

Under Construction

Politechnika Łódzka

Instytut Informatyki



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
1.1	Wprowadzenie . . . . .	3
1.2	Cel i założenia pracy . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Teoretyczne podstawy integracji mikroserwisów</b>	<b>5</b>
2.1	Wstęp . . . . .	5
2.2	Technologie używane do komunikacji . . . . .	5
2.2.1	Protokół HTTP . . . . .	5
2.2.2	REST . . . . .	5
2.2.3	RPC . . . . .	8
2.3	Komunikacja synchroniczna i asynchroniczna . . . . .	10
2.3.1	Orkiestracja i choreografia . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Przegląd istniejących rozwiązań</b>	<b>11</b>
3.1	Wstęp . . . . .	11
3.2	Rozwiązania oparte na technologii REST . . . . .	11
3.2.1	Spark Java . . . . .	11
3.2.2	Flask . . . . .	11
3.2.3	HapiJS . . . . .	12
3.2.4	ASP NET Core Web API . . . . .	13
3.3	Rozwiązania oparte na technologii RPC . . . . .	14
3.3.1	CORBA . . . . .	14
3.3.2	Protokół XML-RPC . . . . .	16

3.3.3	SOAP . . . . .	19
3.3.4	Apache Thrift . . . . .	21
3.3.5	gRPC-Google's Remote Protocol Call . . . . .	24

# 1 Wstęp

## 1.1 Wprowadzenie

W ostatnich latach w świecie IT można było zauważyć trend polegający na promowaniu budowania dużych systemów jako aplikacji rozproszonych składających się z wielu serwisów. Prelegenci na różnych konferencjach programistycznych przepowiadali schyłek wszelkich problemów podczas budowania wielkich systemów wykorzystywanych w biznesie. W dniu dzisiejszym rozwiązanie to określane jest architekturą opartą na **mikroserwisach**. Koncepcja ta nie jest czymś zupełnie nowym i możemy określić ją jako rozwinięcie architektury SOA (Service Oriented Architecture). Idea tworzenia oprogramowania w architekturze mikroserwisowej polega na budowaniu autonomicznych komponentów z których każdy odpowiada za konkretne zadanie. Elementy te współpracując ściśle ze sobą pozwalają na dostarczenie wymaganej logiki biznesowej w systemach rozproszonych.

Wielu architektów oraz zespołów programistów wizja rozbicia swojej monolitycznej aplikacji na wiele mikroserwisów zachęciła do prób budowania takich rozwiązań. Pomimo początkowego entuzjazmu popartego niezaprzeczalnymi zaletami mikroserwisów takimi jak:

- możliwości stosowania różnych technologii
- skalowalności
- odporności na awarie

dały o sobie znać wady, które spowodowały, że projektowanie, implementacja oraz utrzymanie takiej architektury stało się olbrzymim wyzwaniem dla firm produkujących oprogramowanie. Jednym z największych problemów okazał się sposób komunikacji pomiędzy mikroserwisami. Tym samym projektowanie interfejsów API[4] wymagało od architektów oraz programistów rozwiązania problemów w następujących kwestiach:

- wyboru formatu wymiany danych (JSON, XML itp.)
- zaprojektowania punktów końcowych wywołania serwisów
- obsługi błędów

- wydajności (ilość danych przy jednym wywołaniu serwisu, czas oczekiwania na odpowiedź)
- implementacji uwierzytelniania
- wybór technologii w której zostaną utworzone mikroserwisy

Mimo tych przeszkód korporacje pokroju Amazon, Netflix czy Google budują swoje olbrzymie systemy rozproszone w oparciu o mikroserwisy wykorzystując zróżnicowane technologie. Architektura mikroserwisowa przyczyniła się do spopularyzowania takich technologii jak chmura obliczeniowa (Amazon Web Services, Azure itp.) oraz rozwiązań opartych na kontenerach (Docker, Kubernetes).

Move or remove below paragraph

Technologiczny potentat jakim jest niewątpliwie firma Google opierając swój biznes na usługach sieciowych stworzyła w tym celu technologię opartą na protokole RPC (Remote Procedure Call), która miałaby być panaceum na wyżej wymienione problemy w stosunku do „klasycznego” podejścia opartego na technologii REST.

## 1.2 Cel i założenia pracy

Celem niniejszej pracy jest zaprojektowanie oraz implementacja scenariuszy, które symulowałyby typowe problemy z jakimi spotykamy się podczas tworzenia architektury mikroserwisowej. Założenia każdego scenariusza obejmują:

- identyfikację oraz opis rozpatrywanego problemu,
- implementację mikroservisów w technologiach RPC oraz REST,
- ocenę efektywności zastosowanych rozwiązań popartą wnioskami lub pomiarami

Scenariusze zostały opracowane tak, aby zaprezentować podstawowe problemy w projektowaniu oraz implementacji mikroservisów i nie wyczerpują każdego możliwego aspektu. Wszystkie scenariusze będą zgromadzone w obrębie jednej solucji jako osobne projekty.

## 2 Teoretyczne podstawy integracji mikroserwisów

### 2.1 Wstęp

W systemach rozproszonych zbudowanych z kilkudziesięciu lub nawet kilku tysięcy mikroserwisów komunikacja pomiędzy nimi jest jednym z najważniejszych aspektów. Od poprawnego zaprojektowania API oraz doboru właściwych technologii zależy, czy system będzie elastyczny jeśli chodzi o integrację z zewnętrznymi odbiorcami oraz wykorzysta większość zalet jakie oferują mikroserwisy.

### 2.2 Technologie używane do komunikacji

#### 2.2.1 Protokół HTTP

HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) jest głównym protokołem używanym w dzisiejszych czasach jeśli chodzi o komunikację w sieci internet. Został opracowany we wczesnych latach dziewięćdziesiątych XX wieku. W modelu TCP/IP znajduje się w najwyższej warstwie aplikacji.

#### 2.2.2 REST

Pojęcie REST (*Representational State Transfer*) pojawiło się w roku 2000 w pracy doktorskiej Roya Fieldinga[12] i oznacza styl architektoniczny dla systemów rozproszonych. Usługa REST będąc oparta na protokole HTTP wykorzystuje udostępniane przez niego metody (*GET, POST, PUT, DELETE*) do manipulacji na zdalnych zasobach do których dostęp jest wskazywany przy użyciu unikalnych wzorców identyfikatorów URI (*Uniform Resource Identifier*). Metody te odwzorowują funkcje **create** (utwórz), **read** (odczytaj), **update** (aktualizuj) oraz **delete** (usuń) znane pod kryptonimem *CRUD*. W swojej pracy Fielding nie tylko przedstawił definicję usługi REST, ale także zapisał wiele wytycznych, które służyły przyszłym projektantom przy budowie swoich serwisów. Zbiór tych reguł wraz z późniejszymi pracami rozwijającymi tą dziedzinę kryje się pod pojęciem **HATEOAS** (*Hypermedia As The Engine Of Application State*). Interfejs API, który jest zbudowany z wykorzystaniem zasad HATE-

OAS wymaga od klienta wykrycia funkcji jakie udostępnia. Klient który chciałby wykorzystać interfejs musi wykonać zapytanie GET na głównym identyfikatorze URI. W ten sposób otrzyma szczegółową listę identyfikatorów, które będą mogły zostać wykorzystane do obsługi innych operacji. Identyfikatory te nie mogą być przechowywane przez klienta wymuszając dynamiczną analizę. Wymaga to od programisty po stronie klienta zaimplementowanie mechanizmów, które będą umożliwiały dostosowanie się do zmian po stronie serwera. Reguła ta umożliwiła projektantom interfejsów dowolną ich modyfikację bez obawy, że po stronie klienta wystąpią problemy z ich użytkowaniem. Pomimo faktu, iż rozwiązanie to przekłada się na lepszą skalowalność oraz rozszerzalność klientów oraz serwerów upraszczało pracę tylko projektantom po stronie serwera. Programiści po stronie klienta musieli pilnować, aby nie umieścić identyfikatora na stałe co przy rosnącym poziomie skomplikowania API prowadziło do wielu pomyłek. Tym samym narodził się bardziej pragmatyczny wariant REST. Pozostawiono najlepsze cechy starszej specyfikacji wprowadzając znaczne ułatwienia dla programistów po stronie klienta. Poniższe zasady mają za zadanie uporządkować standard REST tak, aby ułatwić integrację usług[5]:

- działania na pojedynczych obiektach powinny korzystać z wszystkich dostępnych metod udostępnionych przez HTTP. Do tej pory najczęściej wykorzystywana była metoda PUT,
- należy stosować kody powrotu dla odpowiedzi serwera,
- programista po stronie klienta powinien jakiego formatu danych ma się spodziewać wywołując metodę,
- każda kolejna wersja API powinna zawierać w identyfikatorze URI numer wersji,
- identyfikatory URI powinny być zaprojektowane według ustalonego wzorca,
- nagłówki HTTP powinny zawierać jedynie wymagane informacje

W swojej pierwotnej formie REST był zaprojektowany do wymiany informacji przy użyciu protokołu XML. Format ten posiada olbrzymie możliwości jeśli bierze się pod uwagę tworzenie skomplikowanych obiektów z zagwarantowaną spójnością. Biorąc pod uwagę, że usługi REST charakteryzują się prostotą oraz lekkością pobieranie znacznych ilości danych w postaci XML stało się niewygodne. Godnym następcą okazał się format **JSON *JavaScript Object Notation***. Format ten został opracowany przez Douglasa Crockforda, który wykorzystał elementy języka JavaScript budując tym samym lekki oraz prosty język definicji danych. Największą zaletą formatu JSON jest możliwości translacji bezpośrednio w używanych językach programowania, bez konieczności konwersji na obiekty tak jak ma to miejsce w przypadku formatu XML. Format XML wymusza również implementację mechanizmów analizowania składni ze względu na implementację atrybutów, przestrzeni nazw lub wariantów kodowania tekstu.

Listing 2.1: Dane zapisane w formacie XML

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<users>
  <user>
    <firstname>Paul</firstname>
    <surname>Sajnog</surname>
```

Tablica 2.1: Przykład użycia metod HTTP wraz z opisem operacji oraz identyfikatorami URI

Operacja	Metoda	Identyfikator URI
Umieszczenie produktu w koszyku	POST	http://api.v1.eshop/bucket/bucketName
Wyświetlenie zawartości koszyka	GET	http://api.v1.eshop/bucket/bucketName
Pobranie produktu z koszyka	GET	http://api.v1.eshop/bucket/bucketName/product/productName
Zastępowanie produktu w koszyku	PUT	http://api.v1.eshop/bucket/bucketName/product/productName
Usuwanie produktu z koszyka	DELETE	http://api.v1.eshop/bucket/bucketName/product/productName
Usuwanie całego koszyka	DELETE	http://api.v1.eshop/bucket/bucketName

```

<address>Wolczanska 12</address>
<city>Lodz</city>
<country>Poland</country>
<contact>
  <phone>666 777 000</phone>
  <email>167686@edu.p.lodz.pl</email>
</contact>
</user>
</users>

```

Listing 2.2: Dane zapisane w formacie JSON

```

{
  "users": {
    "user": {
      "firstname": "Paul",
      "surname": "Sajnog",
      "address": "Wolczanska 12",
      "city": "Lodz",
      "country": "Poland",
      "contact": {
        "phone": "666 777 000",
        "email": "167686@edu.p.lodz.pl"
      }
    }
  }
}

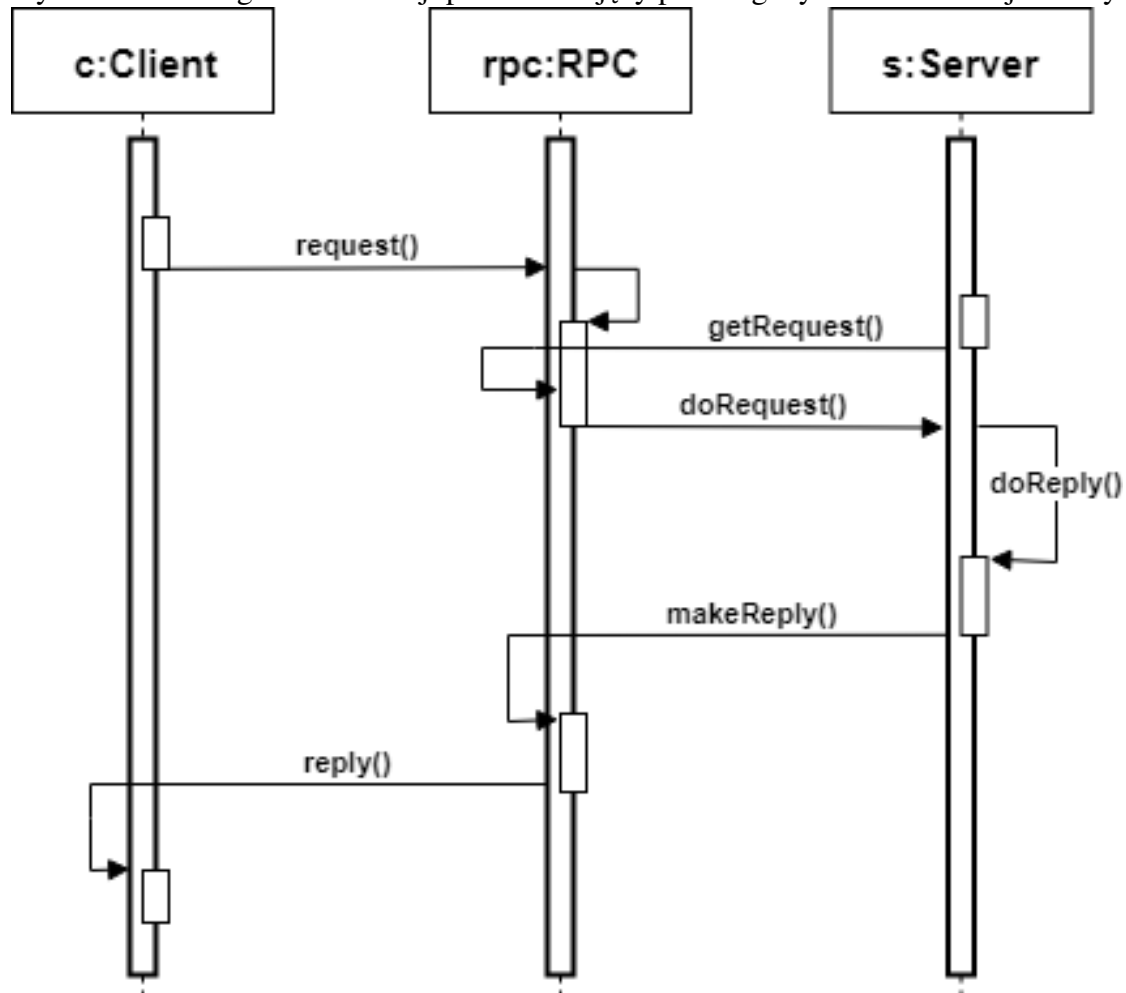
```



### 2.2.3 RPC

Koncepcja RPC (*Remote Procedure Call*) jest znacznie starsza niż wcześniej przedstawiona REST. Już w roku 1981 dokładnie została opisana w publikacji inżynierów pracujących w laboratoriach Xerox[7]. Architektura takiego rozwiązania opiera się na modelu klient-serwer. W momencie gdy zachodzi potrzeba wywołania zdalnej program kliencki przekazuje parametry do metody lokalnej tak jak się to odbywa w przypadku normalnych aplikacji. W tym momencie bez jakiegokolwiek wiedzy po stronie klienta na temat połączenia sieciowego środowisko uruchomieniowe RPC przekazuje dane do usługi uruchomionej po stronie serwera, który znajduje się w innej adresacji sieciowej. Gdy już się zakończy przetwarzanie żądania serwer zwraca tą samą drogą odpowiedź z wynikiem. Cały proces przebiega w sposób synchroniczny więc klient oczekuje do czasu, aż serwer zwróci mu odpowiedź. Główną ideą RPC jest ukrywanie wszelkich informacji na temat sieciowej warstwy transportowej oraz mechanizmów serializacji oraz deserializacji przesyłanych danych. Ma to na celu odciążyć programistów, którzy nie muszą już implementować kodu odpowiedzialnego za przygotowanie danych do wysyłki oraz podejmowania decyzji o doborze warstwy transportowej.

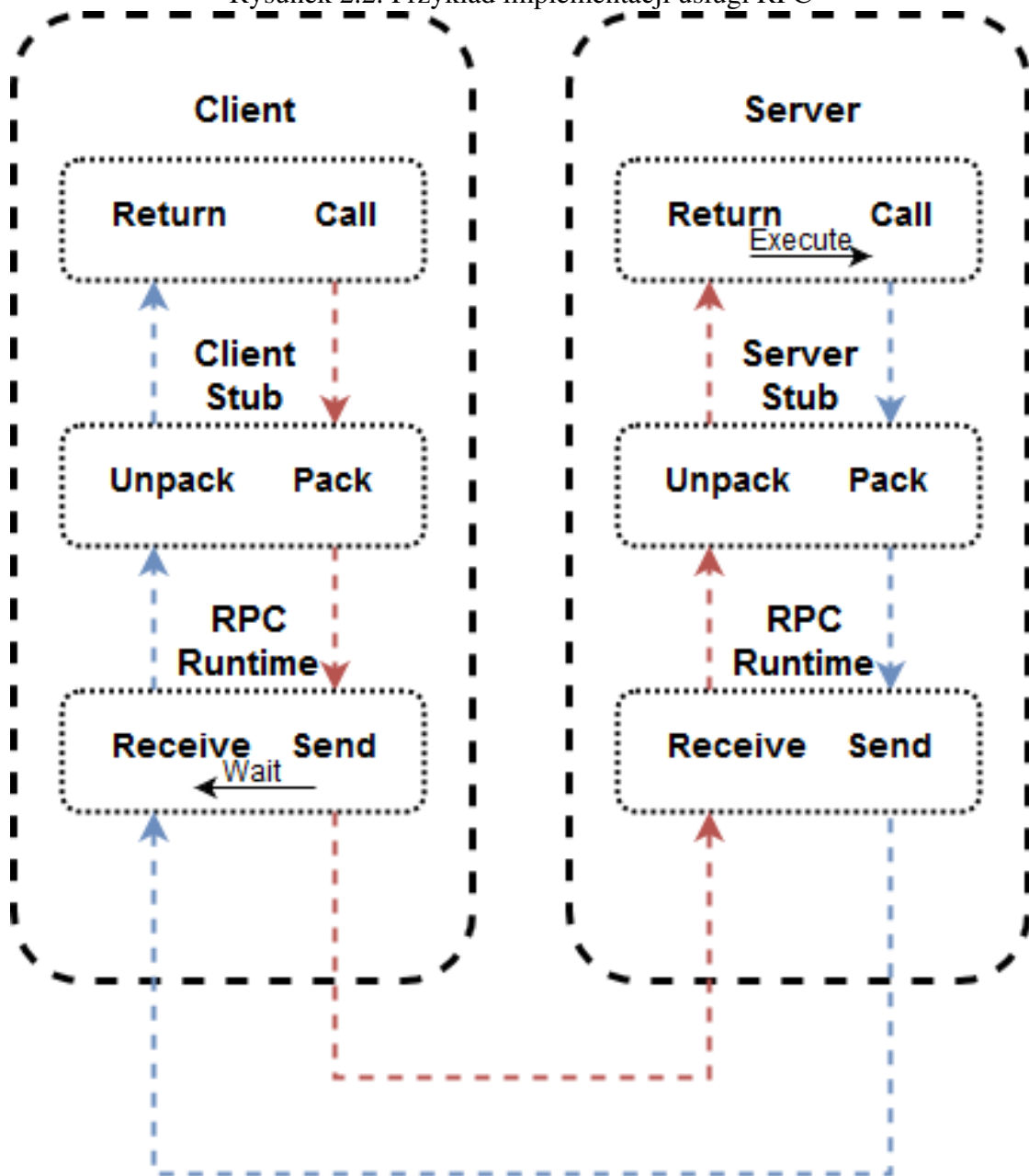
Rysunek 2.1: Diagram sekwencji przedstawiający przebieg wywołania zdalnej metody



W większości technologii opartych na protokole RPC proces tworzenia usługi RPC rozpoczyna się od zdefiniowania udostępnionych interfejsów w specjalnym języku

**IDL Interface Description Language.** W przypadku technologii XML-RPC oraz JSON-RPC funkcjonalność tą można uzyskać za pomocą dodatkowych bibliotek. Język ten nie ma ustalonego standardu dla wszystkich rozwiązań dostępnych na rynku. W zależności od użytej technologii różni się on składnią oraz definiowaniem konkretnych abstrakcji danych używanych w procesie wymiany pomiędzy serwerem oraz klientem. Następnie z tak przygotowanych definicji wygenerowane zostają specjalne części kodu(*ang. stubs*) osobno dla klienta i serwera. Każda ze stron implementuje wygenerowany kod. Po stronie serwera pozostaje dodać odpowiednią logikę, która zajmuje się przetwarzaniem odebranych danych. Różne rozwiązania stosują różne formaty danych w niektórych wypadkach jest to format binarny (Java RMI, Apache Thrift, gRPC) w innych XML lub JSON (SOAP, XML-RPC, JSON-RPC). Za warstwę transportową może posłużyć protokół TCP, UDP lub HTTP.

Rysunek 2.2: Przykład implementacji usługi RPC



## 2.3 Komunikacja synchroniczna i asynchroniczna

Gdy projektant rozpoczyna planowanie wdrożenia architektury mikroserwisowej musi podjąć decyzję, czy komunikacja pomiędzy mikroserwisami ma być synchroniczna, czy asynchroniczna. Decyzja ta ma olbrzymi wpływ na to jak będzie w przyszłości zachowywał się cały system. W podejściu synchronicznym klient po wysłaniu żądania, będzie oczekiwał na odpowiedź serwera. Asynchroniczna komunikacja umożliwia klientowi wykonywanie innych działań po wysłaniu żądania. Oba podejścia niejako wymuszają różne modele współpracy. Synchroniczny model komunikacji jest dużo łatwiejszy do zamodelowania jednak nie sprawdzi się w przypadku, gdy zadania do wykonania są długotrwałe lub gdy oczekuje się niewielkich opóźnień ze względu na swoją blokującą naturę. Różne tryby komunikacji mają wpływ na styl współpracy między mikroserwisami. Architektura oparta na stylu żądanie-odpowiedź działa w klasyczny sposób, gdzie to klient inicjuje żądanie i czeka na odpowiedź serwera. Innym stylem jest architektura oparta na zdarzeniach. W tym wypadku klient generuje zdarzenie, które zostaje zarejestrowane przez magistralę zdarzeń (np. RabbitMQ), a następnie przekierowane do odpowiedniej usługi. Tutaj klient nie jest powiadamiany, gdzie trafi jego żądanie.

### 2.3.1 Orkiestracja i choreografia

W momencie, gdy procesy biznesowe wychodzą poza granicę pojedynczej usługi pojawia się problem zarządzania nimi. Szczególnie podatne na te zagrożenia są mikroserwisy. Aby temu zaradzić zaproponowano dwa różne podejścia. W pierwszym specjalnie do tego powołany koordynator aranżuje wysyłanie wielu żądań do odpowiednich usług oczekując na odpowiedź. Wzorzec oparty na choreografii pozwala usłudze klienckiej na wyemitowanie danego zdarzenia, które trafia do magistrali zdarzeń. Tam jest subskrybowane przez każdy dołączony serwis, który wykonuje swoje działania gdy zachodzi taka potrzeba. Pierwsze podejście opiera swoją komunikację na wywołaniach synchronicznych z każdym serwisem, który jest zaangażowany w przetwarzanie żądania. Dodatkowo zabierana jest w pewien sposób autonomiczność każdego z mikroserwisów, które są uzależnione od poleceń koordynatora. Podejście oparte na choreografii pozwala działać w sposób asynchroniczny, gdyż każda usługa działa niezależnie wykonując swoje zadanie.

## 3 Przegląd istniejących rozwiązań

### 3.1 Wstęp

Zarówno technologia REST jak i RPC nie są czymś nowym w świecie wymiany informacji pomiędzy rozproszonymi systemami informatycznymi. Na rynku istnieje wiele lepszych lub gorszych rozwiązań, które można użyć przy projektowaniu i budowie architektury mikroservisowej. Rozdział ten ma na celu przybliżenie popularnych rozwiązań dostępnych w chwili tworzenia pracy.

### 3.2 Rozwiązania oparte na technologii REST

#### 3.2.1 Spark Java

Powstała w roku 2014 biblioteka dedykowana językom Java oraz Kotlin. Założeniem autora było stworzenie technologii, która ułatwiałaby budowanie serwisów sieciowych bez zbędnego narzutu dodatkowych modułów tak jak ma to miejsce w rozwiązaniach typu Spring lub Jersey. W skład biblioteki wchodzi klasy odpowiedzialne za routing, ciasteczka, sesje, filtrowanie, obsługę błędów itp. Niewielkie rozmiary oraz podstawowa obsługa żądań REST sprawia, że idealnie nadaje się do tworzenia niewielkich serwisów, a wykorzystanie dobrodziejstw jakie przynosi ósme wydanie języka Java (funkcje lambda) pozwala pisać przejrzysty i kompaktowy kod.

Listing 3.1: Przykład metody zwracającej tekst w Spark Java

```
import static spark.Spark.*;

public class HelloWorld {
    public static void main(String[] args) {
        get("/hello", (req, res) -> "Hello_World");
    }
}
```

#### 3.2.2 Flask

Python jest jednym z języków, który jest polecany do tworzenia mikroservisów ze względu na minimalizm oraz olbrzymią dostępność bibliotek wspomagających

budowę API. Przeglądając dostępne rozwiązania dla tego języka najczęściej można natrafić na projekty wykorzystujące bibliotekę Flask, która posiada wbudowany router oraz pozwala pisać aplikacje składające się z modułów za pomocą obiektów zwanych Blueprints [3]. Ponadto mamy do dyspozycji cały wachlarz modułów odpowiedzialnych za zarządzanie sesją, logowanie, uwierzytelnianie oraz obsługę baz danych.

Listing 3.2: Prosty model aplikacji z użyciem Flask

```
from flask import Flask, jsonify

# instantiate the app
app = Flask(__name__)

@app.route('/users/ping', methods=['GET'])
def ping_pong():
    return jsonify({
        'status': 'success',
        'message': 'pong!'
    })
```

### 3.2.3 HapiJS

Postanie platformy nodejs, która zbudowana jest na podstawie silnika popularnej przeglądarki *Chromium* zrewolucjonizowało świat aplikacji sieciowych. Pozwala on na budowanie asynchronicznego kodu serwerowego oraz aplikacji po stronie klienta w tym samym języku, czyli JavaScript. W chwili obecnej żadna inna technologia nie posiada tak wielu bibliotek oraz kompleksowych rozwiązań w swojej bazie. Jednym z popularniejszych jest stworzony w laboratoriach firmy Walmart HapiJS. W odróżnieniu od innych podobnych rozwiązań HapiJS dysponuje bogatą biblioteką wtyczek rozszerzających funkcjonalność[2] oraz co ważniejsze został gruntownie przetestowany w środowisku produkcyjnym.

Listing 3.3: Przykład uruchomienia serwera http w HapiJS

```
'use_strict';

const Hapi = require('hapi');

const server = Hapi.server({
  port: 3000,
  host: 'localhost'
});

server.route({
  method: 'GET',
  path: '/',
  handler: (request, h) => {
    return 'Hello, world!';
  }
});
```

```

server.route({
  method: 'GET',
  path: '/{name}',
  handler: (request, h) => {
    return 'Hello, ' + encodeURIComponent(request.params.name) + '!'
  }
});

const init = async () => {
  await server.start();
  console.log(`Server running at: ${server.info.uri}`);
};

process.on('unhandledRejection', (err) => {
  console.log(err);
  process.exit(1);
});

init();

```

### 3.2.4 ASP NET Core Web API

W roku 2016 Microsoft zaprezentował platformę net core. Jest to odświeżony, w pełni modułowy zestaw bibliotek wraz z środowiskiem służącym do jego uruchomienia przygotowany do współpracy z systemami z rodziny Windows jak i dostępnymi na systemy Linux oraz OSX. Modułowa budowa pozwala na pobranie lub wykorzystanie tylko tych zależności jakie są wymagane do uruchomienia aplikacji zmniejszając tym samym wielkość gotowej aplikacji. Programiści do wyboru mają między innymi biblioteki odpowiedzialne za obsługę baz danych, logowania zdarzeń, uwierzytelniania itp. Każda biblioteka dostępna jest jako oddzielny moduł w repozytorium NuGet, skąd bardzo łatwo można ją dołączyć do projektu rozszerzając[9] jego funkcjonalności.

Listing 3.4: Przykład definicji adresów URI dla metod http w kontrolerze

```

[HttpGet]
public ActionResult<List<TodoItem>> GetAll()
{
    return _context.TODOItems.ToList();
}

[HttpGet("{id}", Name = "GetTodo")]
public ActionResult<TodoItem> GetById(long id)
{
    var item = _context.TODOItems.Find(id);
    if (item == null)
    {
        return NotFound();
    }
    return item;
}

```

## 3.3 Rozwiązania oparte na technologii RPC

### 3.3.1 CORBA

CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) jest ogólną specyfikacją zaproponowaną w roku 1991 przez stowarzyszenie OMG (*Object Management Group*). Definiuje ona standard komunikacji w systemach rozproszonych oparty o paradygmat obiektowy. Do podstawowych wymagań[1] systemów implementujących standard CORBA należą:

- **Orientacja obiektowa**-wszystkie zdalne operacje są grupowane w interfejsach podobnie jak ma to miejsce w obiektowych językach programowania takich jak C++ lub Java. Instancją każdego interfejsu jest tzw. obiekt CORBA. Jeśli klient chce wywołać zdalnie musi znać dokładne informacje o zdalnym obiekcie. W tym wypadku, każdy obiekt powinien mieć zdefiniowaną referencję do obiektu.
- **Przezroczystość lokalizacji**-aby ułatwić używanie obiektów, każdy system zbudowany według specyfikacji CORBA musi zapewnić, że nie istotne w jakiej lokalizacji znajduje się obiekt. Dostęp do każdego obiektu musi zostać zapewniony bez względu, czy znajduje się on w przestrzeni adresowej tej samej aplikacji, czy też w innej. Obiekt może znajdować się nawet na innej maszynie zdalnej.
- **Neutralność względem języka programowania**-CORBA jest zaprojektowana w ten sposób, aby kod klienta i serwera mógł zostać utworzony w różnych językach oprogramowania. W tym wypadku całkowicie normalną jest sytuacja, gdyż klient napisany w języku Java wywołuje procedurę w obiekcie zaimplementowanym w języku Cobol.
- **Obsługa mostów**-organizacja OMG miała świadomość, że równolegle prowadzone są prace nad alternatywnymi systemami rozproszonymi takimi jak Microsoft DCOM lub RMI. W związku z tym zaistniała potrzeba integracji z tymi systemami. W konsekwencji powstało w późniejszym czasie wiele projektów umożliwiających łączenie ww. technologii z architekturą CORBA.

Interfejsy opisujące każdy obiekt definiuje się za pomocą specjalnie do tego stworzonego języka IDL (*Interface Definition Language*). Jest to język czysto deklaracyjny przeznaczony wyłącznie do definiowania struktury interfejsów. Na definicję obiektów przypadają używane typy danych, interfejsy oraz opisy operacji. Przestrzenie nazw (C++) oraz pakiety (Java) są definiowane za pomocą modułów. Każda sygnatura wywoływanej operacji (metody) zawiera:

- identyfikator (nazwę),
- typ zwracanej wartości,
- parametry wywołania (typ oraz kierunek),
- wyjątki

Listing 3.5: Przykład zapisu definicji interfejsu w języku IDL

```
interface CustomerAccount {
    string get_name();
    long   get_account_no();
    boolean deposit_money(in float amount);
    boolean transfer_money(
        in float amount,
        in long  destination_account_no,
        out long confirmation_no
    );
};
```

Komunikacja pomiędzy klientem, a serwerem była oparta na zdalnym wywołaniu procedur. Początkowo wykorzystywano do tego specjalnie przygotowany protokół GIOP (*General Inter-ORB Protocol*) niezależny od sieciowej warstwy transportowej, a od wersji 2.0 IIOP (*Internet Inter-ORB Protocol*) oparty na warstwie transportowej TCP/IP. Budowa oraz zasady działania CORBA są bardzo złożone. Poniżej wymienione zostały podstawowe koncepcje opisujące architekturę technologii:

- **Kompilatory IDL**-każdą aplikację budowaną według wytycznych CORBA rozpoczyna się od zdefiniowania określonych interfejsów z których zostanie wygenerowany kod dla klienta jak i serwera.
- **Mapowanie języków programowania**-specyfikacja języka IDL opisuje dokładnie każdy typ danych zdefiniowany w interfejsach wraz z mapowaniem do typów danych języków do których zostaną interfejsy skompilowane. W dokumentacji zawarty jest również sposób implementacji obiektów po stronie serwera.
- **Kod klienta oraz serwera**-wygenerowany kod klienta (*stub*) pozwala wywoływać zdalne operacje w obiektach CORBA w taki sposób jak ma to miejsce w obiektach lokalnych. Natomiast kod serwera (*skeleton*) jest nadzbiorem kodu klienta pozwalając aplikacji serwerowej na implementację obiektu CORBA.
- **Referencja obiektu**-każdy klient odwołujący się do obiektu CORBA musi posiadać referencje do tego obiektu. W przypadku języków Java oraz C++ obiekt zawierający wywoływane metody sam w sobie posiada referencję. W momencie, gdy klient wywołuje zdalną operację zostaje przekierowany przez referencję do odpowiedniej lokalizacji. Następnie po stronie serwera wywołanie zostaje odebrane i przekierowane do odpowiedniego obiektu CORBA zaimplementowanego w kodzie serwera.
- **Adapter obiektu**-adapter jest pośrednikiem pomiędzy implementacją obiektu, a szyną ORB (*Object Request Broker*). Odpowiada on za generowanie referencji do obiektów, wywołania metod oraz zapewnienie bezpieczeństwa w komunikacji. W wczesnych wersjach CORBA zdefiniowany był jako BOA (*Basic Object Adapter*) jednak był on niedokładnie zdefiniowany co skutkowało brakiem kompatybilności pomiędzy różnymi implementacjami szyny ORB. W wersji 2.2 oraz późniejszych dodano adapter POA (*Portable Object Adapter*) z uszczegółowioną specyfikacją oraz wieloma rozszerzeniami umożliwiając już w pełni przenośność.
- **Pośrednik Zleceń Obiektowych**-ORB jest zasadniczą częścią technologii CORBA. Jest to zbiór oprogramowania umożliwiającego komunikację pomiędzy obiektami w sieci. Pośrednik zapewnia mechanizm lokalizowania oraz aktywowania



zdalnych serwerów oraz uzyskuje referencję do obiektów w aplikacji. Ponadto odpowiada za komunikację do innego pośrednika.

CORBA pomimo bardzo bogatej funkcjonalności została wyparta przez inne technologie opisane w dalszej części niniejszej pracy. Duża złożoność implementacji, problemy z bezpieczeństwem oraz brak wersjonowania to główne powody zaniechania stosowania tej technologii w systemach budowanych po roku 2000. Ponadto CORBA całkowicie pomijała platformę .NET, która jest jedną z głównych stosowanych w oprogramowaniu korporacyjnym.

### 3.3.2 Protokół XML-RPC

W roku 1998 utworzono protokół XML-RPC, którego zadaniem była komunikacja w konfiguracji klient-serwer. Protokół ten jest kombinacją architektury RPC, języka znaczników XML oraz protokołu HTTP co powoduje, że do jego implementacji można użyć istniejącej infrastruktury sieciowej oraz dostępnych technologii przesyłania danych[6]. XML-RPC jest technologią całkowicie niezależną od zastosowanej architektury oraz języka programowania umożliwiając w pełni działanie w systemach heterogenicznych. Zasada działania protokołu polega na synchronicznym przesyłaniu pakietów danych pomiędzy klientem, a serwerem w postaci żądań oraz odpowiedzi HTTP tak samo jak robią to przeglądarki internetowe z tą różnicą, że dane są reprezentowane w formacie XML. Bezstanowa natura protokołu HTTP sprawia, że protokół XML-RPC również posiada tę właściwość. Powoduje ona, że dwa identyczne wywołania zdalnej metody jedno po drugim są traktowane jako nie związane niczym zdarzenia, a żadna z wartości jakie przekazują nie jest nigdzie zapisywana. Poniżej został przedstawiony proces wywołania zdalnej procedury oraz odpowiedzi przez serwer:

1. aplikacja za pomocą klienta XML-RPC wykonuje zdalne wywołanie metody określając nazwę metody, parametry wywołania oraz adres serwera,
2. klient XML-RPC umieszcza wszystkie przekazane dane w strukturze xml. Aplikacja wysyła tak przygotowaną strukturę jako żądanie POST na wskazany adres serwera,
3. serwer HTTP przyjmuje żądanie od klienta przekazując dane ze struktury XML do słuchacza XML-RPC,
4. słuchacz parsuje odebrane dane i wywołuje odpowiednią metodę wraz z parametrami,
5. wywołana metoda zwraca wynik operacji do procesu XML-RPC, który przetwarza je do struktury XML,
6. serwer zwraca tak przygotowaną odpowiedź do klienta,
7. klient XML-RPC parsuje wynik z struktury XML przekazując dane do aplikacji, która w dalszej kolejności kontynuuje ich przetwarzanie

Serwer jak i klient mogą zamienić się miejscami, tylko ważne jest aby zachowany był podział na serwer-klient. Protokół XML-RPC definiuje reprezentację podstawowych typów danych przekazywanych w żądaniach oraz zwracanych w odpowiedzi: Za pomocą

Tablica 3.1: Podstawowe typy danych i ich reprezentacja w strukturze XML-RPC

Typ danych	Znacznik XML
Liczby Całkowite	<int>400</int>
Liczby Zmiennoprzecinkowe	<double>2.0</double>
Zmienne logiczne	<boolean>1</boolean>
Typy łańcuchowe	<string>Hello, World!</string>
Data i czas	<dateTime.iso8601>19030223T00:30:00</dateTime.iso8601>
Typ binarny	<base64>UGF3ZcWCIFNham7Ds2c=</base64>

notacji xml można również zapisać bardziej skomplikowane typy danych jakimi są struktury oraz tablice składające się z typów prostych. Definicje struktur oraz tablic przedstawiają się następująco:

Listing 3.6: Reprezentacja tablicy w XML-RPC

```
<array>
  <data>
    <value> Some Value</value>
    ...
    <value> Some Value </value>
  </data>
</array>
```

Listing 3.7: Reprezentacja struktury w XML-RPC

```
<struct>
  <member>
    <name>Name-1</name>
    <value>Value-1</value>
  </member>
  ...
  <member>
    <name>Name-n</name>
    <value>Value-n</value>
  </member>
</struct>
```

Każde żądanie XML-RPC składa się z nagłówka oraz danych właściwych przedstawionych w notacji xml. W nagłówku podobnie jak w zwykłym żądaniu http znajdują się informacje o nazwie serwera, rodzaju wywoływanej metody, ścieżką wywoływanego skryptu oraz typu danych.

Listing 3.8: Przykład żądania POST

```
POST /rpchandlefunc HTTP/1.0
User-Agent: MySystemXMLRPC/1.0
Host: xmlrpc.server.com
Content-Type: text/xml
Content-Length: 165

<?xml version="1.0"?>
```

```

<methodCall>
<methodName>getCapitalCity</methodName>
<params>
<param>
<value><string>England</string></value>
</param>
</params>
</methodCall>

```

W przypadku odpowiedzi zwracany jest wynik wywołania metody lub wyjątek z błędem w przypadku nie powodzenia w postaci struktury nazwanej fault. Każdy błąd posiada swój kod z zakresu od -32768 do -32000. W nagłówku znajduje się kod odpowiedzi http, adres serwerem, który został przekazany jako parametr User-Agent w żądaniu przez klienta. W języku Java protokół został rozszerzony dodatkowo o specjalny typ `<nil/>` reprezentujący znany w javie null.

### Listing 3.9: Przykład odpowiedzi serwera

```

HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 29 Apr 2001 12:08:58 GMT
Server: Apache/1.3.12 (Unix) Debian/GNU PHP/4.0.2
Connection: close
Content-Type: text/xml
Content-length: 133

<?xml version="1.0"?>
<methodResponse>
<params>
<param>
<value><string>Michigan</string></value>
</param>
</params>
</methodResponse>

```

Pomimo wielu zalet protokół XML-RPC posiada również kilka znaczących wad, które sprawiają, że wykorzystanie go w komunikacji pomiędzy mikroservisami nie będzie najbardziej optymalnym rozwiązaniem:

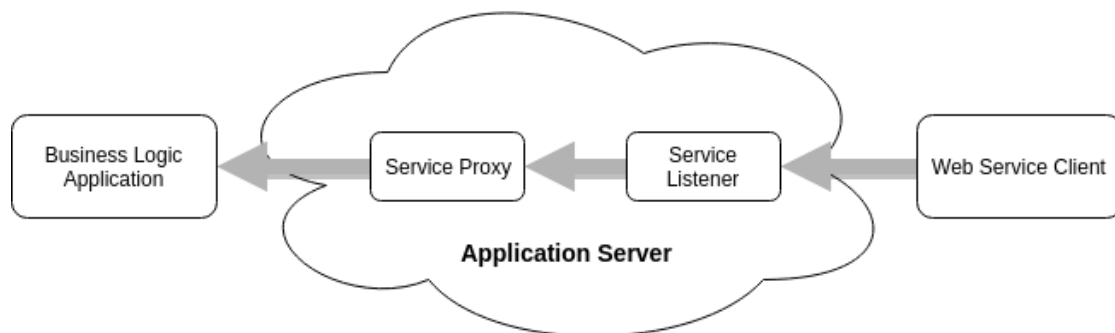
- w związku z tym, że żądania oraz odpowiedzi są przekazywane w języku XML ich wielkość jest znacząca,
- protokół sam w sobie nie posiada ważnych mechanizmów zapewniających bezpieczeństwo,
- protokół http na którym bazuje XML-RPC nie jest wydajny,
- użytkownik nie może zdefiniować swoich typów, musi polegać na tych wbudowanych

### 3.3.3 SOAP

Rosnąca na początku XXI wieku popularność systemów opartych na architekturze SOA (*Service Oriented Architecture*) spowodowała pojawienie się wielu rozwiązań opartych na modelu współpracujących ze sobą komponentów usługowych komunikujących się za pomocą sieci Internet. Oprócz wspomnianych wcześniej technologii CORBA oraz DCOM pojawiło się również rozwiązanie o nazwie Web Services, które zdobyło bardzo dużą popularność. Każdego dnia miliony użytkowników na świecie korzysta z serwisów internetowych podczas zakupów w sklepach internetowych, zamawianiu biletów na środki komunikacji publicznej czy korzystając z komunikatora internetowego w telefonie komórkowym. Każdy komponent działający w technologii Web Service składa się z następujących części[11]:

- Aplikacji przetwarzającej logikę biznesową. W tym miejscu może to być koszyk przechowujący zakupy w sklepie internetowym, moduł cenowy itp.,
- Service Listener-serwis sieciowy nasłuchujący. Jego rolą jest odbieranie żądań przychodzących od klienta,
- Service Proxy-serwis dekodujący przychodzące żądanie z serwisu nasłuchującego przekazujący dane do aplikacji serwerowej,
- Serwer aplikacji-serwer HTTP służący jako kontener na serwisy

Rysunek 3.1: Ogólny zarys budowy typowej usługi sieciowej



Do najważniejszych rozwiązań wchodzących w skład technologii Web Services należą:

- **SOAP** (*Simple Object Access Protocol*)-protokół komunikacyjny służący do przekazywania zdalnych wywołań,
- **WSDL** (*Web Service Description Language*)-język oparty na XML służący do definiowania interfejsów usługi,
- **UDDI** (*Universal Description, Discovery, and Integration*)-rejestr wszystkich serwisów, które są dostępne zawierający ich metadane. Pobierając definicje z dokumentów WSDL służy do wyszukiwania udostępnionych usług, które mogą zainteresować potencjalnego konsumenta.

Protokół SOAP oparty na języku XML może korzystać z wielu dostępnych mechanizmów warstwy transportowej takich jak HTTP, HTTPS, SMTP lub JABBER. Wywołanie usług następuje w dwóch trybach:

1. *RPC (Remote Procedure Call)*-w tym trybie XML reprezentuje listę parametrów wraz z wartościami, która zostaje przekazana komponentowi,
2. *EDI (Electronic Document Interchange)*-usługa otrzymuje tylko jeden parametr wywołania, którym jest cały dokument XML zawierający wszystkie dane składające się na encję biznesową.

Komunikaty SOAP zbudowane są ze znaczników XML. Najwyżej w hierarchii znajduje się znacznik **<Envelope>** oznaczający początek całego komunikatu. W dalszej kolejności znajduje się opcjonalny **<Header>** zawierający informacje nagłówkowe. Znacznik **<Body>** skupia wszystkie informacje o żądaniu oraz odpowiedzi. Uzupełnieniem powyższej listy jest znacznik **<Fault>** w którym znajdują się ewentualne błędy z kodami oraz opisami, jakie mogły pojawić się podczas przetwarzania żądania.

Listing 3.10: Przykład żądania SOAP

```
<?xml version="1.0"?>
<soap:Envelope xmlns:soap="http://www.w3.org/2001/12/soap-envelope"
  soap:encodingStyle="http://www.w3.org/2001/12/soap-encoding">
  <soap:Body xmlns:m="calculator">
    <m:multiply>
      <m:value_one>8</m:value_one>
      <m:value_two>5</m:value_two>
    </m:multiply>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

Powyższy listing przedstawia wywołanie metody *multiply*, która należy do komponentu *calculator*. Do wywołania metody są przekazane dwa parametry *value\_one* oraz *value\_two* z uzupełnionymi wartościami. W odpowiedzi serwer może zwrócić wynik tak jak przedstawia to listing poniżej.

Listing 3.11: Odpowiedź SOAP serwera na żądanie klienta

```
<?xml version="1.0"?>
<soap:Envelope xmlns:soap="http://www.w3.org/2001/12/soap-envelope"
  soap:encodingStyle="http://www.w3.org/2001/12/soap-encoding">
  <soap:Body xmlns:m="demo">
    <m:multiplyRes>
      <m:result>40</m:result>
    </m:multiplyRes>
  </soap:Body>
</soap:Envelope>
```

Wywołania usług zdalnych mogą przebiegać w sposób synchroniczny (protokół HTTP) lub asynchroniczny (JABBER, BEEP). Technologia SOAP jest bardzo złożona jednak bardzo popularna w rozwiązaniach korporacyjnych z uwagi na rozbudowany opis serwisów za pomocą WSDL oraz wykorzystanie znanego programistom protokołu XML.

### 3.3.4 Apache Thrift

Apache Thrift jest jedną z najnowszych technologii opartych na protokole RPC. Rozwiązanie to zostało opracowane w firmie Facebook w roku 2006, gdzie wykorzystywano je do komunikacji pomiędzy setkami serwisów tworzących ten portal społecznościowy. Po roku zdecydowano się go przekazać fundacji Apache, gdzie stał się technologią open source. W dniu dzisiejszym wykorzystywany jest przy takich projektach jak Twitter, Pinterest lub Evernote. Podobnie jak wcześniej opisane technologie tak w tym przypadku wykorzystywany jest język IDL (*Interface Definition Language*) specjalnie przygotowany do współpracy z Apache Thrift.

Projekt powstał w czasie, gdy Facebook rozpoczął ekspansję na cały świat. Inżynierowie pracujący w projektach pobocznych zauważyli, że dotychczasowe rozwiązania oparte na zestawie LAMP nie są wystarczające[10]. Poszukiwania dostępnych rozwiązań nie przyniosły oczekiwanych efektów, gdyż na wielu płaszczyznach posiadały ograniczenia nie możliwe do zaakceptowania. W tym właśnie momencie podjęto decyzję o zaprojektowaniu od podstaw technologii, która nie tylko rozwiąże problemy z którymi nie poradziły sobie inne podobne projekty, ale również te nowe dopiero powstałe. Poniżej przedstawiono główne koncepcje Apache Thrift[8]:

- **Obsługa wielu typów danych**-oprócz podstawowych typów takich jak łańcuchy znaków lub liczby Thrift pozwala również definiować struktury, kolekcje (map, list, set), wyjątki oraz metody, które są w tym przypadku obiektami,
- **Warstwa transportu**-możliwość transmisji danych za pomocą różnych kanałów. Do dyspozycji zostają oddane gniazda sieciowe, protokół HTTP, systemy plików, obiekty w pamięci lub biblioteka zlib. Warstwa transportu jest całkowicie odseparowana od logiki co zapewnia bezproblemowe dopasowanie transmisji danych do danego rozwiązania.
- **Protokoły**-protokoły przygotowują dane do przesyłania. Apache Thrift zapewnia mechanizmy do automatycznej serializacji oraz deserializacji danych w postaci tekstu, zapisu binarnego, protokołu JSON itp. wszystko zależy od danego kontekstu. Za translację danych pomiędzy danymi protokołami odpowiada tak zwany *Processor*.
- **Wersjonowanie**-zarządzenie zmianami w API jest bardzo trudnym wyzwaniem dla architektów. Niektóre zmiany są niewielkie i dotyczą tylko sygnatur pojedynczych metod, z drugiej strony zmiany mogą doprowadzić do przerwania kompatybilności wstecznej z poprzednią wersją. Jedną z funkcji Apache Thrift jest tzw. miękkie wersjonowanie. Oznacza to, że kolejne wersje API nie posiadają formalnych wymagań dla obsługi nowych lub zmienionych metod. W zamian programiści otrzymali narzędzia wspomagające utrzymywanie kompatybilności wstecznej:
  1. Argumenty metod są ponumerowane, nowa wersja metody może w pełni funkcjonować bez usuwania argumentów ze starszych wersji. Numery nadawane kolejnym wprowadzanym argumentom nie mogą się pokrywać z już przypisanymi. Nie wolno zmieniać numerów argumentów, które nie zostały usunięte.

2. Każdemu nowemu argumentowi można przypisać domyślną wartość. Jest to pomocne, gdy klient operuje na starszej wersji, bez nowego pola i nie nadaje mu jakiegokolwiek wartości.
  3. Zmiana nazwy definicji metod lub serwisów jest zabroniona. Starsze wersje klientów nie będą mogły odnieść się do nazw, których nie znają.
- **Bezpieczeństwo**-w celu zabezpieczenia każdego z serwisów przed nie autoryzowanym dostępem Apache Thrift udostępnia obiekt *TSSLTransportFactory*, który zapewnia przechowywanie par kluczy RSA. Możliwe jest również tunelowanie SSH.
  - **IDL *Interface Definition Language***-specjalnie przygotowany język opisu interfejsów w prosty sposób zapewnia programistom definiowanie serwisów. Definicja ta pozwala wygenerowanie kodu w każdym dostępnym języku o ile jest obsługiwany.

Listing 3.12: Przykład definicji metody w języku IDL

```
namespace py thrift.example1
namespace php thrift.example1

service SumService {
    i32 add(1: i32 a, 2: i32 b),
}
```

Przykład implementacji prostego serwisu w języku Java:

1. Aby móc skorzystać z Apache Thrift wymagana jest instalacja odpowiedniej biblioteki za pomocą, której możliwe będzie wygenerowanie kodu klienta oraz serwera.
2. W piku o rozszerzeniu *thrift* zostaje zapisana definicja serwisu z którego zostanie wygenerowany kod dla danego języka.

```
namespace java com.paul.thrift.service

exception MyException {
    1: i32 code,
    2: string exceptionDescription
}

struct Resource {
    1: i32 id,
    2: string name,
}

service MyService {

    Resource get(1:i32 id) throws (1:MyException ex),

    list <Resource> getResList() throws (1:MyException e),

}
```

3. Następny krok polega na wygenerowaniu kodu możliwego do implementacji zdefiniowanego serwisu. W linii komend należy wpisać następujące polecenie:  
*\$ thrift -r -out generated -gen java myservice.thrift* Po jego wykonaniu w katalogu *generated*, który wskazano w poleceniu pojawią się następujące pliki z wygenerowanym kodem:

- Resource.java,
- Service.java,
- MyException.java

4. W kolejnym kroku należy stworzyć implementację zdefiniowanego serwisu:

Listing 3.13: Implementacja kodu usługi

```
public class MyServiceImpl implements MyService.Iface {

    @Override
    public Resource get(int id)
        throws MyException, TException {
        return new Resource();
    }

    @Override
    public List<Resource> getList()
        throws MyException, TException {
        return Collections.emptyList();
    }
}
```

5. Gdy już usługa jest zdefiniowana potrzeba serwera, który będzie nasłuchiwał na wybranym porcie. Przykładowy serwer korzysta z klasy *TThreadPoolServer*, która opakowuje pulę wątków ze standardowej biblioteki java, aby kod mógł być wykonywany asynchronicznie.

Listing 3.14: Kod serwera

```
public class MyServer {

    public static MyServiceImpl service;

    public static MyService.Processor processor;

    public static void myServer(MyService.Processor processor) {
        TServerTransport serverTransport = new TServerSocket(5000);
        TServer server = new TThreadPoolServer(new TThreadPoolServer.Args(serverTransport).processor(processor));
        server.serve();
    }

    public static void main(String [] args) {
        service = new MyServiceImpl();
        processor = new MyService.Processor(service);
        Runnable server = new Runnable() {
            public void run() {
                myserver(processor);
            }
        };
        new Thread(server).start();
    }
}
```



```
}  
}
```

6. Kod klienta można z powodzeniem zaimplementować jako moduł lub bibliotekę aplikacji, która będzie korzystać z usług zewnętrznego serwisu. W tym wypadku jest to niezależna aplikacja:

Listing 3.15: Kod klienta

```
public class MyClient {  
    public static void main(String [] args) {  
  
        TTransport transport = new TSocket("localhost", 5000);  
        transport.open();  
  
        TProtocol protocol = new TBinaryProtocol(transport);  
        MyService.Client client = new MyService.Client(protocol);  
        System.out.println(client.get());  
        transport.close();  
    }  
}
```

### 3.3.5 gRPC-Google's Remote Protocol Call

gRPC jest rozwiązaniem opartym na RPC zaproponowanym przez firmę Google. Pomimo młodego wieku jak na technologie korporacyjne jest dobrze przetestowane produkcyjnie oraz wdrożone w wielu usługach wykorzystywanych wewnątrz tej firmy. Również tacy potentaci na rynku usług sieciowych jak Netflix oraz Cisco używają z powodzeniem tej technologii.

Zasada działania gRPC jest podobna do tej, którą wcześniej zaprezentowano w Apache Thrift. Dane wykorzystywane przez usługi oraz komunikaty są reprezentowane przez tzw. protobuf (ang. *protocol buffers*). Jako protokołu transportowego wykorzystano HTTP/2 będący następcą popularnego oraz szeroko stosowanego protokołu HTTP/1.1. Protobuf są mechanizmem serializacji danych w postaci binarnej co powoduje, że zajmują znacznie mniej miejsca niż np. XML. Również procesy kodowania oraz dekodowania są znacznie szybsze, gdyż zasoby sprzętowe nie są zużywane na parsowanie danych tekstowych tak jak ma to miejsce w przypadku formatu XML lub JSON. Struktury danych wykorzystywane do tworzenia usług są definiowane za pomocą dedykowanego języka IDL w plikach o rozszerzeniu **.proto**. Następnie za pomocą specjalnego polecenia wywoływanego np. z linii komend generowany jest kod serwera oraz klienta w wybranym języku programowania. W czasie pisania pracy wspieranych było 11 najpopularniejszych języków takich jak Java, Python czy C++. W buforach protokołu struktura danych składa się z dwóch podstawowych komponentów:

- Komunikatów (*messages*)-struktur przekazywanych oraz zwracanych podczas zdalnego wywołania metod składających się z pól o różnych typach danych,
- Usług (*services*)-struktur w których znajdują się definicje metod wywoływanych przez klientów

Pola w komunikatach zdefiniowane są według poniższego wzorca:

*typ nazwa=pozycja*

Typem może być każda wartość skalarna taka jak string, int, bool, float itp. W przypadku gdy pole musi być tablicą wartości przed typem należy użyć słowa kluczowego *repeated*. Istnieje również specjalny typ *enum*, którym można zdefiniować własny typ wyliczeniowy. Nazwa identyfikuje pole w sposób zrozumiały dla człowieka, natomiast pozycja to liczba określająca miejsce w strumieniu danych w którym znajduje się wartość pola. Pozycja jest istotną informacją, gdyż dzięki niej możliwe jest dekodowanie wartości kolejnych pól w strumieniu bajtów dokładnie w takiej kolejności jak zostały zdefiniowane w komunikacie. Restrykcja, która obowiązuje przy zachowaniu kolejności pól pozwala na bezproblemową zmianę nazw pól, gdy zostanie zachowana ich kolejność. W tym miejscu należy wspomnieć o jednej z najważniejszych decyzji projektowych protobuf, a mianowicie o możliwości dodawania kolejnych pól rozszerzających struktury komunikatów bez jakiegokolwiek wpływu na działanie poprzedniej już działającej wersji. Właściwość ta ułatwia to znacząco rozbudowę istniejącego API eliminując tym samym trudne w utrzymaniu wersjonowanie.

W bloku service odpowiadającym za definiowanie usługi znajdują się sygnatury metod wywoływanych przez klienta. Ogólny wzorzec przykładowej metody znajduje się poniżej:

*rpc nazwa\_metody (żądanie) returns (odpowiedź) {}*

Słowo kluczowe *rpc* oznacza, że metoda jest przeznaczona do wywoływania zdalnego. Każda metoda posiada parę żądanie-odpowiedź, którymi są zdefiniowane wcześniej komunikaty. gRPC umożliwia cztery rodzaje komunikacji pomiędzy serwerem, a klientem:

- **Unary**-jest to klasyczne podejście do wymiany informacji tak jak to ma miejsce w przypadku zwykłych żądań HTTP. Klient wysyła pojedyncze żądanie do serwera, który zwraca mu odpowiedź.
- **Server streaming**- klient wysyłając pojedyncze żądanie w odpowiedzi otrzymuje sekwencję komunikatów. Komunikaty są wysyłane w sposób uporządkowany.
- **Client streaming**- w tym wypadku to klient wysyła uporządkowaną sekwencję komunikatów, po czym serwer przetwarzając je zwraca jedną odpowiedź.
- **Bidirectional streaming**- serwer jak i klient komunikują się ze sobą za pomocą strumieni. Oba strumienie działają niezależnie więc w zależności od potrzeb serwer może każdorazowo zwracać odpowiedź na pojedyncze żądanie klienta lub także czekać, aż klient prześle wszystkie komunikaty i dopiero wtedy odpowiedzieć.

Listing 3.16: Przykład definicji usługi w pliku proto

```
syntax = "proto3";

option java_multiple_files = true;
option java_package = "com.mycompany.geeting";
```

```
package greeting;

// The greeting service definition.
service Greet {
    // Sends a greeting
    rpc SayHello (HelloRequest) returns (HelloReply) {}
}

// The request message containing the user's full name.
message GreetRequest {
    string first_name = 1;
    string last_name = 2;
}

// The response message containing the greetings
message GreetResponse {
    string greeting = 1;
}
```

# Listingi

2.1	Dane zapisane w formacie XML . . . . .	6
2.2	Dane zapisane w formacie JSON . . . . .	7
3.1	Przykład metody zwracającej tekst w Spark Java . . . . .	11
3.2	Prosty model aplikacji z użyciem Flask . . . . .	12
3.3	Przykład uruchomienia serwera http w HapiJS . . . . .	12
3.4	Przykład definicji adresów URI dla metod http w kontrolerze . . . . .	13
3.5	Przykład zapisu definicji interfejsu w języku IDL . . . . .	15
3.6	Reprezentacja tablicy w XML-RPC . . . . .	17
3.7	Reprezentacja struktury w XML-RPC . . . . .	17
3.8	Przykład żądania POST . . . . .	17
3.9	Przykład odpowiedzi serwera . . . . .	18
3.10	Przykład żądania SOAP . . . . .	20
3.11	Odpowiedź SOAP serwera na żądanie klienta . . . . .	20
3.12	Przykład definicji metody w języku IDL . . . . .	22
3.13	Implementacja kodu usługi . . . . .	23
3.14	Kod serwera . . . . .	23
3.15	Kod klienta . . . . .	24
3.16	Przykład definicji usługi w pliku proto . . . . .	25

# Spis tablic

2.1	Przykład użycia metod HTTP wraz z opisem operacji oraz identyfikatorami URI . . . . .	7
3.1	Podstawowe typy danych i ich reprezentacja w strukturze XML-RPC . .	17

# Bibliografia

- [1] Fintan Bolton. *Pure Corba*. Indianapolis, IN: Sams, 2002. ISBN: 978-0672318122.
- [2] John Brett. *Getting started with hapi.js : build well-structured, testable applications and APIs using hapi.js*. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2016. ISBN: 9781785888182.
- [3] Miguel Grinberg. *Flask Web Development, 2nd Edition*. City: O'Reilly Media, Inc, 2018. ISBN: 9781491991725.
- [4] Daniel Jacobson. *Interfejs API : strategia programisty*. Gliwice: Helion, 2015. ISBN: 978-83-283-0555-7.
- [5] Daniel Jacobson. *Interfejs API : strategia programisty*. Gliwice: Helion, 2015, s. 95, 96, 97. ISBN: 978-83-283-0555-7.
- [6] Simon Laurent. *Programming web services with XML-RPC*. Beijing Cambridge Mass: O'Reilly, 2001. ISBN: 9781491946473.
- [7] Bruce Jay Nelson. „Remote procedure call”. W: (1981).
- [8] Krzysztof Rakowski. *Learning Apache Thrift : make applications communicate using Apache Thrift*. Birmingham: Packt Publishing, 2015. ISBN: 978-1-78588-274-6.
- [9] Fanie Reynders. *Modern API design with ASP.NET Core 2 : building cross-platform back-end systems*. New York: Apress, 2018. ISBN: 978-1-4842-3519-5.
- [10] Mark Slee, Aditya Agarwal i Marc Kwiatkowski. „Thrift: Scalable cross-language services implementation”. W: *Facebook White Paper* 5.8 (2007).
- [11] James Snell. *Programming Web services with SOAP*. Sebastopol, CA: O'Reilly & Associates, 2002. ISBN: 0-596-00095-2.
- [12] Fielding Roy Thomas i in. „Architectural styles and the design of network-based software architectures”. W: *Irvine: University of California* (2000).