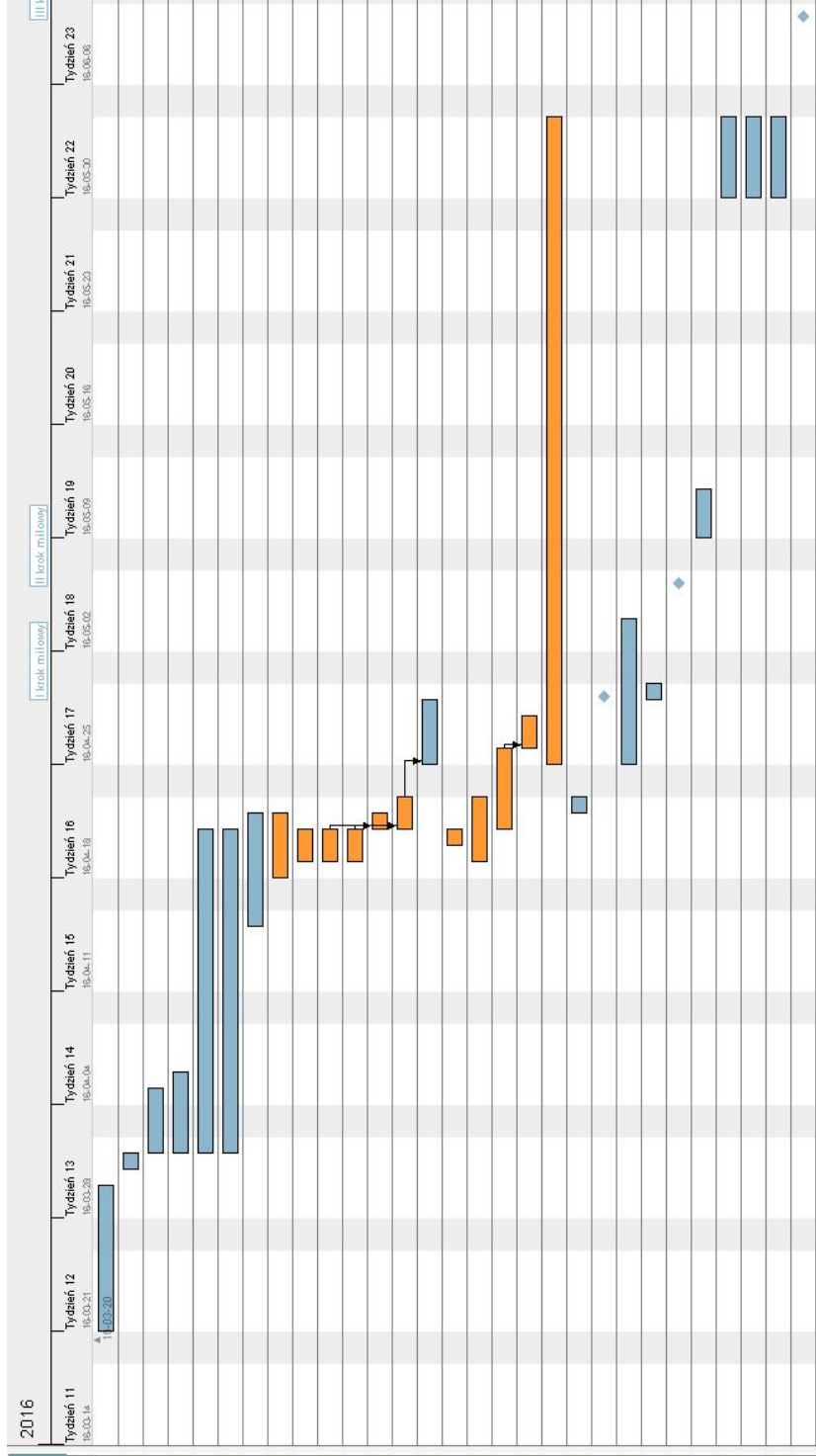
| Nazwa zadania | Data rozpoczęcia | Data zakończenia |
|--|------------------|------------------|
| Organizacja struktury projektu | 16-03-21 | 16-03-29 |
| Pierwsze spotkanie projektowe | 16-03-31 | 16-03-31 |
| Wystartowanie repozytorium Git | 16-04-01 | 16-04-04 |
| Ustalenia funkcjonalne i nie-funkcjonalne | 16-04-01 | 16-04-05 |
| Utworzenie koncepcji architektury systemu | 16-04-01 | 16-04-20 |
| Utworzenie koncepcji wykorzystania narzędzia Docker | 16-04-01 | 16-04-20 |
| Utworzenie dokumentu dobrych praktyk | 16-04-15 | 16-04-21 |
| Utworzenie tutoriala Dockera | 16-04-18 | 16-04-21 |
| Dodanie rozwiązania Docker do repozytorium | 16-04-19 | 16-04-20 |
| Doprecyzowanie wymagań przedmiotu | 16-04-19 | 16-04-20 |
| Wybranie algorytmów | 16-04-19 | 16-04-20 |
| Ustalenie prezentacji na drugi krok milowy | 16-04-21 | 16-04-21 |
| Modułowy podział projektu | 16-04-21 | 16-04-22 |
| Szczegółowa koncepcja rozwiązania | 16-04-25 | 16-04-28 |
| Ustawienie środowiska programistycznego | 16-04-20 | 16-04-20 |
| Utworzenie pierwszych scenariuszy testowych (do prezentacji pierwszego kroku milowego) | 16-04-19 | 16-04-22 |
| Ustalenie wykorzystywanej bazy danych | 16-04-21 | 16-04-25 |
| Postawienie bazy danych | 16-04-26 | 16-04-27 |
| Część programistyczna | 16-04-25 | 16-06-03 |
| Zebranie dokumentacji na pierwszy krok | 16-04-22 | 16-04-22 |
| I krok milowy | 16-04-29 | 16-04-29 |

| | | |
|---|----------|----------|
| Utworzenie wszystkich scenariuszy testowych | 16-04-25 | 16-05-03 |
| Odłożenie brancha na II krok milowy | 16-04-29 | 16-04-29 |
| II krok milowy | 16-05-06 | 16-05-06 |
| Ustalenie prezentacji na trzeci krok milowy | 16-05-09 | 16-05-11 |
| Testy bezpieczeństwa | 16-05-30 | 16-06-03 |
| Testy funkcjonalne | 16-05-30 | 16-06-03 |
| Testy awaryjności | 16-05-30 | 16-06-03 |
| III krok milowy | 16-06-10 | 16-06-10 |
| Doprecyzowanie wymagań funkcjonalnych systemu | 16-05-05 | 16-05-06 |
| Doprecyzowanie wymagań niefunkcjonalnych systemu | 16-05-10 | 16-05-13 |
| Doprecyzowanie architektury systemu | 16-05-10 | 16-05-16 |
| Opracowanie pełnego planu testów | 16-05-09 | 16-05-20 |
| Opracowanie scenariusza końcowej prezentacji | 16-05-09 | 16-05-20 |
| Wyodrębnienie głównych elementów systemu | 16-05-15 | 16-05-15 |
| Określenie sposobu lokalnego developmentu aplikacji | 16-05-15 | 16-05-16 |
| Klient - użytkownik | 16-05-15 | 16-05-16 |
| Klient do wprowadzania danych | 16-05-20 | 16-05-31 |
| Węzeł zewnętrzny | 16-05-20 | 16-05-26 |
| Węzeł wewnętrzny | 16-05-23 | 16-05-26 |
| Algorytm elekcji | 16-05-23 | 16-05-31 |
| Protokół spójności | 16-05-27 | 16-05-31 |
| Protokół komunikacyjny | 16-05-15 | 16-05-20 |
| Baza danych | 16-05-15 | 16-05-20 |
| Przetwarzanie danych | 16-05-26 | 16-05-31 |

Tablica 1.1: Harmonogram projektu



| Nazwa zadania | Data rozpoczęcia | Data zakończenia |
|---|------------------|------------------|
| • Organizacja struktury projektu | 16-03-21 | 16-03-29 |
| • Pierwsze spotkanie projektowe | 16-03-31 | 16-03-31 |
| • Wystartowanie repozytorium Git | 16-04-01 | 16-04-04 |
| • Ustalenia funkcjonalne i niefunkcjonalne | 16-04-01 | 16-04-05 |
| • Utworzenie koncepcji architektury systemu | 16-04-01 | 16-04-20 |
| • Utworzenie koncepcji wykorzystania narz... | 16-04-01 | 16-04-20 |
| • Utworzenie dokumentu dobrych praktyk | 16-04-15 | 16-04-21 |
| • Utworzenie tutoriala docker | 16-04-18 | 16-04-21 |
| • Dodanie rozwiązania docker do repozytor... | 16-04-19 | 16-04-20 |
| • Doprecyzowanie wymagań przedmiotu | 16-04-19 | 16-04-20 |
| • Wybranie algorytmów | 16-04-19 | 16-04-20 |
| • Ustalenie prezentacji na drugi krok milowy | 16-04-21 | 16-04-21 |
| • Modułowy podział projektu | 16-04-21 | 16-04-22 |
| • Szczegółowa koncepcja rozwiązania | 16-04-25 | 16-04-28 |
| • Ustawienie środowiska programistycznego | 16-04-20 | 16-04-20 |
| • Utworzenie pierwszych scenariuszy testo... | 16-04-19 | 16-04-22 |
| • Ustalenie wykorzystywanej bazy danych | 16-04-21 | 16-04-25 |
| • Postawienie bazy danych | 16-04-26 | 16-04-27 |
| • Część programistyczna | 16-04-25 | 16-06-03 |
| • Zebranie dokumentacji na pierwszy krok | 16-04-22 | 16-04-22 |
| • I krok milowy | 16-04-29 | 16-04-29 |
| • Utworzenie wszystkich scenariuszy testow... | 16-04-25 | 16-05-03 |
| • Odłożenie bruncha na II krok milowy | 16-04-29 | 16-04-29 |
| • II krok milowy | 16-05-06 | 16-05-06 |
| • Ustalenie prezentacji na trzeci krok milowy | 16-05-09 | 16-05-11 |
| • Testy bezpieczeństwa | 16-05-30 | 16-06-03 |
| • Testy funkcjonalne | 16-05-30 | 16-06-03 |
| • Testy awaryjności | 16-05-30 | 16-06-03 |
| • III krok milowy | 16-06-10 | 16-06-10 |



2. Wymagania

2.1. Wymagania funkcjonalne

| Identyfikator wymagania | Opis wymagania |
|-------------------------|---|
| FR1 | System umożliwia wyświetlenie listy dostępnych do pobrania wyników badań medycznych |
| FR2 | System umożliwia pobranie zanonimizowanych wyników badań medycznych |
| FR3 | System umożliwia pobranie statystyk wykonanych badań medycznych |

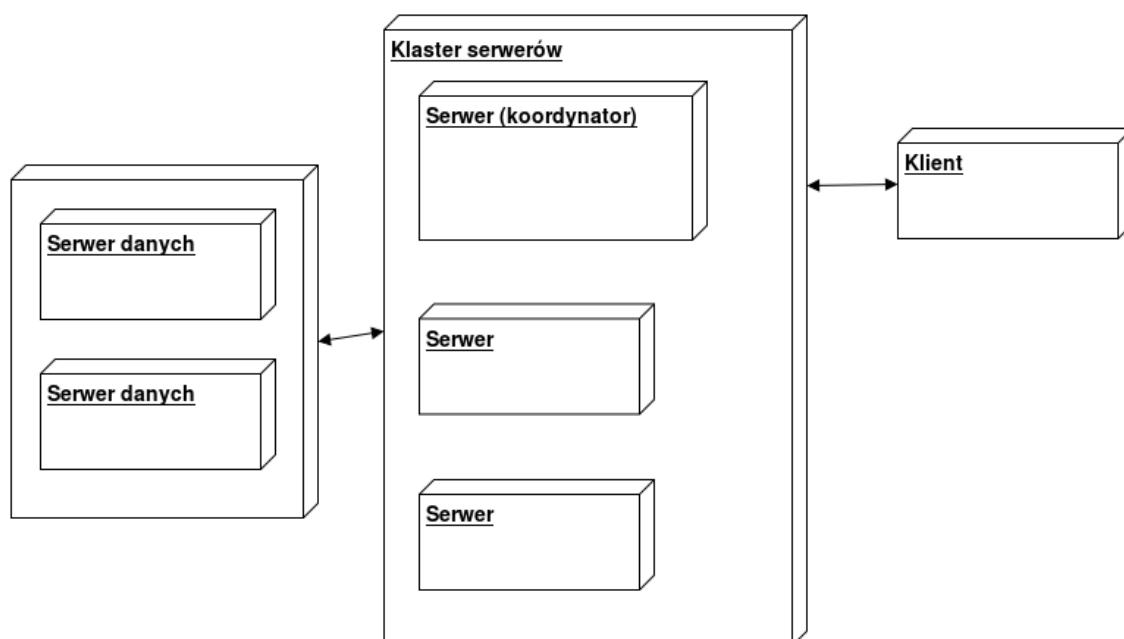
2.2. Wymagania niefunkcjonalne

| Identyfikator wymagania | Opis wymagania |
|-------------------------|---|
| NFR1 | Współbieżne oprogramowanie realizujące część serwerową |
| NFR2 | Uszkodzenie węzła, nie powoduje zatrzymania pracy systemu |
| NFR3 | Realizacja usługi w trakcie awarii w czasie obsługi |
| NFR4 | Możliwość ponownego wpięcia węzła, z którym utracono łączność |
| NFR5 | Odporność na próbę wpięcia wrogiego, nieuprawnionego węzła |
| NFR6 | Zarządzanie zasobami transparentnie dla oprogramowania klienckiego |
| NFR7 | Zapewnienie poziomu redundancji danych równego 2 |
| NFR8 | Maksymalna objętość przechowywanych wszystkich danych równa 1GB |
| NFR9 | Dane o pacjentach oraz badaniach przechowywane w relacyjnej bazie danych PostgreSQL |
| NFR10 | Wyniki badań medycznych przechowywane w plikach formatu .xml lub .bmp na serwerze danych |
| NFR11 | Uruchamianie i zamykanie części serwerowej jednokrotnym wywołaniem skryptu dowolnym węzle |
| NFR12 | Liczba jednocześnie obsługiwanych użytkowników równa 100 |
| NFR13 | System uruchamiany w środowisku Linux Ubuntu 14.04 LTS |

| | |
|-------|--|
| NFR14 | Dwa serwery danych, każdy posiada procesor z minimum czterema wątkami sprzętowymi oraz dyskiem twardym o pojemności min. 20 GB |
| NFR15 | Klaster trzech serwerów (nie wliczając serwerów danych), każdy posiada procesor z minimum dwoma wątkami sprzętowymi |

3. Architektura i opis systemu

3.1. Opis ogólny architektury systemu

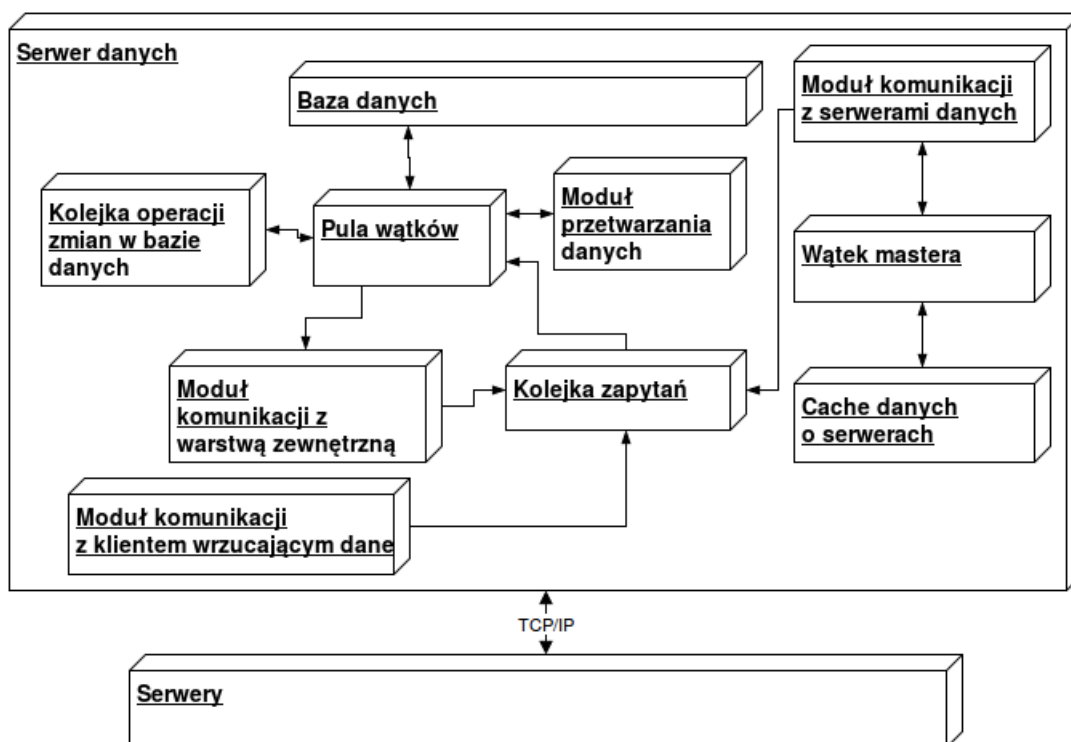


Rysunek 3.1. Schemat architektury systemu

System po stronie serwerowej składa się z dwóch warstw: wewnętrznej i zewnętrznej. Warstwa wewnętrzna przechowuje wrażliwe informacje medyczne oraz je przetwarza. Przetwarzanie polega na anonimizacji wyników badań medycznych oraz tworzeniu statystyk. Warstwa zewnętrzna zajmuje się dystrybucją danych dla klientów. Część kliencka jest prostą aplikacją dostępową korzystającą z API serwerów warstwy zewnętrznej. W projekcie założono, że do realizacji systemu wykorzystane zostaną dwa serwery danych i trzy serwery warstwy zewnętrznej. Ogólny schemat systemu został przedstawiony na rysunku 3.1.

3.2. Serwer danych

Serwer danych ma za zadanie przechowywać informacje w bazie danych, przetwarzać informacje, udostępniać przetworzone informacje, udostępniać API do bezpośredniego wstawienia informacji oraz komunikować się z innymi serwerami danych w celu realizacji redundancji danych, zachowania spójności danych i współbieżnego realizowania zapytań. Schemat serwera danych przedstawiono na rysunku 3.2.



Rysunek 3.2. Schemat serwera bazy danych

3.2.1. Redundancja danych

Aby zapewnić redundancję danych zastosowano prostą replikację całego serwera. W systemie poziom redundancji jest równy liczbie serwerów danych. W projekcie będzie on równy 2.

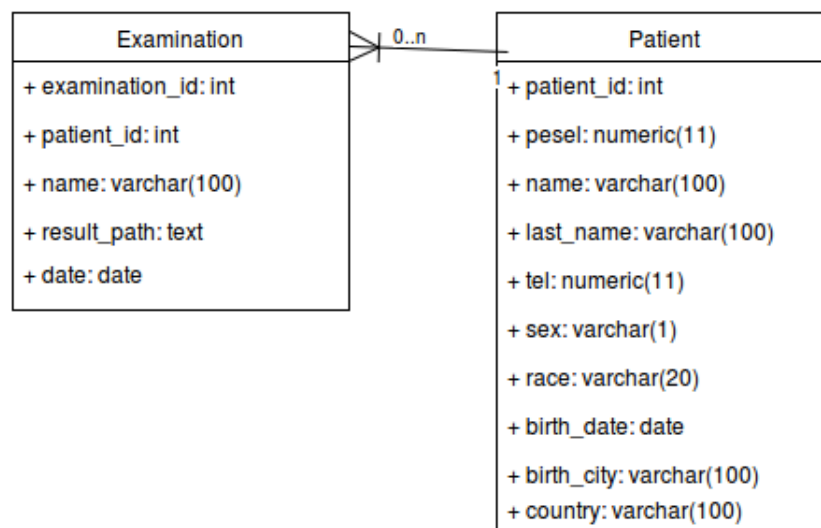
3.2.2. Protokół spójności

Zrealizowany zostanie model spójności sekwencyjnej. To oznacza, że dozwolony jest każdy przeplot operacji czytania i pisania, ale wszystkie procesy na wszystkich maszynach oglądają ten sam przeplot operacji. Zostanie on zapewniony m.in. przez rozsyłanie każdej zmiany w bazie do drugiego serwera. Zapis może odbywać się równolegle na dwóch serwerach. Może zdarzyć się sytuacja, w której na skutek modyfikacji tego samego rekordu w bazie jednocześnie na dwóch serwerach, dwie różne zmiany zostaną rozpropagowane w tym samym czasie i pojawi się niespójność. Aby temu zapobiec zastosowano algorytm Lamporta dostrajania lokalnych zegarów. Każdy komunikat otrzymuje znacznik czasu zgodny z lokalnym zegarem. Jeżeli po nadejściu komunikatu zegar odbiorcy pokazuje wartość wcześniejszą niż czas w komunikacie, to odbiorca przesuwą swój zegar w przód, tak aby wskazywał wartość czasu o 1 większą niż czas nadania. Komunikaty są umieszczane w lokalnej kolejce zgodnie z ich znacznikami czasu. Zakłada się, że nadawca komunikatu jest również jego odbiorcą. Ta metoda zapewnia, że wszystkie procesy będą miały tą samą kopię kolejki zapasowej.

Gdy jeden z serwerów danych połączy się ponownie po awarii, musi zaktualizować swoje dane. W tym celu można zapisywać wszystkie zmiany w bazie danych.

Nowo dołączony serwer sprawdziłby jaką ostatnią operację wykonywał, a następnie wysłał do mastera prośbę o odesłanie wszystkich późniejszych operacji. Tego rozwiązania nie będzie w opisywanym systemie ze względu krótki czas realizacji projektu.

3.2.3. Przechowywanie danych



Rysunek 3.3. Schemat bazy danych

Dane są przechowywane w bazie danych PostgreSQL, a wyniki badań medycznych w plikach, których ścieżki są zapisane w bazie danych. Schemat bazy danych przedstawiono na rysunku 3.3. Na potrzeby projektu przyjęto, że format przechowywanych wyników badań to .xml dla wyników w formie tekstowej lub .bmp dla wyników w formie zdjęć.

3.2.4. Przetwarzanie danych

Przetwarzanie danych w systemie będzie się sprowadzać do tworzenia statystyk badań oraz pobierania skojarzonych z tymi badaniami plików w formacie .xml lub .bmp. Dostępne statystyki badań będą pokazywały liczbę wykonanych badań w zależności od czasu, kraju, płci, wieku itp. Przykładowy plik .xml z wynikiem badań:

```

1  <examination>
    <patient>
        <first_name>Jan</first_name>
        <last_name>Kowalski</last_name>
5  </patient>
    <examination_type>morfologia</examination_type>
    <result>
        </result>
    </examination>
  
```

Anonimizacja danych

Baza danych przechowuje dane osobowe pacjentów, czyli informacje pozwalające bezpośrednio zidentyfikować daną osobę (takie jak PESEL czy kombinacja pól nazwiska, daty urodzenia oraz miejsca urodzenia). Aby spełnić wymogi stawiane przez ustawę o ochronie danych osobowych z dnia 29 sierpnia 1997 roku oraz inne akty prawne obowiązujące w Rzeczypospolitej Polsce, przetworzone dane będą podlegały procesowi anonimizacji. Proces ten będzie polegał na usunięciu z danych kierowanych do klienta aplikacji informacji pozwalających na identyfikację pacjenta. W przypadku informacji bazodanowych nie będą przekazywane pola takie jak nazwisko, pesel, data urodzenia czy miejsce urodzenia. Anonimizacja danych w formacie .xml polegać będzie na usunięciu nazwiska pacjenta z pliku. Danych w formacie .bmp nie trzeba anonimizować, ponieważ samo zdjęcie nie wskazuje na konkretnego pacjenta.

3.2.5. Komunikacja

Komunikacja z serwerami warstwy zewnętrznej i serwerami danych odbywa się przez protokół TCP/IP. W komunikacji pośredniczy moduł komunikacyjny, który oczekuje na zapytania. W serwerze danych znajdują się trzy moduły komunikacyjne (dla serwerów warstwy zewnętrznej, dla serwerów danych i pomocniczy do wstawiania danych). Każdy nasłuchuje na oddzielnym porcie. Numery portów znajdują się w pliku konfiguracyjnym.

3.2.6. Przetwarzanie żądań

Każde zapytanie jest obsługiwane w oddzielnym wątku. Serwer korzysta z puli wątków, których liczba jest określona w pliku konfiguracyjnym. Powinna ona być równa liczbie wątków sprzętowych, co zapewni efektywne wykorzystanie procesora. Zapytania przychodzące z warstwy zewnętrznej lub wewnętrznej są kolejgowane w kolejności przyjscia lub odrzucane, gdy zapytań będzie za dużo (kolejka FIFO). Maksymalny rozmiar kolejki jest określony w pliku konfiguracyjnym. Żądania dotyczące modyfikacji są dodatkowo kolejgowane zgodnie z ich znacznikami czasu. Wątki realizują naprzemiennie żądania z kolejki modyfikacji i kolejki zapytań.

3.2.7. Szyfrowanie wiadomości

Komunikacja jest szyfrowana przy pomocy algorytmu RSA. Każdy z serwerów dostanie wygenerowany klucz publiczny oraz prywatny. Klucze publiczne wszystkich serwerów oraz serwerów danych są zapisane w pliku konfiguracyjnym. Wysłanie wiadomości będzie wymagało zaszyfrowania jej kluczem publicznym odbiorcy i tylko on będzie mógł ją odszyfrować swoim kluczem prywatnym. Jest to konieczne, aby zachować bezpieczeństwo przesyłania wrażliwych danych między serwerami danych. Ponadto, szyfrowanie zapewni, że jeżeli informację dostanie niepowołany węzeł w warstwie wewnętrznej lub zewnętrznej, to nie będzie on w stanie jej odszyfrować.

3.2.8. Koordynator warstwy wewnętrznej

Jeden z serwerów danych będzie koordynatorem. Koordynator kontroluje pracę pozostałych serwerów, sprawdza, czy wszystkie są dostępne, tworzy i rozsyła do

wszystkich węzłów tablicę aktywności serwerów danych. Sprawdzanie obecności serwerów odbywa się poprzez cykliczne odpytywanie. Okres odpytywania jest zawarty w pliku konfiguracyjnym. Stan warstwy wewnętrznej jest wysyłany tylko wtedy, gdy się zmieni, np. jeden z serwerów ulegnie awarii. Informacja ta jest zapisywana w pamięci RAM w przeznaczonej do tego klasie.

3.2.9. Algorytm elekcji

Gdy master ulegnie awarii, jego rolę przejmuje inny serwer. W projekcie przewidziano dwa serwery danych, więc serwer, który zauważy brak mastera, powinien od razu przejąć jego rolę. Jednakże rozwiązanie powinno być skalowalne, więc do elekcji zastosowany zostanie algorytm Tyrana. Został on szczegółowo opisany w następnym podrozdziale dotyczącym serwerów warstwy zewnętrznej.

3.2.10. Bezpośrednie wstawianie danych

Dodatkowo na potrzeby projektu serwery danych udostępnią API do bezpośredniego zapisu danych.

3.2.11. Dziennik operacji

Prowadzony jest dziennik operacji wykonywanych na serwerze danych. Ma on formę pliku tekstowego, w którym zapisywane są przeprowadzane operacje na danych, informacje o błędach, utracie węzła, dołączeniu węzła oraz zmianie koordynatora.

3.3. Serwer warstwy zewnętrznej

Serwery warstwy zewnętrznej przekazują zapytania od klienta do serwera danych i przesyłają już przetworzone dane klientowi. Ich rolą jest również komunikowanie się z innymi serwerami warstwy zewnętrznej w celu współbieżnej realizacji żądań i realizacji odporności systemu na awarie węzłów. Schemat serwera warstwy zewnętrznej przedstawia rysunek 3.4.

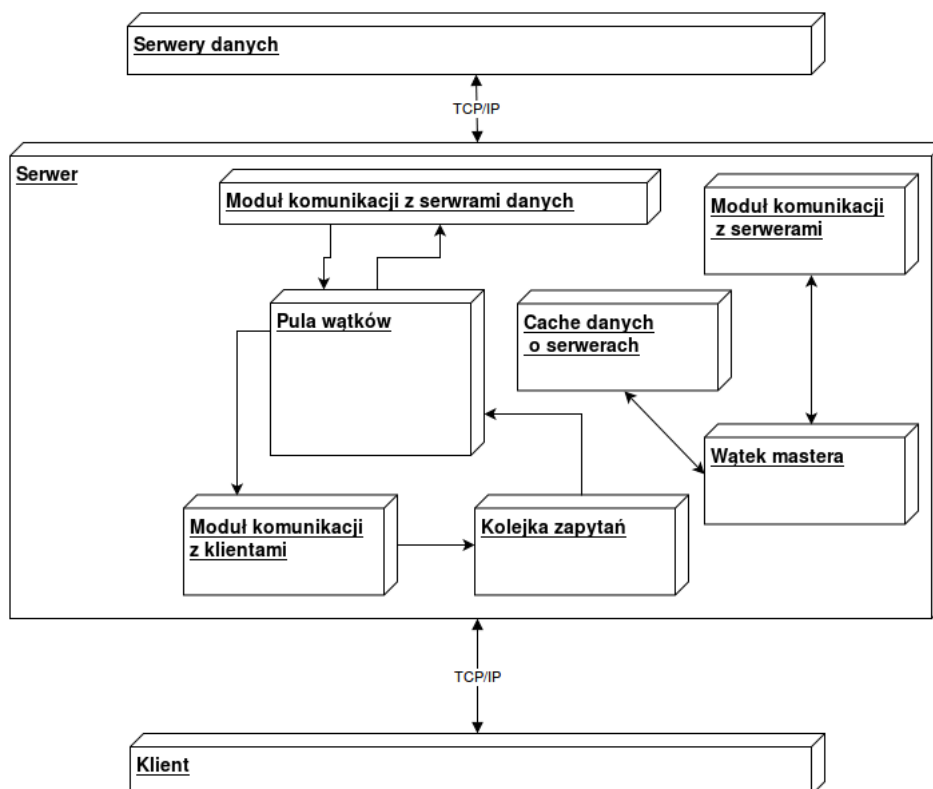
3.3.1. Komunikacja

Komunikacja z klientem i serwerami danych odbywa się przez protokół TCP/IP. W komunikacji pośredniczą moduły komunikacyjne, które oczekują na zapytania. W serwerze danych znajdują się trzy moduły komunikacyjne (dla serwerów warstwy zewnętrznej, dla serwerów danych i klienta). Każdy nasłuchuje na oddzielnym porcie. Numery portów znajdują się w pliku konfiguracyjnym.

Serwer może wysyłać zapytania do dowolnego serwera danych. Jeżeli któryś z nich będzie niedostępny, próbuje połączyć się z kolejnym z listy zawartej w pliku konfiguracyjnym.

3.3.2. Szyfrowanie danych

Komunikacja między serwerami warstwy zewnętrznej oraz między serwerem warstwy zewnętrznej a serwerem danych jest szyfrowana przy użyciu algorytmu RSA. Dzięki temu niepowołany węzeł nie będzie w stanie rozszyfrować żadnych



Rysunek 3.4. Schemat serwera aplikacyjnego

informacji. Komunikacja z klientem nie jest szyfrowana. Nie jest to konieczne, gdyż przesyłane w tym obszarze informacje nie są już wrażliwe.

3.3.3. Przetwarzanie żądań

Serwer korzysta z puli wątków, których liczba jest określona w pliku konfiguracyjnym i powinna być równa liczbie wątków sprzętowych. Po odebraniu żądania od klienta lub innego węzła, wstawiane jest ono do kolejki zapytań (kolejka FIFO). Długość kolejki jest odczytywana z pliku konfiguracyjnego.

3.3.4. Koordynator

Jeden z serwerów jest koordynatorem. Koordynator kontroluje pracę pozostałych serwerów, sprawdza, czy wszystkie są dostępne, tworzy i rozsyła do wszystkich węzłów tablicę aktywności serwerów. Sprawdzanie obecności serwerów odbywa się poprzez cykliczne odpytywanie. Odpytywany o aktualny stan warstwy wewnętrznej jest też jeden z serwerów danych. Okres odpytywania jest zawarty w pliku konfiguracyjnym. Stan całego systemu jest wysyłany tylko wtedy, gdy się zmieni, np. jeden z serwerów ulegnie awarii. Informacja ta jest zapisywana w pamięci RAM w przeznaczonej do tego klasie.

3.3.5. Algorytm elekcji

Gdy master ulegnie awarii, jego rolę przejmuje inny z serwerów. W projekcie zastosowano algorytm Tyrana. Wszystkie serwery znają liczbę i adresy pozostałych. Każdy z serwerów ma przyporządkowany numer. Masterem staje się ten o najniższym numerze. Pierwszy serwer, który zauważy, że nie ma mastera, czeka losowy czas i wysyła komunikat **ELECTION** do wszystkich węzłów o niższym numerze. Jeżeli nikt nie odpowie, to serwer staje się nowym koordynatorem i wysyła do wszystkich pozostałych węzłów informujący o tym komunikat **COORDINATOR**. Jeżeli któryś z węzłów o niższym numerze odpowie, to on przejmuje kontrolę. Brak koordynatora będzie zauważony, gdy węzeł nie zostanie odpytany w odpowiednim czasie. Dodanie losowego czasu po zauważeniu braku mastera zapobiegnie sytuacji, w której kilka serwerów jednocześnie wyśle wiadomość **ELECTION**.

3.3.6. Awaria węzła

Awaria węzła zostanie wykryta podczas cyklicznego odpytywania przez koordynatora. Nieaktywny serwer nie odpowie, więc koordynator zaktualizuje stan systemu i roześle do pozostałych węzłów. Gdy serwer będzie znów dostępny, przy najbliższym odpytywaniu zostanie zauważony przez koordynatora, który ponownie zaktualizuje stan systemu.

3.3.7. Przerwanie połączenia między węzłami

Może pojawić się sytuacja, gdy przerwane zostanie połączenie między dwoma poprawnie pracującymi serwerami. Wtedy każdy z nich przeprowadzi elekcję oddzielnie. Powstaną dwa klastry serwerów, ale wszystko będzie poprawnie pracowało. Gdy połączenie wróci, w warstwie zewnętrznej będzie dwóch koordynatorów. W celu rozwiązania tego problemu pierwszy koordynator, który zostanie odpytany przez drugiego, wyłączy u siebie funkcję koordynatora.

3.3.8. Dziennik operacji

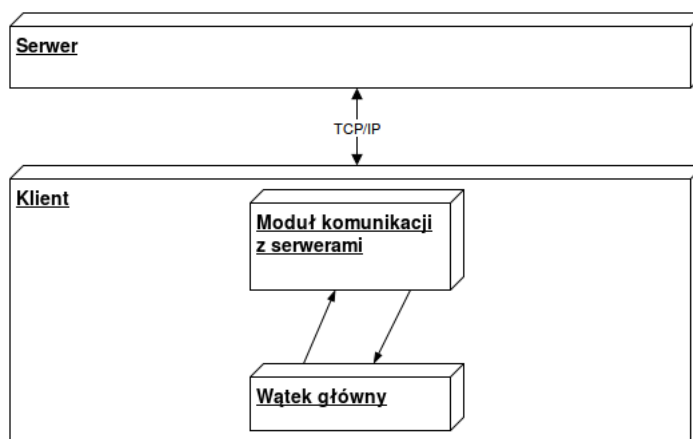
Prowadzony jest dziennik operacji wykonywanych na serwerze zewnętrznym. Ma on formę pliku tekstowego, w którym zapisywane są informacje o błędach, utracie węzła, dołączeniu węzła i zmianie koordynatora.

3.4. Aplikacja kliencka

Aplikacja kliencka wysyła polecenia od użytkownika do serwerów warstwy wewnętrznej i wyświetla ich wynik lub zapisuje pobrane dane. Schemat aplikacji klienckiej przedstawiono na rysunku 3.5.

3.4.1. Komunikacja

Komunikacja między klientem a serwerem warstwy zewnętrznej odbywa się przez protokół TCP/IP. Początkowo w pliku konfiguracyjnym klienta jest adres jednego serwera. Aplikacja próbuje nawiązać z nim połączenie. Jeżeli to połączenie zakończy się niepowodzeniem, aplikacja kończy działanie. W przeciwnym wypadku klient pobiera informację o dostępnych serwerach. Uzupełnia tą informacją plik



Rysunek 3.5. Schemat aplikacji klienckiej

konfiguracyjny. Dzięki temu przy następnym uruchomieniu, gdy któryś z serwerów będzie niedostępny, nastąpi próba połączenia z innym.

3.4.2. Szyfrowanie

Komunikacja od serwera do klienta nie jest szyfrowana. Nie jest to konieczne, ponieważ przekazywane dane nie wymagają już ochrony.

3.4.3. Funkcjonalność

Aplikacja umożliwia dostęp do funkcji oferowanych przez API serwera, co oznacza wyświetlenie wyniku zapytania lub pobranie pliku z wynikiem danych medycznych. Dostępne zapytania są opisane w rozdziale dotyczącym protokołu komunikacyjnego. Jeżeli jakieś żądanie się nie powiedzie mimo dostępności serwera (z powodu przeciążenia), następuje ponowna próba wysłania żądania, ale do innego serwera. Aplikacja kliencka jest aplikacją konsolową, nieinteraktywną, co oznacza, że wykonywane jest jedno zapytanie, zwracany jest wynik i następuje zakończenie działania.

3.5. Plik konfiguracyjn

W pliku konfiguracyjnym klienta na początku znajduje się adres i port jednego z serwerów. W pliku konfiguracyjnym serwerów znajdują się adresy, porty i nazwy serwerów, adresy serwerów baz danych, liczba wątków w puli, liczba zapytań w kolejce, okres odpytywania węzłów przez serwer główny, klucze publiczne serwerów. Plik konfiguracyjny zostanie zapisany w formacie .ini. Każdy serwer ma unikalny numer i typ. Typ może mieć wartość 'srv' dla serwerów warstwy zewnętrznej lub 'db' dla serwerów warstwy wewnętrznej.

Przykładowy plik konfiguracyjny dla klienta:

```
1 [settings]
   servers_number = 1

   [serwer1]
```



```

5 ip=192.168.1.130
  port=4000
  key=AAAAB3NzaC1yc2EAAAABiWAAQEAklOUpkDHrfHY17SbrmTipNLTGK9Tjom/BWDSUGPl+nafz1
  HDITYW7hdi4yZ5ew18JH4JW9jbhUFrviQzM7xlELEVf4h9lFX5QVkbPppSwg0cda3Pbv7kOdJ/MtyBl
  WXFcr+Hao3FXRitBqxiX1nKhXpHAZsMciLq8V6RjsNAQwdsdMFvSIVK/7XAt3FaoJoAsncM1Q9x5+3
10 VOWw68/eiFmb1zuUFljQJKprX88XypNDvjYNby6vw/PbOrwert/EnmZ+AW4OZPnTPi89ZPmVMLuay
  rD2cE86Z/i18b+gw3r3+1nKatmikjn2so1d01QraTlMqVSsbnNrRFi9wrf+M7Q==

```

Wydruk 3.1. Plik konfiguracyjny klienta

Przykładowy plik konfiguracyjny dla serwera lub serwera danych:

```

1 [settings]
  threads_num = 4 ; liczba watkow puli
  queue_size = 20 ; rozmiar kolejki
  servers_number = 3 ; liczba serwerow warstwy zewnetrznej
5 servers_DB_number = 2 ; liczba serwerow warstwy wewnetrznej

  [master_settings]
    interval = 60 ; okres odpytywania wezlow w sekundach
10

  [serwer1]
    type=srv ; typ serwera
    ip=192.168.1.130 ; adres ip serwera
    portExt=2000 ; port do komunikacji z serwerami warstwy zewnetrznej
15 portDB=3000 ; port do komunikacji z serwerami danych
    portClient=4000 ; port do komunikacji z klientami
    key=AAAAB3NzaC1yc2EAAAABiWAAQEAklOUpkDHrfHY17SbrmTipNLTGK9Tjom/BWDSUGPl+nafz1
    HDITYW7hdi4yZ5ew18JH4JW9jbhUFrviQzM7xlELEVf4h9lFX5QVkbPppSwg0cda3Pbv7kOdJ/MtyBl
    WXFcr+Hao3FXRitBqxiX1nKhXpHAZsMciLq8V6RjsNAQwdsdMFvSIVK/7XAt3FaoJoAsncM1Q9x5+3
20 VOWw68/eiFmb1zuUFljQJKprX88XypNDvjYNby6vw/PbOrwert/EnmZ+AW4OZPnTPi89ZPmVMLuay
    rD2cE86Z/i18b+gw3r3+1nKatmikjn2so1d01QraTlMqVSsbnNrRFi9wrf+M7Q==
    ; klucz publiczny

  [serwer2]
25 ip=192.168.1.131
    type=srv
    portExt=2000
    portDB=3000
    portClient=4000
30 key=AAAAB3NzaC1yc2EAAAABiWAAQEAklOUpkDHrfHY17SbrmTipNLTGK9Tjom/BWDSUGPl+nafz1
    HDITYW7hdi4yZ5ew18JH4JW9jbhUFrviQzM7xlELEVf4h9lFX5QVkbPppSwg0cda3Pbv7kOdJ/MtyBl
    WXFcr+Hao3FXRitBqxiX1nKhXpHAZsMciLq8V6RjsNAQwdsdMFvSIVK/7XAt3FaoJoAsncM1Q9x5+3
    VOWw68/eiFmb1zuUFljQJKprX88XypNDvjYNby6vw/PbOrwert/EnmZ+AW4OZPnTPi89ZPmVMLuay
    rD2cE86Z/i18b+gw3r3+1nKatmikjn2so1d01QraTlMqVSsbnNrRFi9wrf+M7Q==

35 [serwer3]
    ip=192.168.1.132
    type=srv
    portExt=2000
40 portDB=3000
    portClient=4000
    key=AAAAB3NzaC1yc2EAAAABiWAAQEAklOUpkDHrfHY17SbrmTipNLTGK9Tjom/BWDSUGPl+nafz1
    HDITYW7hdi4yZ5ew18JH4JW9jbhUFrviQzM7xlELEVf4h9lFX5QVkbPppSwg0cda3Pbv7kOdJ/MtyBl
    WXFcr+Hao3FXRitBqxiX1nKhXpHAZsMciLq8V6RjsNAQwdsdMFvSIVK/7XAt3FaoJoAsncM1Q9x5+3
45 VOWw68/eiFmb1zuUFljQJKprX88XypNDvjYNby6vw/PbOrwert/EnmZ+AW4OZPnTPi89ZPmVMLuay
    rD2cE86Z/i18b+gw3r3+1nKatmikjn2so1d01QraTlMqVSsbnNrRFi9wrf+M7Q==

  [serwer4]

```

```

ip=192.168.1.132
50 type=db
   portDB=2000
   portExt=3000
   portClient = 4000
   key=AAAAB3NzaC1yc2EAAAABiWAAQEAklOUpkDHrfHY17SbrmTipNLTKG9Tjom/BWDSUGPl+nafz1
55 HDTYW7hdi4yZ5ew18JH4JW9jbhUFRviQzM7xlELEVf4h9lFX5QVkbPppSwg0cda3Pbv7kOdJ/MtyBl
   WXFCR+Hao3FXRitBqxiX1nKhXpHAZsMciLq8V6RjsNAQwdsdMFvSIVK/7XAt3FaoJoAsncM1Q9x5+3
   VOWw68/eiFmb1zuUFljQJKprX88XypNDvjYNby6vw/Pb0rwert/EnmZ+AW4OZPnTPi89ZPmVMLuay
   rD2cE86Z/i18b+gw3r3+1nKatmikjn2so1d01QraTlMqVSsbnNrRFi9wrf+M7Q==

60 [serwer5]
   ip=192.168.1.133
   type=db
   portDB=2000
   portExt=3000
65 portClient = 4000
   key=AAAAB3NzaC1yc2EAAAABiWAAQEAklOUpkDHrfHY17SbrmTipNLTKG9Tjom/BWDSUGPl+nafz1
   HDTYW7hdi4yZ5ew18JH4JW9jbhUFRviQzM7xlELEVf4h9lFX5QVkbPppSwg0cda3Pbv7kOdJ/MtyBl
   WXFCR+Hao3FXRitBqxiX1nKhXpHAZsMciLq8V6RjsNAQwdsdMFvSIVK/7XAt3FaoJoAsncM1Q9x5+3
   VOWw68/eiFmb1zuUFljQJKprX88XypNDvjYNby6vw/Pb0rwert/EnmZ+AW4OZPnTPi89ZPmVMLuay
70 rD2cE86Z/i18b+gw3r3+1nKatmikjn2so1d01QraTlMqVSsbnNrRFi9wrf+M7Q==

```

Wydruk 3.2. Plik konfiguracyjny serwera

3.6. Protokół komunikacyjny

Poniżej przedstawiony został protokół komunikacyjny zaprojektowany i użyty w ramach projektu.

3.6.1. Format ramek

Każda ramka zaczyna się znakiem '(' a kończy znakiem ')'. Pola w ramce oddzielone są znakiem ',' (przecinek). Niektóre ramki zawierają zagnieżdżone zestawy pól. Zestawy takie są ograniczone przez znaki " oraz ", a wartości oddzielone przez ';'. Nazwy pól dla czytelności dokumentu zapisywane będą w nawiasach ostrych, np. **<kraj>** (w prawdziwej ramce zapisywane są bez nawiasów). Zapis <...> oznacza, że odpowiednie pola mogą się powtarzać.

3.6.2. Komunikacja klient-serwer warstwy zewnętrznej

Pobranie listy dostępnych wyników

| | | |
|---------------------------|---|--|
| (GET_AVAILABLE_RESULTS,*) | → | |
| | ← | (RESULTS, <liczba wyników>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <...>) |

Przykładowe zapytanie:

```
1 (GET_AVAILABLE_RESULTS,*)
```

Przykładowa odpowiedź:

```
1 (RESULTS,2,1001,Badanie prostaty,Polska,M,biała,61,
1458,Pomiar ciśnienia oka,Niemcy,K,biała,16)
```

Pobranie listy dostępnych wyników spełniających kryteria

| | | |
|--|---|---|
| (GET_AVAILABLE_RESULTS, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <minimalny wiek>, <maksymalny wiek>) | → | |
| | ← | (RESULTS, <liczba wyników>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <...>) |

Płeć należy podać jako K lub M. Aby nie precyzować któregoś z pól, należy podać %. Można również wstawić % jako część wzorca, np. Po% będzie dopasowane zarówno do Polska, jak i Portugalia.

Przykładowe zapytanie:

```
1 (GET_AVAILABLE_RESULTS,*,Polska,M,*,10,11)
```

Przykładowa odpowiedź:

```
1 (RESULTS,2,1234,Badanie ogólne,Polska,M,biała,10,
3214,Pobieranie krwi,Polska,M,biała,11)
```

Pobranie pliku przypisanego do badania

| | | |
|----------------------------|---|---|
| (GET_RESULT, <id badania>) | → | |
| | ← | (RESULT, <nazwa pliku>, <roz- miar>, <dane>) |

Rozmiar podany jest w bajtach po odkodowaniu. Dane przesłane są w postaci zakodowanej w Base64.

Przykładowe zapytanie:

```
1 (GET_RESULT,1234)
```

Przykładowa odpowiedź:

```
1 (RESULT,badanie.xml,357,
MS4gQ2VydHlmaWthdCBCMg0KVHJ6ZWJhIHphcMWCYWNpxlcbmEga29udG8gMTAgemV0YSw
gYSBwb3RlbSBuYSBtYWlsYSBhLnNoYWJyb3dza2FAc2pvLnB3LmVkdS5wbCB3eXPFgmHEhyB
wb3R3aWVvZlplbmllIHByemVsZXdlIChhbGJvIG5pZSB3eXN5xYJhxlcgYWxlIG1pZcSHIHB
```

```
5 yenkgc29iaWUgcHJ6eSBvZGJpZXJhbml1KS4gUGFwaWVylGRhasSFIHcgIER6aWFsZSBkey4
gU3R1ZGVudMOzdyBTsk8gKHBvay4gNDE5LCBHLkcuKSB3IGdvZHoulDk6MDAtMTM6MDAu)
```

Pobranie statystyk

| | | |
|---|---|---|
| (GET_STATISTICS, <nazwa badania>, <data od>, <data do>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <minimalny wiek>, <maksymalny wiek>, <pole grupowania 1>, <pole grupowania 2>, <...>) | → | |
| | ← | (STATISTICS, <liczba wyników>, <zestaw grupowania>, <liczba badań>, <zestaw grupowania>, <liczba badań>, <...>) |

Pola <nazwa badania>, <data od>, <data do>, <kraj>, <płeć>, <rasa> są opcjonalne, można je pominąć podając *. Dla nazwy badania i kraju działa znak % zastępujący dowolny ciąg znaków (np. "Rentgen %" będzie dopasowany zarówno do "Rentgen ręki", jak i do "Rentgen kolana". Pola grupowania są opcjonalne, ich podanie spowoduje pogrupowanie liczby badań. W przeciwnym przypadku zapytanie zwróci tylko jeden wynik.

Na przykład dla ramki:

```
1 (GET_STATISTICS,Rentgen %,01-01-2010,*,*,M,*,*,*,*,{kraj})
```

generowane jest zapytanie zbliżone do:

```
1 select count(zestaw) from badania where nazwa_badania like 'Rentgen %'
and data >= 01-01-2010 and plec = 'M' group by (kraj) as zestaw
```

a odpowiedź to np.

```
1 (STATISTICS,2,Polska,20,Czechy,74)
```

Pobranie listy aktywnych serwerów warstwy zewnętrznej

| | | |
|------------------|---|--|
| (ACTIVE_SERVERS) | → | |
| | ← | (ACTIVE_SERVERS, <liczba serwerów>, <adres ip>, <port>, <adres ip>, <port>, <...>) |

Przykładowe zapytanie:

```
1 (ACTIVE_SERVERS)
```

Przykładowa odpowiedź:

```
1 (ACTIVE_SERVERS,3,192.168.1.40,2000,10.0.5.72,3400,192.168.15.2,3400)
```


Zatrzymanie elekcji dla konkretnego węzła

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| (<nr nadawcy>, ELECTION_STOP) | → | |
|-------------------------------|---|--|

Ramka jest przesyłana przez możliwych koordynatorów do węzłów o wyższym numerze.

Zakończenie elekcji (wybór nowego koordynatora)

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| (<nr nadawcy>, COORDINATOR) | → | |
|-----------------------------|---|--|

Ramka jest przesyłana przez nowego koordynatora do każdego serwera.

3.6.4. Komunikacja między serwerami danych**Sprawdzenie czy serwer odpowiada**

| | | |
|------------------------|---|---------------------------|
| (<nr nadawcy>, STATUS) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, STATUS_OK) |

Przykładowe zapytanie:

```
1 (2,STATUS)
```

Przykładowa odpowiedź:

```
1 (5,STATUS_OK)
```

Rozesłanie tablicy aktywności serwerów danych

| | | |
|--|---|--|
| (<nr nadawcy>, ACTIVE_SERVERS_DB, <nr serwera>, <nr serwera>, <...>) | → | |
|--|---|--|

Ramka jest przesyłana przez koordynatora do każdego aktywnego serwera danych w momencie, gdy nastąpi jakakolwiek zmiana w tablicy aktywności serwerów.

Rozesłanie tablicy aktywności serwerów warstwy zewnętrznej

| | | |
|---|---|--|
| (<nr nadawcy>, ACTIVE_SERVERS_EXT, <nr serwera>, <nr serwera>, <...>) | → | |
|---|---|--|

Ramka jest przesyłana przez koordynatora do każdego aktywnego serwera danych w momencie, gdy nastąpi jakakolwiek zmiana w tablicy aktywności serwerów warstwy zewnętrznej. Tablica aktywności serwerów warstwy zewnętrznej aktualizowana jest na żądanie.

Informacja o braku koordynatora / elekcja

| | | |
|--------------------------|---|--|
| (<nr nadawcy>, ELECTION) | → | |
|--------------------------|---|--|

Ramka jest przesyłana przez każdy serwer, który zauważy brak koordynatora do serwerów o numerze niższym niż własny.

Zatrzymanie elekcji dla konkretnego węzła

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| (<nr nadawcy>, ELECTION_STOP) | → | |
|-------------------------------|---|--|

Ramka jest przesyłana przez możliwych koordynatorów do węzłów o wyższym numerze.

Zakończenie elekcji (wybór nowego koordynatora)

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| (<nr nadawcy>, COORDINATOR) | → | |
|-----------------------------|---|--|

Ramka jest przesyłana przez nowego koordynatora do każdego serwera.

Wykonanie masowego wrzutu danych do bazy

| | | |
|--|---|----------------------------|
| (<nr nadawcy>, UPLOAD, <czas>, <dane>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, UPLOAD, OK) |

<dane> to archiwum zip zakodowane w base64. Archiwum powinno zawierać plik upload.sql, który jest wykonywany na bazie danych oraz folder data, w którym zawarte są inne pliki, które mają być dostępne jako wyniki badań.

Wykonanie pojedynczego wstawienia do bazy danych

| | | |
|---|---|----------------------------|
| (<nr nadawcy>, INSERT, <czas>, <tabela>, <kolumna 1>, <kolumna 2>, <...>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, INSERT, OK) |

Wykonanie pojedynczego wstawienia pliku na serwer danych

| | | |
|---|---|----------------------------|
| (<nr nadawcy>, ATTACH, <czas>, <nazwa pliku>, <dane>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, ATTACH, OK) |

<dane> to plik zakodowany w base64.

Wykonanie pojedynczego usunięcia z bazy danych

| | | |
|--|---|----------------------------|
| (<nr nadawcy>, DELETE, <czas>, <tabela>, <id wiersza>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, DELETE, OK) |

Wykonanie pojedynczego usunięcia pliku z serwera danych

| | | |
|---|---|----------------------------|
| (<nr nadawcy>, UNLINK, <czas>, <nazwa pliku>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, UNLINK, OK) |

3.6.5. Komunikacja między serwerami warstwy zewnętrznej a serwerami danych

Pobranie tablicy aktywności serwerów danych

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| (<nr nadawcy>, GET_ACTIVE_SERVERS_DB) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, ACTIVE_SERVERS_DB, <nr serwera>, <nr serwera>, <...>) |

Koordinator warstwy zewnętrznej co jakiś czas odpytuje dowolny serwer danych

Pobranie listy dostępnych wyników

| | | |
|--|---|--|
| (<nr nadawcy>, GET_AVAILABLE_RESULTS, *) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, RESULTS, <liczba wyników>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <...>) |

Pobranie listy dostępnych wyników spełniających kryteria

| | | |
|---|---|--|
| (<nr nadawcy>, GET_AVAILABLE_RESULTS, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <minimalny wiek>, <maksymalny wiek>) | → | |
|---|---|--|

| | | |
|--|---|--|
| | ← | (<nr nadawcy>, RESULTS, <liczba wyników>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <id badania>, <nazwa badania>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <wiek>, <...>) |
|--|---|--|

Pobranie pliku przypisanego do badania

| | | |
|--|---|--|
| (<nr nadawcy>, GET_RESULT, <id badania>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, RESULT, <nazwa pliku>, <rozmiar>, <dane>) |

Pobranie statystyk

| | | |
|---|---|---|
| (<nr nadawcy>, GET_STATISTICS, <nazwa badania>, <data od>, <data do>, <kraj>, <płeć>, <rasa>, <minimalny wiek>, <maksymalny wiek>, <pole grupowania 1>, <pole grupowania 2>, <...>) | → | |
| | ← | (<nr nadawcy>, STATISTICS, <liczba wyników>, <zestaw grupowania>, <liczba badań>, <zestaw grupowania>, <liczba badań>, <...>) |

3.6.6. Komunikacja między serwerami danych a klientem edytującym dane**Wykonanie masowego wrzutu danych do bazy**

| | | |
|------------------|---|--------------|
| (UPLOAD, <dane>) | → | |
| | ← | (UPLOAD, OK) |

<dane> to archiwum zip zakodowane w base64. Archiwum powinno zawierać plik upload.sql, który jest wykonywany na bazie danych oraz folder data, w którym zawarte są inne pliki, które mają być dostępne jako wyniki badań.

Wykonanie pojedynczego wstawienia do bazy danych

| | | |
|---|---|--------------|
| (INSERT, <tabela>, <kolumna 1>, <kolumna 2>, <...>) | → | |
| | ← | (INSERT, OK) |

Wykonanie pojedynczego wstawienia pliku na serwer danych

| | | |
|---------------------------------|---|--------------|
| (ATTACH, <nazwa pliku>, <dane>) | → | |
| | ← | (ATTACH, OK) |

<dane> to plik zakodowany w base64.

Wykonanie pojedynczego usunięcia z bazy danych

| | | |
|----------------------------------|---|--------------|
| (DELETE, <tabela>, <id wiersza>) | → | |
| | ← | (DELETE, OK) |

Wykonanie pojedynczego usunięcia pliku z serwera danych

| | | |
|-------------------------|---|--------------|
| (UNLINK, <nazwa pliku>) | → | |
| | ← | (UNLINK, OK) |

3.6.7. Obsługa błędów

Każde zapytanie może się też nie udać, należy wtedy zwrócić błąd:

- (<nr nadawcy>, ERROR, <kod błędu>) w przypadku komunikacji serwer-serwer
- (ERROR, <kod błędu>) w przypadku komunikacji klient-serwer

Lista błędów:

- HOST_OVERLOADED – system obsługuje maksymalną liczbę użytkowników, nie jest możliwe zrealizowanie żądania
- ENCRYPTION_ERROR – węzeł nie może odszyfrować otrzymanej wiadomości
- DB_LOST_CONNECTION – utracone połączenie z bazą danych
- INVALID_REQUEST – błędna ramka

3.7. Klucze prywatne i publiczne

Klucz prywatny zostanie zapisany w pliku `~/.ssh/id_rsa`. Klucz publiczny zostanie zapisany w pliku `~/.ssh/id_rsa.pub`. Wygenerowaniem kluczy publicznych i prywatnych oraz zapisaniem ich do pliku konfiguracyjnego zajmuje się węzeł, z którego jest uruchamiana aplikacja. Do generowania kluczy wykorzystywana jest biblioteka OpenSSL.

Przykładowy klucz prywatny:

```
1 -----BEGIN RSA PRIVATE KEY-----
  MIICXAIBAAKBgQCp2w+8HUdEC08V5yuKYrWJmUbltD6nSyVifN543axXvNSFzQfW
  NOGVkMsCo6W4hpl5eHvlp9Hqdcf/ZYQDWCK726u6hsZA81AblAOOXKaUaxvFC+ZK
  RJf+MtUGnv0v7CrGoblmlmMC/OQ11JfSsYi68EpnaOLepTZw+GLTnusQgwIDAQAB
5  AoGBAKDuq3PikblH/9YS11AgwjwC++7ZeltzeZJdGTSPY1El2n6Dip9ML0hUjeSM
  ROIWtac/nsNcJcNvOnUjK/c3NIAaGJcfRPiH/S0Ga6ROiDffj2UXAmk/v4wRRUzr
  5lsA0jgEt5qcq2Xr/JPQVGB4wUgI/yQK0dDhW0EdrJ707e3BAkEA1aHbmcVfCP8
  Y/uWuK0lvWxrIWfR5MlHhI8tD9lvkot2kyXiV+jB6/gktwk1QaFsy7dCXn7w03+k
```

```

10  xrjEGGN+kQJBAMuKf55IDtU9K2Js3YSSiTZAXP+Hz7XpoLxmbWFyGvBx806WjgAD
    624irwS+0tBxkERbRcisfb2cXmAxE8earT9MCQDZuVCpjBWxd1t66qYpgQ29iAmG+
    jBIY3qn9uOOC6RSTiCCx1FvFqDMxRFmGdRVFxyZwsVE3qNksF0Zko0MPKECQCEe
    oDV97DP2iCCz5je0R5hUUM2jo8DOC0GcyR+aGZgWcqjPBrwp5x08t43mHxeb4wW8
    dFZ6+trnntO4TMxkA9ECQB+yCPgO1zisJWYuD46KISoesYhwHe5C1BQEIQgi9bio
    U39fFo88w1pok23a2CZBEXguSvCvexeB68OggdDXvy0=
15  -----END RSA PRIVATE KEY-----

```

Przykładowy klucz publiczny

```

1  -----BEGIN PUBLIC KEY-----
    MIGfMA0GCSqGSIb3DQEBAQUAA4GNADCBiQKBgQCp2w+8HUdEC08V5yuKYrWJmUbl
    tD6nSyVifN543axXvNSFzQfWNOGVkMsCo6W4hpl5eHv1p9Hqdcf/ZYQDWCK726u6
    hsZA81AblAOOXKaUaxvFC+ZKRJf+MtUGnv0v7CrGoblmlmMC/OQI1JfSsYi68Epn
5  aOLepTZw+GLThusQgwIDAQAB
    -----END PUBLIC KEY-----

```

3.8. Skrypt uruchamiający aplikację

Skrypt uruchamiający aplikację jest uruchamiany na dowolnym węźle, który generuje klucze publiczne i prywatne dla wszystkich serwerów oraz serwerów danych. Musi uzupełnić nimi plik konfiguracyjny. Następnie wysyła plik konfiguracyjny przez SSH pozostałym węzłom. Ostatni krok to uruchomienie aplikacji przy jednoczesnym podaniu w argumentach numeru węzła zgodnego z danymi znajdującymi się w pliku.

4. Prezentacja systemu

4.1. Opis prezentacji systemu

1. Start aplikacji.
 - 1.1. Uruchomienie aplikacji poprzez wywołanie komendy `./ServerDaemon master` na którymkolwiek z węzłów warstwy zewnętrznej bądź wewnętrznej.
 - 1.2. Sprawdzenie uruchomienia na innych węzłach.
2. Pobranie pliku konfiguracyjnego.
 - 2.1. Wykonanie kopii starego pliku konfiguracyjnego.
 - 2.2. Wywołanie klienta bez parametrów.
 - 2.3. Porównanie starego pliku z nowo pobranym.
3. Połączenie z serwerami alternatywnymi.
 - 3.1. Odłączenie serwera widniejącego na pierwszej pozycji w pliku konfiguracyjnym klienta (klient powinien wybierać kolejne serwery).
 - 3.2. Wykonanie dowolnego zapytania klienta.
4. Pobieranie danych przez klienta.
 - 4.1. Pobranie listy badań (uruchomienie klienta z parametrem `'list'`).
 - 4.2. Pobranie badania o podanym id (uruchomienie klienta z parametrem `'get'`) i sprawdzenie anonimowości danych.
 - 4.3. Wyszukiwanie badań z filtrowaniem (uruchomienie klienta z parametrem `'search'` i filtrami: nazwa `'*'`, kraj `'Polska'`, płeć `'M'`, rasa `'*'`, minimalny wiek `'*'`, maksymalny wiek `'*'`).
 - 4.4. Umyślne wywołania klienta dla błędnych zapytań.
5. Odporność na odłączanie węzłów.
 - 5.1. Uruchomienie skryptu pobierającego za pomocą klienta listy badań i zapisującego ją w pliku.
 - 5.2. Odłączenie węzła warstwy zewnętrznej i węzła warstwy wewnętrznej.
 - 5.3. Ponowne uruchomienie skryptu i porównanie nowo pobranej listy z wcześniejszą.
6. Odporność na wymianę węzłów.
 - 6.1. Uruchomienie usługi z dwoma serwerami warstwy zewnętrznej.
 - 6.2. Uruchomienie skryptu pobierającego za pomocą klienta listy badań i zapisującego ją w pliku.
 - 6.3. Dołączenie trzeciego węzła warstwy zewnętrznej.
 - 6.4. Odłączenie węzłów działających przed podłączeniem trzeciego węzła.
 - 6.5. Ponowne uruchomienie skryptu i porównanie nowo pobranej listy z wcześniejszą.
7. Spójność danych.
 - 7.1. Wprowadzenie, przez klienta wrzucającego dane, badania zawierającego plik.
 - 7.2. Uruchomienie klienta z parametrem `list` i upewnienie się o dodaniu badania.

-
- 7.3. Odłączenie serwera danych skomunikowanego z klientem wrzucającym dane.
 - 7.4. Ponowne wywołanie listy badań i upewnienie się o tym, że wcześniej dodane badanie znajduje się na liście.
 8. Elekcja.
 - 8.1. Znalezienie koordynatorów warstwy wewnętrznej i zewnętrznej.
 - 8.2. Odłączenie koordynatorów.
 - 8.3. Sprawdzenie dowolnej funkcji systemu.
 9. Elekcja.
 - 9.1. Uruchomienie skryptu wywołującego zapytanie (pobierające plik) klienta 100 razy w normalnych warunkach pracy systemu.
 - 9.2. Uruchomienie wyżej wspomnianego skryptu w warunkach awarii, czyli gdy działa jeden serwer warstwy zewnętrznej i jeden serwer warstwy zewnętrznej.
 10. Stop usługi
 - 10.1. Wywołanie skryptu zamykającego usługę.
 - 10.2. Sprawdzenie zamknięcia na każdym węźle.

5. Testy systemu

5.1. Opis testów systemu

| | | | | |
|-------------------|----|----|--|---------|
| | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 1. | | Konfiguracja | |
| | | 1. | Pobranie konfiguracji | |
| Co sprawdza | | | Czy lista aktywnych serwerów jest poprawnie pobierana | |
| Spodziewany efekt | | | Pobranie listy aktywnych serwerów i zapisanie jej jako nowej konfiguracji | |
| Jak wykonać | | | 1. Skopiowanie starej wersji pliku konfiguracyjnego 2. Uruchomienie klienta bez parametrów 3. Sprawdzenie, czy plik konfiguracyjny różni się od kopii z 1. punktu (zwłaszcza: czy zawiera więcej niż 1 wpis o serwerach) | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 1. | | Konfiguracja | |
| | | 2. | Łączenie się z zapasowymi serwerami | |
| Co sprawdza | | | Czy działa połączenie z innymi serwerami jeśli główny serwer jest wyłączony | |
| Spodziewany efekt | | | Połączenie się z pierwszym serwerem, który jest dostępny i pobranie wyniku zapytania | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta bez parametrów (ściągnie się nowa konfiguracja) 2. Wyłączenie serwera, który widnieje w konfiguracji klienta jako pierwszy 3. Uruchomienie klienta do pobrania listy badań | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| FR1 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 2. | | Pobieranie | |
| | | 1. | Pobranie listy badań | |
| Co sprawdza | | | Czy lista dostępnych badań jest pobierana | |
| Spodziewany efekt | | | Pobranie listy badań | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' | |
| Faktyczny efekt | | | | |

| | | | | |
|-------------------|----|----|---|---------|
| FR2 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 2. | | Pobieranie | |
| | | 2. | Pobranie badania o podanym ID | |
| Co sprawdza | | | Czy pobierane jest wskazane badanie | |
| Spodziewany efekt | | | Pobranie pliku przypisanego do badania o podanym ID | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i zapamiętanie jednego z dostępnych numerów ID 2. Uruchomienie klienta z parametrem 'get' 3. Sprawdzenie czy pobrany plik to ten, o który chodziło | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| FR1 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 2. | | Pobieranie | |
| | | 3. | Wyszukiwanie badań z filtrowaniem | |
| Co sprawdza | | | Czy działa filtrowanie listy dostępnych badań | |
| Spodziewany efekt | | | Wyświetlenie listy zawężonej do badań spełniających podane kryteria | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' 2. Uruchomienie klienta z parametrem 'search' i filtrami: nazwa '*', kraj 'Polska', płeć 'M', rasa '*', minimalny wiek '*', maksymalny wiek '*' 3. Sprawdzenie, czy zwrócona lista jest zgodna z zapytaniem z punktu 2 4. Sprawdzenie, czy zwrócona lista odpowiada liście z punktu 1. okrojonej do wpisów spełniających podane kryteria | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| FR3 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 2. | | Pobieranie | |
| | | 4. | Pobranie statystyk z filtrowaniem i grupowaniem | |
| Co sprawdza | | | Czy pobierane są statystyki spełniające kryteria | |
| Spodziewany efekt | | | Pobranie statystyk zgodnych z podanym filtrem i odpowiednio pogrupowanych | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'search' i filtrami: nazwa '*', kraj 'Polska', płeć '*', rasa '*', minimalny wiek '*', maksymalny wiek '*' 2. Uruchomienie klienta z parametrem 'stats' i filtrami: nazwa '*', kraj 'Polska', płeć '*', rasa '*', minimalny wiek '*', maksymalny wiek '*' oraz grupowaniem po płci ('p') 3. Sprawdzenie, czy statystyki zgadzają się z wynikami z punktu 1 | |
| Faktyczny efekt | | | | |

| | | | | |
|-------------------|----|----|---|---------|
| FR2 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 1. | | | Działanie klienta pobierającego | |
| | 2. | | Pobieranie | |
| | | 5. | Działanie anonimizowania badań | |
| Co sprawdza | | | Czy pobierane dane są zanonimizowane | |
| Spodziewany efekt | | | Pobranie pliku xml z usuniętymi danymi osobowymi | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i wybranie jednego z dostępnych ID 2. Uruchomienie klienta z parametrem 'get' i pobranie pliku xml 3. Sprawdzenie, czy plik ma poprawnie usunięte dane osobowe | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR2 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 1. | | Dołączanie, odłączanie serwerów | |
| | | 1. | Odłączenie jednego serwera warstwy zewnętrznej | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa po odłączeniu jednego z serwerów warstwy zewnętrznej | |
| Spodziewany efekt | | | Odłączenie serwera nie wpływa na poprawne działanie usługi | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i zapamiętanie listy 2. Odłączenie jednego z serwerów warstwy zewnętrznej (np. tego, który jest pierwszy w pliku konfiguracyjnym klienta) 3. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i porównanie wyniku z punktem 1 | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR2 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 1. | | Dołączanie, odłączanie serwerów | |
| | | 2. | Odłączenie jednego serwera danych | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa po odłączeniu jednego z serwerów danych | |
| Spodziewany efekt | | | Odłączenie serwera nie wpływa na poprawne działanie usługi | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i zapamiętanie listy 2. Odłączenie jednego z serwerów danych 3. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i porównanie wyniku z punktem 1 | |
| Faktyczny efekt | | | | |

| | | | | |
|-------------------|----|----|--|---------|
| NFR4 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 1. | | Dołączanie, odłączanie serwerów | |
| | | 3. | Wymiana serwerów | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa po całkowitej wymianie serwerów jednej z warstw | |
| Spodziewany efekt | | | Wymiana serwerów nie wpływa na poprawne działanie usługi | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie usługi z 2 serwerami warstwy zewnętrznej (spośród 3) 2. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i zapamiętanie listy 3. Dołączenie brakującego serwera i odpięcie pozostałych dwóch 4. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i porównanie wyniku z punktem 1 | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR4 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 1. | | Dołączanie, odłączanie serwerów | |
| | | 4. | Pozostawienie po 1 serwerze każdej warstwy | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa jeśli zostało tylko po jednym serwerze każdej z warstw | |
| Spodziewany efekt | | | Odłączenie serwerów nie wpływa na poprawne działanie usługi | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta i pobranie listy 2. Odłączenie serwerów (zostaje po jednym dla każdej z warstw) 3. Uruchomienie klienta i pobranie listy | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR6 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 2. | | Spójność danych | |
| | | 1. | Odłączenie serwera danych | |
| Co sprawdza | | | Czy dane są spójne po przełączeniu się na inny serwer danych | |
| Spodziewany efekt | | | Dane są spójne | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta wrzucającego dane i wrzucenie 1 badania z plikiem 2. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i zapamiętanie listy (należy upewnić się, że na liście jest nowo dodany plik) 3. Odłączenie serwera danych (najlepiej tego, do którego łączył się klient wrzucający) 4. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i porównanie wyniku z punktem 2 | |
| Faktyczny efekt | | | | |

| | | | | |
|-------------------|----|----|--|---------|
| NFR3 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 3. | | Elekcja | |
| | | 1. | Odłączenie koordynatora warstwy zewnętrznej | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa po odłączeniu koordynatora warstwy zewnętrznej | |
| Spodziewany efekt | | | Usługa działa poprawnie | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie usługi i sprawdzenie, który z serwerów jest koordynatorem 2. Odłączenie koordynatora | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR3 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 2. | | | Działanie serwerów | |
| | 3. | | Elekcja | |
| | | 2. | Odłączenie koordynatora warstwy danych | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa po odłączeniu koordynatora warstwy danych | |
| Spodziewany efekt | | | Usługa działa poprawnie | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie usługi i sprawdzenie, który z serwerów jest koordynatorem 2. Odłączenie koordynatora | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR12 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 3. | | | Wymagania нефункционалне | |
| | 1. | | Obsługa 100 użytkowników jednocześnie | |
| | | 1. | Zapewnienie działania przy normalnej pracy | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa dla 100 jednoczesnych zapytań, gdy pracują wszystkie serwery | |
| Spodziewany efekt | | | Usługa działa poprawnie | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i wybranie jednego z ID 2. Włączenie 100 razy (najlepiej współbieżnie) klienta z parametrem 'get' 3. Sprawdzenie, czy każdy klient otrzymał spodziewany plik | |
| Faktyczny efekt | | | | |

| | | | | |
|-------------------|----|----|--|---------|
| NFR12 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 3. | | | Wymagania нефункционалне | |
| | 1. | | Obsługa 100 użytkowników jednocześnie | |
| | | 2. | Zapewnienie działania w czasie awarii | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa działa dla 100 jednocześnie zapytań, gdy pracuje po jednym serwerze z każdej warstwy | |
| Spodziewany efekt | | | Usługa działa poprawnie | |
| Jak wykonać | | | 1. Uruchomienie klienta z parametrem 'list' i wybranie jednego z ID 2. Włączenie klienta z parametrem 'get' i zapamiętanie pliku 3. Wyłączenie prawie wszystkich serwerów (zostaje po 1 serwerze każdej warstwy) 4. Włączenie 100 razy (najlepiej współbieżnie) klienta z parametrem 'get' 5. Sprawdzenie, czy każdy klient otrzymał poprawny plik | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR11 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 3. | | | Wymagania нефункционалне | |
| | 2. | | Start i stop usługi | |
| | | 1. | Start usługi | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa uruchomi się po wydaniu polecenia na dowolnym z węzłów | |
| Spodziewany efekt | | | Usługa uruchamia się na każdym z węzłów | |
| Jak wykonać | | | 1. Włączenie usługi na jednym z węzłów 2. Sprawdzenie czy usługa jest włączona na każdym z węzłów | |
| Faktyczny efekt | | | | |
| NFR11 | | | Zaliczony: | TAK/NIE |
| 3. | | | Wymagania нефункционалне | |
| | 2. | | Start i stop usługi | |
| | | 2. | Stop usługi | |
| Co sprawdza | | | Czy usługa wyłączy się po wydaniu polecenia na dowolnym z węzłów | |
| Spodziewany efekt | | | Usługa wyłącza się na każdym z węzłów i zwalnia zajęte porty | |
| Jak wykonać | | | 1. Włączenie usługi 2. Wydanie polecenia zatrzymania usługi na dowolnym z węzłów (najlepiej na innym niż włączenie usługi) 3. Sprawdzenie, czy na każdym węźle usługa jest wyłączona i czy porty są zwolnione 4. Ponowne włączenie usługi i sprawdzenie, czy start jest bezproblemowy | |
| Faktyczny efekt | | | | |

6. Docker

6.1. Opis rozwiązania Docker

Docker jest narzędziem ułatwiającym proces tworzenia, dystrybucji i wdrażania oprogramowania. Pozwala on na umieszczenie aplikacji wraz z jej bezpośrednimi zależnościami w kontenerze i uruchomienie jej na dowolnej maszynie z systemem Linux. Aplikacje działające za pomocą Dockera są odizolowane od infrastruktury, dzięki czemu możliwe jest uruchomienie kilku niezależnych kontenerów z aplikacjami symulujących pracę w środowisku rozproszonym. Jednocześnie narzędzie to zapewnia niewielkie zużycie pamięci dzięki współdzieleniu warstw UFS obrazów (ang. Union File System) pomiędzy kontenerami. Współdzielenie jądra systemu pomiędzy kontenerami, a systemem gospodarza zapewnia natomiast krótkie czasy uruchomienia. Ze względu na te cechy korzystanie z aplikacji uruchomionej za pomocą Dockera jest niemal tak wydajne, jak działającej na systemie gospodarza.

Podstawowymi komponentami Dockera są:

- *Docker Engine* - platforma do tworzenia kontenerów na uruchamiane przez użytkownika aplikacje,
- *Docker Hub* – oficjalne repozytorium obrazów przechowujące obrazy udostępniane przez użytkowników

Docker działa w architekturze klient – serwer. Do komunikacji klienta z demonem wykorzystywany jest protokół HTTP i odbywa się ona poprzez gniazda (ang. sockets) lub RESTful API. Klient Dockera jest podstawowym interfejsem komunikacyjnym z Dockerem – przyjmuje wpisywane przez użytkownika komendy z określonego zestawu poleceń i przekazuje je do demona. Demon odpowiada za budowanie obrazów, uruchamianie i dystrybucję kontenerów. Klient i demon mogą działać na tym samym systemie lub ich funkcje mogą zostać rozdzielone pomiędzy różne hosty.

Podstawowymi pojęciami Dockera są:

- *obrazy* – komponent odpowiadający budowaniu,
- *rejstry* – komponent odpowiadający dystrybucji,
- *kontenery* – komponent odpowiadający uruchamianiu.

Obraz jest to szablon służący tylko do odczytu, stanowiący podstawę do utworzenia kontenera. Obraz może zawierać np. system operacyjny Ubuntu z serwerem Apache oraz zainstalowaną aplikacją webową, którą chcemy uruchomić. Za pomocą Dockera mamy możliwość budowania nowych obrazów, aktualizowania istniejących, pobierania obrazów stworzonych przez innych i udostępniania własnych. Każdy obraz składa się z warstw tworzących ujednolicony system plików (ang. UFS). Ta technologia powoduje, że obrazy Dockera są lekkie – wprowadzenie zmian w aplikacji nie wiąże się z przebudową całego obrazu, a jedynie z aktualizacją lub dodaniem danej warstwy.

Każdy obraz ma obraz bazowy (np. obraz systemu Ubuntu lub obraz utworzony przez użytkownika), na podstawie którego jest budowany za pomocą zestawu instrukcji. Każda instrukcja powoduje dodanie warstwy do naszego obrazu (taką instrukcją może być np. wywołanie komendy, dodanie pliku lub folderu, instalacja pakietu, utworzenie zmiennej środowiskowej). Polecenia tworzące obraz Dockera przechowywane są w pliku Dockerfile. Podczas budowania obrazu Docker odczytuje kod źródłowy zawarty w pliku Dockerfile, wykonuje zapisane instrukcje i zwraca końcowy obraz.

Przykładowe operacje na obrazie:

— Pobieranie obrazu:

```
1 docker pull {nazwa obrazu}
```

— Wyświetlanie lokalnie dostępnych obrazów:

```
1 docker images
```

— Wyświetlenie warstw składających się na obraz:

```
1 docker history {id lub nazwa obrazu}
```

— Usunięcie obrazu

```
1 docker rmi {id lub nazwa obrazu}
```

Rejestry są miejscem, gdzie można udostępniać i skąd można pobierać obrazy. Mogą one być zarówno publiczne, jak i prywatne. Publiczny rejestr Dockera stanowi Docker Hub zawierający bazę obrazów stworzonych przez użytkowników Dockera. Istnieje również lokalne repozytorium na maszynie użytkownika. Za pomocą klienta Dockera możliwe jest przeszukiwanie opublikowanych obrazów oraz pobieranie ich w celu utworzenia kontenera.

Kontener tworzony jest na podstawie obrazu, który zawiera informacje o tym, co przechowuje kontener, jaki proces ma zostać uruchomiony po jego utworzeniu oraz inne dane konfiguracyjne. Kontener składa się z zestawu ujednoliconych warstw tylko do odczytu, pochodzących z obrazu kontenera oraz z pojedynczej warstwy do odczytu i zapisu umożliwiającej działanie procesów uruchamianych w kontenerze. Na kontenerach można wykonywać podstawowe operacje: uruchomić, zatrzymać, przenieść i usunąć.

Przykładowe operacje na kontenerze

— Tworzenie i uruchamianie kontenera:

```
1 docker run {nazwa lub id obrazu}
```

Uruchomienie tego polecenia z parametrem `-d` powoduje uruchomienie kontenera działającego w tle, natomiast parametr `-rm=true` powoduje, że kontener zostanie usunięty natychmiast po wykonaniu zadania.

— Wyświetlanie wszystkich kontenerów:

```
1 docker ps -a
```

— Zatrzymanie kontenera

```
1 docker stop {id lub nazwa kontenera}
```

— Usunięcie kontenera

```
1 docker rm {id lub nazwa kontenera}
```

Docker udostępnia również możliwość automatycznego budowania obrazu w synchronizacji z systemem kontroli wersji (GitHub lub Bitbucket). Dzięki umieszczeniu w repozytorium pliku *Dockerfile* oraz powiązaniu konta Docker Hub i kontem w wybranym systemie kontroli wersji, po każdorazowej aktualizacji kodu w repozytorium budowany, na jego podstawie budowany jest aktualny obraz Dockera i zapisywany w repozytorium DockerHub.

6.2. Raport z przykładowych uruchomień

6.2.1. Uruchomienie aplikacji 'Hello World'

Aplikacja uruchamiana jest poleceniem

```
1 $ docker run ubuntu /bin/echo 'Hello world'
```

gdzie:

- *docker run* – uruchamia kontener
- *ubuntu* – obraz, na podstawie którego tworzony jest kontener (obraz systemu ubuntu)
- */bin/echo 'Hello world'* – polecenie, które ma zostać wywołane wewnątrz utworzonego kontenera

Odpowiedź Dockera na zadaną komendę:

```
1 Unable to find image 'ubuntu:latest' locally
  latest: Pulling from library/ubuntu
  759d6771041e: Pull complete
  8836b825667b: Pull complete
  5 c2f5e51744e6: Pull complete
  a3ed95caeb02: Pull complete
  Digest: sha256:b4dbab2d8029edddfe494f42183de20b7e2e871a424ff16ffe7b15a31f102536
  Status: Downloaded newer image for ubuntu:latest
  Hello world
```

Docker przeszukuje dostępne lokalnie obrazy. Jeżeli nie znajduje danego obrazu lokalnie, wyszukuje i pobiera go z repozytorium Docker Hub. Następnie uruchamia kontener, wykonuje polecenie wyświetlenia napisu "Hello world" i zatrzymuje kontener.

Aplikację można uruchomić również w trybie interaktywnym, stosując flagi *-i -t* za pomocą polecenia

```
1 $ docker run -t -i ubuntu /bin/bash
```

gdzie flaga `-t` powoduje uruchomienie terminala w kontenerze, natomiast flaga `-i` pozwala wczytywać w kontenerze znaki wpisywane na klawiaturze. Odpowiedź Dockera:

```
1 root@879d9c1665ca:/# ls
  bin  dev  home  lib64  mnt  proc  run   srv  tmp  var  boot  etc  lib  media
  opt  root  sbins  sys  usr
root@879d9c1665ca:/# exit
5 exit
```

Innym sposobem uruchomienia aplikacji jest uruchomienie jej w trybie demona dzięki zastosowaniu flagi `-d`. Poniższe polecenie spowoduje wyświetlenie napisu 'Hello world' co 1 sekundę:

```
1 $ docker run -d ubuntu /bin/sh -c "while true; do echo hello world;
  sleep 1; done"
```

Sprawdzenie, czy kontener został uruchomiony:

```
1 $ docker ps
```

Odpowiedź Dockera:

| CONTAINER ID | IMAGE | COMMAND | NAMES | CREATED |
|--------------|--------|-------------------------|------------|---------------|
| c99a2503f886 | ubuntu | "/bin/sh -c 'while tr'' | evil_morse | 2 minutes ago |
| Up 2 minutes | | | | |

Sprawdzenie wyjścia kontenera:

```
1 $ docker logs evil_morse
```

Odpowiedź Dockera:

```
1 hello world
  hello world
  hello world ....
```

Zatrzymanie kontenera:

```
1 $ docker stop evil_morse
```

6.2.2. Uruchomienie aplikacji webowej

Aplikacja uruchamiana jest poleceniem:

```
1 $ docker run -d -P training/webapp python app.py
```

gdzie

- *docker run* – uruchamia kontener
- *-d* - flaga powodująca działanie w tle kontenera
- *-P* – flaga nakazująca Dockerowi odwzorowanie portów kontenera na porty na maszynie gospodarza
- *training/webapp* – obraz, na podstawie którego tworzony jest kontener

— `python app.py` – polecenie, które ma zostać wywołane wewnątrz utworzonego kontenera (uruchomienie aplikacji webowej)

Odpowiedź Dockera:

```

1  Unable to find image 'training/webapp:latest' locally
   latest: Pulling from training/webapp
   e190868d63f8: Pull complete
   909cd34c6fd7: Pull complete
5  0b9bfabab7c1: Pull complete
   a3ed95caeb02: Pull complete
   10bbbc0fc0ff: Pull complete
   fca59b508e9f: Pull complete
   e7ae2541b15b: Pull complete
10 9dd97ef58ce9: Pull complete
   a4c1b0cb7af7: Pull complete
   Digest: sha256:06e9c1983bd6d5db5fba376ccd63bfa529e8d02f23d5079b8f74a616308fb11d
   Status: Downloaded newer image for training/webapp:latest
   426c053faa028c411e8ca32f21ec9907da7b442dd83a321f4e47697a8e7cfb7f

```

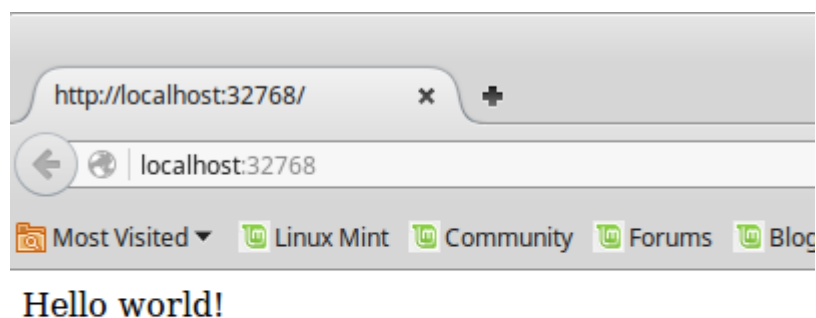
Obraz nie został znaleziony w lokalnym rejestrze, dlatego pobrano go z rejestru Docker Hub. Za pomocą polecenia `docker ps -l` można sprawdzić szczegółowe informacje dotyczące ostatnio uruchomionego kontenera.

```

1  $ docker ps -l
   CONTAINER ID   IMAGE          COMMAND                  CREATED
   STATUS        PORTS          NAMES
426c053faa02    training/webapp  "python app.py"         13 minutes ago
5  Up 12 minutes   0.0.0.0:32768->5000/tcp  berserk_euler

```

Kolumna *ports* mówi nam o tym, że port 5000 w kontenerze jest odwzorowany na port 32768 na maszynie lokalnej. Działanie aplikacji możemy sprawdzić wyszukując w przeglądarce port 32768.



Rysunek 6.1. Działająca aplikacja webowa

6.2.3. Tworzenie własnego obrazu

Własny obraz można utworzyć na dwa sposoby:

- poprzez aktualizację kontenera stworzonego na podstawie obrazu oraz zapisanie wprowadzonych zmian do obrazu,
- za pomocą pliku *Dockerfile*.

W pierwszym przypadku mamy utworzony kontener na podstawie obrazu i wprowadziliśmy do niego nowe dane, np. zainstalowaliśmy program. Nowy obraz tworzymy za pomocą polecenia:

```
1 $ docker commit -m "Added program" -a "Author" bd625e9176a7 author/ubuntu:v2
```

gdzie

- *docker commit* – zapisuje stan kontenera w postaci obrazu
- *-m* – flaga pozwalająca zapisać co zostało zmienione w obrazie
- *-a* – flaga informująca o autorze wprowadzonych zmian
- *bd625e9176a7* – numer ID kontenera, na bazie którego tworzony jest nowy obraz
- *author/ubuntu:v2* – nazwa repozytorium oraz znacznik wersji utworzonego obrazu

Po wywołaniu tego polecenia możemy sprawdzić listę obrazów w lokalnym repozytorium:

```
1 $ docker images
REPOSITORY          TAG          IMAGE ID          CREATED
author/ubuntu       v2          adbc62b82a11     19 seconds ago
5 725.1 MB
ubuntu              latest      b72889fa879c     11 days ago
188 MB
training/webapp     latest      6fae60ef3446     11 months ago
348.8 MB
```

Tworzenie obrazu z pliku *Dockerfile* przebiega następująco. Najpierw tworzymy katalog na nasz plik, a w nim plik *Dockerfile*:

```
1 $ mkdir dockerbuild
$ cd dockerbuild/
$ touch Dockerfile
```

Zawartość pliku może wyglądać następująco:

```
1 FROM ubuntu:14.04
MAINTAINER Author <author@example.com>
RUN apt-get update
RUN apt-get install build-essential
5 RUN apt-get install qt5-default
```

Plik *Dockerfile* składa się z instrukcji, których nazwy pisane są wielkimi literami, poprzedzających polecenia: *INSTRUKCJA polecenie*. Wyjaśnienie instrukcji wykorzystanych w powyższym pliku:

- *FROM ubuntu:14.04* – ta komenda mówi o tym, że obraz bazuje na obrazie systemu ubuntu wersji 14.04
- *MAINTAINER Author <author@example.com>* - wskazanie autora obrazu
- *RUN ...* - instrukcja RUN nakazuje wykonać w kontenerze dane polecenia

Następnie budujemy obraz na podstawie pliku *Dockerfile* (przy wywołaniu tej komendy musimy znajdować się w katalogu, w którym jest nasz plik *Dockerfile*):

```
1 $ docker build -t author/ubuntu:v2 .
```

6.2.4. Korzystanie z Docker Hub

Utworzony obraz może zostać udostępniony w repozytorium Docker Hub, a następnie pobrany przez członków naszego zespołu. W tym celu należy się zalogować na swoje konto Docker Hub za pomocą klienta dockera:

```
1 $ docker login
```

Po podaniu danych logowania możemy udostępnić obraz:

```
1 $ docker push author/ubuntu:v2
```

Następnie może on zostać pobrany przez innych użytkowników:

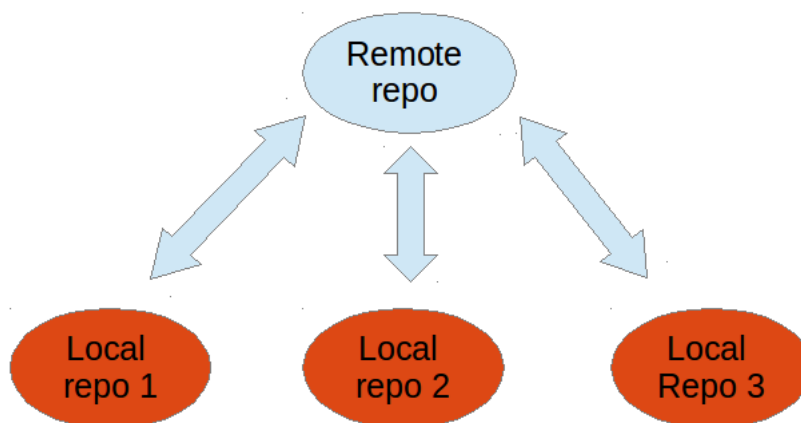
```
1 $ docker pull author/ubuntu:v2
```

Dodatek A. Wprowadzenie i instrukcja użytkowania systemu kontroli wersji Git

A.1. Wprowadzenie

Do wspomagania równoległego, rozgałęzionego procesu rozwoju projektu przez wielu programistów, zdecydowano się wykorzystać rozproszony system kontroli wersji Git.

Git jest obecnie najbardziej popularną implementacją rozproszonego systemu kontroli wersji. W przeciwieństwie do innych systemów kontroli wersji, Git nie zapamiętuje zmian między kolejnymi rewizjami, lecz kompletne obrazy. Każdy z użytkowników posiada lokalną kopię repozytorium na swoim własnym komputerze po uprzednim sklonowaniu repozytorium zewnętrznego (zdalnego). Pozwala to na pracę w trybie off-line i wprowadzanie zmian w wersji lokalnej projektu i efektywną pracę nad dużymi projektami.



Rysunek A.1. Schemat połączeń między repozytoriami Git

Następnie zmiany mogą być wymieniane między lokalnymi repozytoriami. Służy do tego repozytorium zewnętrzne (remote repository) działające na serwerze. Serwisem przechowującym rozwijany projekt jest GitHub (<https://github.com/>), który udostępnia darmowy hosting open source.

Repozytorium projektu jest dostępne pod adresem:
<https://github.com/Gonz8/RSO-16L>

A.2. Przygotowanie do pracy i pierwsze pobranie zawartości repozytorium

Na samym początku wymagane jest posiadanie klienta Git zainstalowanego w swoim systemie. Wszelkie istotne informacje dotyczące korzystania z Git możemy uzyskać wpisując w terminalu:

```
1 $ git help
```

Następnie musimy określić własną nazwę oraz adres e-mail w systemie Git:

```
1 $ git config --global user.name 'Your Name'
   $ git config --global user.email 'address@example.com'
```

Aby zaimportować repozytorium ze wspomnianego serwera należy wykonać polecenie:

```
1 $ git clone https://github.com/Gonz8/RSO-16L
```

Wszystkie pliki zostaną sklonowane do nowo utworzonego katalogu, z poziomu którego należy utworzyć lokalne repozytorium:

```
1 $ git init
```

Utworzone w ten sposób repozytorium jest już powiązane ze zdalną wersją (origin). Możemy to sprawdzić przy użyciu polecenia:

```
1 $ git remote -v
```

A.3. Użytkowanie

Po zaimportowaniu projektu oraz utworzeniu lokalnej kopii repozytorium można rozpocząć pracę z danymi. Aby sprawdzić status dokonanych zmian należy użyć w katalogu z kopią roboczą następującego polecenia:

```
1 $ git status
```

Dodanie nowego pliku, kilku plików lub katalogu do kopii roboczej wykonywane jest przy użyciu komendy:

```
1 $ git add <filename>
   $ git add *
```

Aby zatwierdzić wszelkie dokonane zmiany w lokalnym repozytorium należy użyć polecenia:

```
1 $ git commit -a
```

a następnie podać treść/opis poczynionych zmian. W celu przechwycenia najnowszych zmian z serwera wykonujemy polecenie:

```
1 $ git fetch origin
```

natomiast, aby przechwycić zmiany z serwera i dodatkowo dołączyć je do własnego katalogu roboczego wykonujemy polecenie:

```
1 $ git pull
```

Wysyłanie zmian poczynionych w wersji lokalnej do zdalnego repozytorium realizowane jest dzięki komendzie:

```
1 $ git push origin master
$ git push origin <branchname>
```

Git pozwala również na tworzenie, usuwanie i przełączanie się między gałęziami projektu, do wykonania tych operacji służą następujące polecenia:

```
1 $ git checkout -b <branchname>
$ git branch -d <branchname>
$ git checkout <branchname>
```

Wyświetlenie listy wszystkich gałęzi dostępnych w repozytorium możliwe jest poprzez komendę:

```
1 $ git branch
```

Natomiast w celu dołączenia innej gałęzi do obecnie aktywnej należy wykonać polecenie:

```
1 $ git merge <branchname>
```

Ostatnim również istotnym poleceniem jest wyświetlenie historii logów/commit'ów:

```
1 $ git log
```

Dodatkowo po zainstalowaniu pakietu **gitk** można wyświetlać graficzną prezentację historii zmian projektu.

A.4. Dodatkowe narzędzia

Mimo faktu, że Git jest rozproszonym systemem kontroli wersji, zdecydowano się na wykonywanie dodatkowej i okresowej kopii zapasowej projektu (tzw. backup). Kopia bezpieczeństwa jest jednym z elementów utrzymania repozytorium i zabezpiecza przed utratą danych (np. awarii może ulec komputer głównego programisty, przez co istnieje ryzyko utraty lokalnej kopii repozytorium). Rozwiązaniem tego zagadnienia będzie okresowe wywoływanie napisanego skryptu, który aktualizuje zawartość sklonowanego repozytorium znajdującego się również w folderze powiązanim z naszym kontem Dropbox. Pozwala to w prosty sposób przechowywać kopię zawartości repozytorium na innym serwerze zewnętrznym (poza GitHub) i zabezpieczyć przed utratą danych.

Serwis GitHub świadczy szereg dodatkowych usług wspomagających rozwój projektu programistycznego. Zdecydowano się wykorzystać usługę Wiki, gdzie w łatwy sposób można wprowadzać i modyfikować istotne treści w kontekście projektu. Jest to miejsce, gdzie można w szybki i wygodny sposób odnaleźć uporządkowane informacje. Jednym z odnośników w tej usłudze jest zakładka "Dobre praktyki

kodowania”, gdzie znajdują się wszystkie wspólnie ustalone przez programistów zasady pisania kodu pozwalające utrzymać przejrzystość i spójność kodu.

Ponadto zdecydowano się uruchomić usługę śledzenia zgłoszeń (tzw. *issue tracking*) na potrzeby wspierania testowania oprogramowania oraz zgłaszania napotkanych błędów i tworzenia dla nich poprawek.

A.5. Przydatne informacje

Instrukcja została opracowana na podstawie materiałów znalezionych w sieci. Więcej informacji dotyczących użytkowania systemu kontroli wersji Git można znaleźć na stronach:

- <https://git-scm.com/docs/gittutorial>
- <http://www.vogella.com/tutorials/Git/article.html#git>

Dodatek B. Spotkania zespołu

Poniżej znajduje się lista spotkań zespołu (z datami i ustaleniami):

B.1. Spotkanie zespołu nr 1

Data spotkania: 31 marca 2016

Ustalenia:

- Przedstawienie oczekiwań wobec ról w projekcie
- Interpretacja i doprecyzowanie tematu projektu
- Wybór danych medycznych jako danych przetwarzanych w ramach projektu
- Przydział zadań na najbliższy czas:
 - Dominik Giżyński - założenie repozytorium, instrukcja korzystania oraz dokument dobrych praktyk obowiązujących w projekcie
 - Piotr Kuciński - doprecyzowanie wymagań przedmiotu, przegląd algorytmów do wykorzystania w projekcie
 - Włodzimierz Szewczyk - doprecyzowanie wymagań przedmiotu, przegląd algorytmów do wykorzystania w projekcie
 - Michał Herman - szkielet dokumentacji, wybór bazy danych używanej w projekcie
 - Magda Malenda - architektura systemu, podział systemu na moduły, specyfikacja wymagań, wybór bazy danych używanej w projekcie
 - Joanna Ohradka - koncepcja wykorzystania narzędzia Docker
 - Tomasz Rydzewski - harmonogram projektu, specyfikacja wymagań

B.2. Spotkanie zespołu nr 2

Data spotkania: 19 kwietnia 2016

Ustalenia:

- Porzucenie pomysłu klastrowej bazy danych
- Definiowanie zadań na drugi etap
- Spisanie koncepcji architektury, wymagań i zastosowania Dockera (do 23 kwietnia)
- Zebranie i ujednolicenie dokumentacji (do 27 kwietnia)

B.3. Spotkanie zespołu nr 3

Data spotkania: 10 maja 2016

Ustalenia:

- Omówienie poprawek do etapu pierwszego

- Cotygodniowe spotkania (termin wybrany później ankietą)
- W przypadku potrzeby częstszych spotkań w mniejszym gronie - telekonferencje
- Ustalenie rodzaju przetwarzania danych : statystyka i anonimizacja
- Przeniesienie komunikacji w ramach zadań na GitHub
- Przydział zadań na drugi etap:
 - Dominik Giżyński - prototyp aplikacji
 - Piotr Kuciński - plan testów
 - Włodzimierz Szewczyk - uruchamianie / zatrzymywanie aplikacji, scenariusz końcowej demonstracji projektu
 - Michał Herman - zebranie poprawionych dokumentacji pierwszego etapu, zredagowanie ustaleń ze spotkań zespołu, wyszukanie aktów prawnych dotyczących ochrony danych osobowych, wygenerowanie przykładowych danych do bazy
 - Magda Malenda - szczegółowy opis rozwiązania, protokół komunikacyjny
 - Joanna Ohradka - protokół spójności, szkolenia Docker

B.4. Spotkanie zespołu nr 4

Data spotkania: 17 maja 2016

Ustalenia:

- Omówienie postępu prac
- Harmonogram na następne dwa tygodnie (do końca drugiego etapu):
 - Interfejs protokołu komunikacyjnego (do 20 maja) - osoby odpowiedzialne : Piotr Kuciński i Magda Malenda
 - Poprawiona i uzupełniona dokumentacja, raport z postępu prac (do 26 maja) - Michał Herman
 - Połączenie poszczególnych modułów (24 maja) - Dominik Giżyński i Włodzimierz Szewczyk
- Potrzeba środowiska wirtualnego (przygotowanie maszyny wirtualnej - Piotr Kuciński)

B.5. Spotkanie zespołu nr 5

Data spotkania: 24 maja 2016

Ustalenia:

- Dwie wersje klienta (jedna pobierająca - komunikuje się z serwerami warstwy zewnętrznej, druga dodająca/usuwająca dane z bazy - komunikuje się bezpośrednio z serwerami warstwy wewnętrznej).
- Przydział kolejnych zadań:
 - Piotr Kuciński - klient
 - Joanna Ohradka - protokół spójności
 - Magda Malenda - węzeł warstwy wewnętrznej (bez statystyki danych)
 - Włodzimierz Szewczyk - prezentacja końcowa
 - Dominik Giżyński - węzeł warstwy zewnętrznej
 - Michał Herman - zasilenie bazy danych przykładowymi danymi, statystyka

Dodatek C. Narzędzia

Poniżej znajduje się lista narzędzi i technologii użytych do realizacji projektu.

- C++
- Qt
- PostgreSQL
- GanttProject
- \LaTeX
- Git
- OpenSSL

Dodatek D. Role projektowe

| | |
|---------------------|--|
| Imię i Nazwisko | Tomasz Rydzewski |
| Stanowisko | Kierownik |
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none">— przydział ról— organizacja spotkań projektowych— organizacja harmonogramu projektu— pomoc w opracowaniu wstępnej architektury |
| Prace developerskie | |

| | |
|---------------------|---|
| Imię i Nazwisko | Joanna Ohradka |
| Stanowisko | Specjalista Dockera |
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none">— opracowanie wykorzystania rozwiązania docker— stworzenie materiałów szkoleniowych z wykorzystywania— weryfikacja poprawności dokumentacji |
| Prace developerskie | <ul style="list-style-type: none">— prace nad protokołem spójności— prace nad serwerem warstwy wewnętrznej— prace nad klientem do wprowadzania danych— debugowanie węzłów oraz klienta |

| | |
|-----------------|---|
| Imię i Nazwisko | Michał Herman |
| Stanowisko | Dokumentalista/Specjalista od bazy danych |

| | |
|---------------------|---|
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none">— spajanie dokumentacji projektowej— weryfikacja poprawności dokumentacji— sporządzanie notatek ze spotkań projektowych |
| Prace developerskie | <ul style="list-style-type: none">— prace nad bazą danych— integracja serwera warstwy wewnętrznej z bazą danych— prace nad wyciąganiem statystyk z danych— prace nad anonimizacją danych— wypełnienie bazy danych przykładowymi danymi— debugowanie węzłów |

| | |
|---------------------|--|
| Imię i Nazwisko | Włodzimierz Szewczyk |
| Stanowisko | Handlowiec |
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none">— zdobycie podstawowych informacji o przedmiocie projektu— pomoc w opracowaniu przypadków użycia na potrzeby testów— przygotowanie prezentacji końcowej projektu |
| Prace developerskie | <ul style="list-style-type: none">— prace nad rozruchem aplikacji (połączenie ssh wszystkich hostów)— pomoc w implementacji serwera— debugowanie węzłów oraz klienta |

| | |
|-----------------|----------------|
| Imię i Nazwisko | Piotr Kuciński |
| Stanowisko | Tester |

| | |
|---------------------|---|
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none"> — audyty koncepcji projektu — prace nad protokołem komunikacyjnym — opracowanie planu testów — pomoc w opracowaniu planu prezentacji |
| Prace developerskie | <ul style="list-style-type: none"> — prace nad biblioteką komunikacyjną — prace nad klientem do pobierania danych oraz klientem do wstawiania danych — debugowanie węzłów oraz klienta |

| | |
|---------------------|---|
| Imię i Nazwisko | Dominik Giżyński |
| Stanowisko | Repomaster |
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none"> — pracę nad algorytmem elekcji — utrzymywanie repozytorium — stworzenie dokumentacji systemu kontroli wersji git |
| Prace developerskie | <ul style="list-style-type: none"> — prace nad serwerem warstwy wewnętrznej — implementacja algorytmu elekcji dla obu warstw części serwerowej — implementacja serwera warstwy zewnętrznej — debugowanie węzłów |

| | |
|-------------------|---|
| Imię i Nazwisko | Magdalena Malenda |
| Stanowisko | Architekt |
| Prace koncepcyjne | <ul style="list-style-type: none"> — opracowanie koncepcji architektury — opracowanie protokołu komunikacyjnego |

| | |
|---------------------|--|
| Prace developerskie | <ul style="list-style-type: none">— implementacja serwera warstwy wewnętrznej— implementacja biblioteki komunikacyjnej— debugowanie węzłów |
|---------------------|--|