Systemy Rozproszone – Laboratorium

Technologie *middleware*

Łukasz Czekierda (luke@agh.edu.pl)
Zespół Systemów Rozproszonych (DSRG)
Instytut Informatyki AGH – Kraków

DSRG

Plan zajęć (podwójnych)

- Dyskusja ważniejszych podstawowych zagadnień technologii *middleware*
- Miejsce rozwiązań *middleware* wśród technologii komunikacji rozproszonej
- Przedstawienie wybranych funkcjonalności technologii:
  - Zeroc ICE
  - Apache Thrift
  - Google gRPC
- Komunikacja rozproszona we współczesnej sieci Internet

Distributed middleware

- Object-oriented middleware (OO RPC)
  - OMG CORBA
  - Zeroc ICE
  - RMI, .Net Remoting
- Message-oriented middleware
  - …
  - …
- Remote procedure call middleware (RPC)
  - Apache Thrift (?)
  - gRPC

Dlaczego middleware?

- Klasyka systemów rozproszonych
- „CORBA – matka wszystkich technologii”
- Ważna umiejętność – dobór właściwego rozwiązania w danym zastosowaniu

DSRG

Mówią: „*wywołanie synchroniczne jest złe*”

- First Law of Distributed Object Design:
  don't distribute your objects
- Dlaczego?
- Czy nie jest wygodne?
- Czy wywołanie asynchroniczne trwa krócej?
- Co z *back-pressure*?

https://martinfowler.com/articles/distributed-objects-microservices.html

DSRG

Mówią: „*wywołanie synchroniczne jest złe*”

- Komunikacja synchroniczna jest przecież szeroko stosowana
  - HTTP – protokół synchroniczny
  - REST i podobne podejścia
  - W wielu przypadkach jest naturalna uwzględniając specyfikę komunikacji
- The primary disadvantage of many message-oriented middleware systems is that they require an extra component in the architecture, the message transfer agent, message broker. (1)
- Ważne: wiedza i doświadczenie (racjonalny wybór najlepszej opcji)
- Zły: dogmatyzm

(1) Autor (chyba) nieznany, zdanie powtarza się w bardzo wielu miejscach

Nieprawdy (*P. Deutsch*)

- Sieć działa w sposób niezawodny
- Sieć jest bezpieczna
- Sieć jest jednolita technologicznie
- Opóźnienie komunikacji nie jest zauważalne
- Pasmo jest nieskończone
- Koszt transmisji danych wynosi zero
- Jest tylko jeden administrator

Komunikacja lokalna a rozproszona

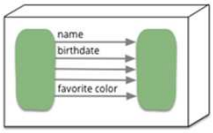
```
interface Person
{
  string getFirstName();
  string getLastName();
  string getNationalID();
  …
}
```

Czy to jest dobry interfejs dla potrzeb komunikacji zdalnej? Nie – dlaczego?

DSRG

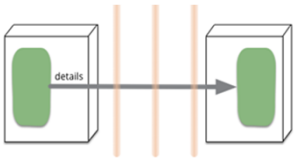
Komunikacja lokalna a rozproszona

```
interface Person
{
  string getFirstName();
  string getLastName();
  string getNationalID();
  …
}
```



- Czy to jest dobry interfejs dla potrzeb komunikacji zdalnej? Nie – dlaczego?

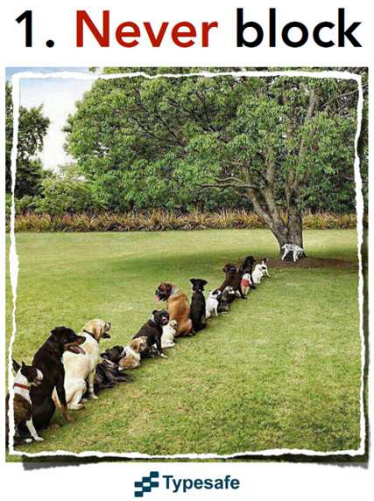
- Jak zatem należy realizować wywołania zdalne?



https://martinfowler.com/articles/distributed-objects-microservices.html

DSRG

Co (naprawdę) pokazuje ten rysunek?



Pytania

- Czy da się zrealizować wywołanie asynchroniczne w systemie stosującym komunikację synchroniczną?
- Jeśli tak, jak?

- Czy da się zrealizować wywołanie synchroniczne w systemie o naturze asynchronicznej?
- Jeśli tak, jak?

Komunikacja rozproszona – różne obszary

- Komunikacja wewnątrz (rozproszonej) usługi

- Komunikacja pomiędzy usługami działającymi w jednym centrum przetwarzania danych

- Komunikacja pomiędzy usługami działającymi w różnych centrach przetwarzania danych

- Komunikacja pomiędzy usługą a jej użytkownikiem

DSRG

Budowa współczesnego systemu rozproszonego

- Usługi (mikrousługi):
  - wydajność
  - właściwa architektura: model aktora, komunikacja asynchroniczna
- Pomiędzy usługami:
  - Ważna izolacja i autonomia
  - Komunikacja synchroniczna lub asynchroniczna (AMQP)
- Dostęp konsumenta usługi (np. końcowego użytkownika):
  - gRPC, HTTP
  - Perimeter, service gateway, kontrola dostępu, bezpieczeństwo
- Unikanie zbytnich zależności:
  - The microservice model is I don't want to know about your dependencies. (1)
  - Do not couple your systems with binary dependencies. (1)
  - Nodes of a single service (collectively called a cluster) require less decoupling. They share the same code and are deployed together, as a set, by a single team or individual. (2)

1) https://www.microservices.com/talks/dont-build-a-distributed-monolith/ 2) https://doc.akka.io/docs/akka/current/typed/choosing-cluster.html

DSRG

Budowa współczesnego systemu rozproszonego

- A direct conversion from in-process method calls into RPC calls to services will cause a chatty and not efficient communication that will not perform well in distributed environments. (1)
- In general we recommend **against** using Akka Cluster and actor messaging between different services because that would result in a too tight code coupling between the services and difficulties deploying these independent of each other. (2)
- Between different services Akka HTTP or Akka gRPC can be used for synchronous (yet non-blocking) communication and Akka Streams Kafka or other Alpakka connectors for asynchronous communication. (2)
- Akka Remoting's wire protocol might change with Akka versions and configuration, so you need to make sure that all parts of your system run similar enough versions. gRPC on the other hand guarantees longer-term stability of the protocol, so gRPC clients and services are more loosely coupled. (3)

1) https://dzfweb.gitbooks.io/microsoft-microservices-book/content/architect-microservice-container-applications/communication-between-microservices.html 2) https://doc.akka.io/docs/akka/current/typed/choosing-cluster.html, 3) https://doc.akka.io/docs/akka-grpc/current/whygrpc.html

DSRG

Budowa współczesnego systemu rozproszonego

- Warstwa integracji: np. HTTP, gRPC
- Microservices composing an end-to-end application are usually simply choreographed by using REST communications (…) and flexible event-driven communications (…) (1)
- Komunikacja w sieci publicznej:
  - NAT, firewall
- Przeglądarka WWW jako interfejs dostępu do usługi
- Symetria komunikacji nie zawsze możliwa do osiągnięcia – wyróżnienie roli ‚klienta' i ‚serwera' jest właściwe

1) https://dzfweb.gitbooks.io/microsoft-microservices-book/content/architect-microservice-container-applications/communication-between-microservices.html

DSRG

Serializacja danych

- Tekstowa: łatwa w przetwarzaniu
- Binarna: efektywna czasowo, oszczędna, choć czasami problematyczna
  - If your chosen binary format isn't a standard, it's probably not a good idea to publicly publish your services using that format. (1)
  - You could use a non-standard format for internal communication between your microservices. You might do this when communicating between microservices within your Docker host or microservice cluster or for proprietary client applications that talk to the microservices. (1)
- Binarny protokół komunikacji nie jest niczym złym!

1) https://github.com/dotnet/docs/blob/main/docs/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/communication-in-microservice-architecture.md

Znane (i lubiane) rozwiązania

- REST
  - Wywołanie synchroniczne
  - Uboga semantyka (CRUD)
  - Aktywny wyłącznie klient – jak efektywnie przesłać zdarzenie lub wiadomość od serwera?
- GraphQL
  - Wywołanie synchroniczne
  - „re-tooling to a classical approach”
  - Elastyczność klienta w doborze danych jakie mają być dostarczone
  - Możliwość łatwej agregacji danych w jednym wywołaniu – większa efektywność komunikacji
  - Aktywny wyłącznie klient – jak efektywnie przesłać zdarzenie lub wiadomość od serwera?

Kiedy używać technologii omawianych na tych zajęciach?

- Do integracji usług i eksponowania funkcjonalności aplikacji rozproszonej na zewnątrz
- Do tworzenia aplikacji rozproszonych, w których:
  - wydajność i szybkość interakcji jest kluczowa
  - synchronizm wywołania jest pożądany (choć te technologie umożliwiają również wywołanie asynchroniczne)
  - niezależność od języka programowania jest wymagana
- Wówczas, gdy zależność od binarnego protokołu nie utrudni rozwoju systemu (na przykład, ale nie tylko wówczas, gdy cały system wychodzi spod tej samej ręki)
- Której technologii konkretnie? Poczekajmy do końca zajęć!

Czym jest (była) CORBA?

- = **C**ommon **ORB** **A**rchitecture
- ORB = Object Request Broker
- Technologia warstwy pośredniej (*middleware*)
- Umożliwia komunikację pomiędzy aplikacjami:
  - działającymi na różnych maszynach
  - działającymi pod różnymi systemami operacyjnymi
  - napisanymi w różnych językach programowania
- Dostarcza wielu usług (Naming, Trading, Event, Transaction,...)

Czym jest ICE?

- = **I**nternet **C**ommunication **E**ngine
- Technologia warstwy pośredniej (*middleware*)
- Duże podobieństwa do CORBA
  - Wiele usprawnień i uproszczeń
  - Nacisk na wydajność i prostotę rozwiązania
- Wiele zaawansowanych mechanizmów
- Pozwala na budowę aplikacji na urządzenia *enterprise*, *desktop*, *mobile* i *embedded*

DSRG

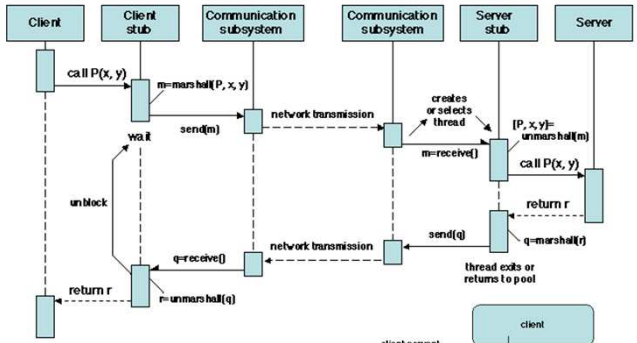
Czym są Thrift i gRPC?

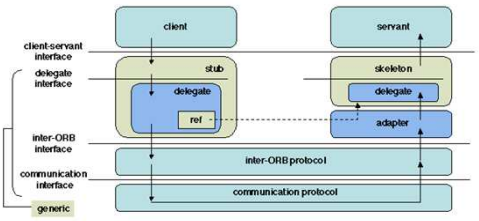
- Rozwiązania podobne…
- … ale jednak nieco inne…

- Zobaczmy, porównajmy!

DSRG

Zdalne wywołanie *middleware*





- Na pewno server?
- (un)marshalling

źródło: http://proton.inrialpes.fr/~krakowia/MW-Book/

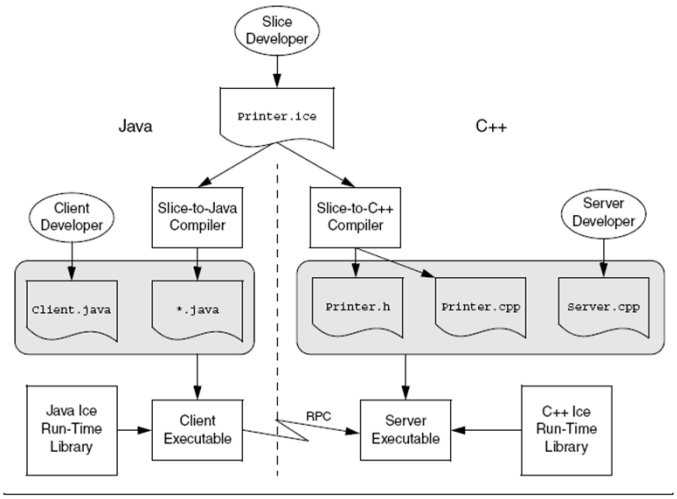
Co woła klient?

- Metody?
- Procedury?
- Operacje?

TWORZENIE APLIKACJI MIDDLEWARE

DSRG

Budowa i wykonanie aplikacji middleware (na przykładzie ICE)



DSRG

Typowe kroki

1. Zdefiniowanie interfejsu (IDL)
2. Kompilacja interfejsu do danego języka programowania
3. Implementacja interfejsu
4. Implementacja i konfiguracja serwera
5. Implementacja i konfiguracja klienta
6. Kompilacja i uruchomienie

Poszczególne etapy mogą być realizowane przez osoby w różnych rolach – i o różnych umiejętnościach (kwalifikacjach)

DSRG

Języki definiowania interfejsów

- Języki z rodziny IDL
- Definiują kontrakt pomiędzy klientem a serwerem
- Rozwiązania
  - CORBA: CORBA IDL
  - Zeroc: SLICE (Specification Language for ICE) (.ice)
  - Thrift: (.thrift)
  - gRPC: (.proto)

DSRG

Obiekt, serwant, serwer

- Obiekt (ICE/CORBA) – abstrakcja posiadająca jednoznaczną identyfikację oraz interfejs i odpowiadająca na żądania klientów
- Serwant – element strony serwerowej, implementacja funkcjonalności interfejsu w konkretnym języku programowania (tj. obiekt języka programowania)
- Serwer – proces, który instancjonuje serwanty i udostępnia je „na zewnątrz”

Relacje ilościowe pomiędzy nimi?

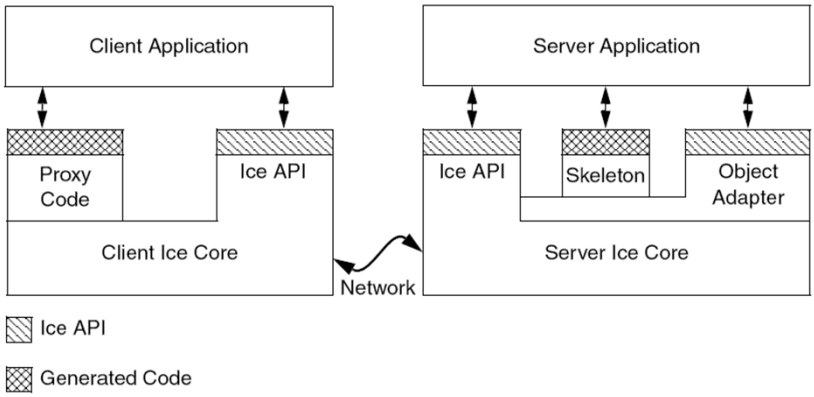
Komunikacja

- ICE
  - TCP, UDP (w tym multicast), SSL/TCP, WebSocket
  - Serializacja binarna
- Thrift
  - TCP
  - Serializacja binarna, ale możliwa i tekstowa (JSON)
- gRPC
  - HTTP2/TCP, Websocket (gRPC-Web)
  - Serializacja binarna

ZEROC ICE

DSRG

Architektura ICE



DSRG

Slice

- Specification Language for Ice
- Deklaratywny język z rodziny IDL
- Opisuje kontrakt między klientem a serwerem ICE
- Niezależny od języka programowania
- Odwzorowania do konkretnych języków programowania: C++, C#, Java, Python, Ruby, PHP, JavaScript

DSRG

Elementy języka Slice

```
module ZeroC {
    module Client {
        // Definitions here...
    };
    module Server {
        // Definitions here...
    };
};
```

- Moduł – *namespace*. Wszystkie interfejsy muszą być definiowane w module.
- Interfejsy (implementowane przez obiekty Ice)
- Typy proste (numeryczne, znaki, łańcuchy znaków)
- Enumeracje
- Struktury
- Sekwencje
- Słowniki
- Stałe
- Wyjątki (możliwość dziedziczenia)

Type	Encoding
bool	A single byte with value 1 for true, 0 for false
byte	An uninterpreted byte
short	Two bytes (LSB, MSB)
int	Four bytes (LSB ... MSB)
long	Eight bytes (LSB ... MSB)
float	Four bytes (23-bit fractional mantissa, 8-bit exponent, sign bit)
double	Eight bytes (52-bit fractional mantissa, 11-bit exponent, sign bit)

DSRG

Przykład definicji i implementacji interfejsu

```
module Demo {  //slice
  sequence<long> seqOfNumbers;
  enum operation { MIN, MAX, AVG };
  interface Calc  {
    long add(int a, int b);
    long subtract(int a, int b);
  };
};
```

Instancja tej klasy to serwant

```
public class CalcI implements Calc { //java
  @Override public long add(int a, int b, Current __current)
  {
    return a + b;
  }
  …
}
```

DSRG

Identyfikacja obiektów Ice

- Obiekty Ice są identyfikowane z wykorzystaniem struktury **Identity** (kategoria może być pusta)
- Reprezentacja w postaci łańcucha znaków: **`kategoria/nazwa`** lub **`nazwa`**

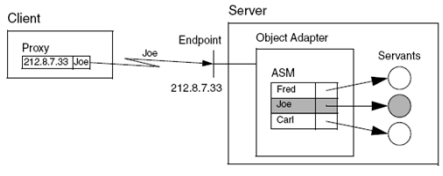
```
module Ice {
    struct Identity {
        string name;
        string category;
    };
};
```

- Tym identyfikatorem posługuje się użytkownik obiektu (klient)
- Tak naprawdę wywołanie trafia do któregoś serwanta (ale o tym użytkownik nie wie…)

DSRG

Adapter obiektu (OA) w ICE

- (Odpowiednik POA w CORBA)
- Aplikacja serwera tworzy jeden lub więcej OA
- OA odpowiada m.in. za kierowanie żądań adresowanych do obiektów do odpowiednich serwantów
  - Takie odwzorowanie może być statyczne lub dynamiczne
- Metody add/remove dodają/usuwają skojarzenie obiekt-serwant zawarte w tablicy ASM (Active Servant Map)



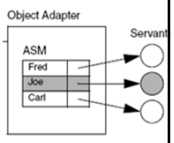

```
module Ice {
    local interface ObjectAdapter {
        // ...

        Object* add(Object servant, Identity id);
        Object* addWithUUID(Object servant);
        Object  remove(Identity id);
        Object  find(Identity id);
        Object  findByProxy(Object* proxy);

        // ...
    };
};
```

DSRG

Zarządzanie serwantami



- Proste (najczęściej wykorzystywane) podejście:
  - Każdy obiekt Ice odwzorowuje się na innego serwanta
  - Odwzorowanie obiekt-serwant jest zapewniane wyłącznie przez tablicę ASM
  - Brak dostępnego skojarzenia powoduje zgłoszenie wyjątku ObjectNotExistException
- Bardziej zaawansowane podejścia
  - Default Servant
  - Servant Locator
  - Servant Evictor

DSRG

Default Servant

- Dla każdej kategorii można (ale nie trzeba) zarejestrować jeden domyślny serwant
- Jeśli adapter nie znajdzie w tablicy ASM indywidualnego wpisu dla poszukiwanego obiektu, przekaże żądanie do domyślnego serwanta zarejestrowanego dla jego kategorii
- Osiągana strategia: różne obiekty – wspólny serwant

DSRG

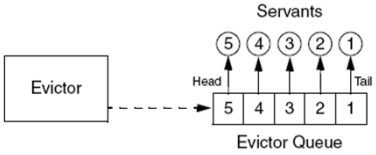
Servant Locator

- Servant Locator jest rejestrowany w adapterze dla konkretnej kategorii (najwyżej jeden dla danej kategorii)
- Jeśli adapter nie znajdzie odwzorowania w tablicy ASM, przekaże żądanie do lokatora zarejestrowanego dla tej kategorii
- Lokator może:
  - wskazać (np. stworzyć) serwanta – do niego zostanie skierowane to żądanie
  - zwrócić null – zgłaszany jest wyjątek ObjectNotExistException
- Możliwość realizacji różnych strategii, np. późna aktywacja serwantów, pula serwantów, współdzielony serwant, …

DSRG

Servant Evictor

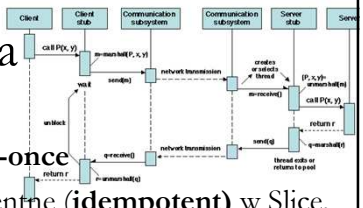
- Odmiana Servant Locator, która utrzymuje *cache* serwantów
- Dba o nieprzekraczanie zadanej liczności aktywnych serwantów



- Serwanty nieużywane mogą być usuwane z pamięci (np. w oparciu o algorytm LRU), a ich stan zachowywany
- Możliwość implementacji własnego ewiktora

DSRG

Komunikacja



- Ice stosuje semantykę wywołań **at-most-once**
- Dla operacji oznaczonych jako idempotentne (**idempotent)** w Slice, ta zasada może być naruszona
- Wywołania niezwracające wartości mogą być zrealizowane jako **oneway** (sterowanie wraca po dostarczeniu wywołania do lokalnego transportu)
- Wywołania niezwracające wartości mogą być zrealizowane jako **datagram** (sterowanie wraca po dostarczeniu wywołania do lokalnego transportu, komunikacja z wykorzystaniem UDP, możliwe wykorzystanie multicastu IP)
- Wywołania **oneway** i **datagram** mogą być realizowane w trybie **batched** – ograniczając ruch sieciowy można je wysyłać paczkami

DSRG

Komunikacja

- To, że komunikacja synchroniczna w systemach rozproszonych ma swoje ograniczenia, wiadomo nie od dziś…
- Ice pozwala na:
  - realizację wywołań **datagram** i **oneway** – z punktu widzenia klienta czas wywołania jest dużo krótszy
  - realizację wywołań synchronicznych jako **nieblokujące** (callback, future) – pewność dostarczenia wywołania, łatwy dostęp do wartości zwracanej, ale bez konieczności „bezczynnego" oczekiwania na wynik
  - **kontrolę przepływu** (*backpressure*) dla wywołań realizowanych asynchronicznie – ochrona przez przeciążeniem medium
  - realizację **wielowątkowych serwerów** – ograniczenie wąskiego gardła

Podobne mechanizmy istnieją też w pozostałych technologiach omawianych na tych zajęciach

DSRG

Nie tylko klient-serwer

- Klient nie musi być „czystym” klientem, serwer nie musi być „czystym” serwerem
- Przydatne np. w aplikacjach wymagających natychmiastowych notyfikacji o zachodzących wydarzeniach – serwer jest wówczas aktywny (jest klientem)
- Decyzja o posiadaniu obiektów *middleware* także po stronie klienta implikuje konieczność instancjonowania również i tam adaptera obiektów (OA)
- Taka komunikacja może poprawnie działać i w środowiskach z NAT, ale wymaga pewnych zabiegów… *(będzie)*

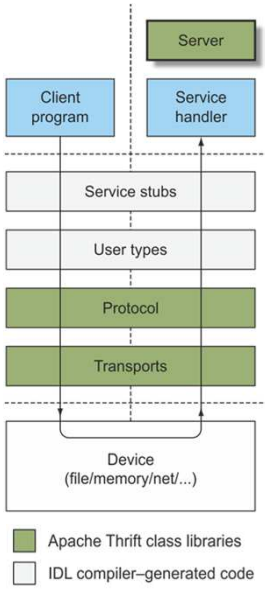
DSRG

APACHE THRIFT

DSRG

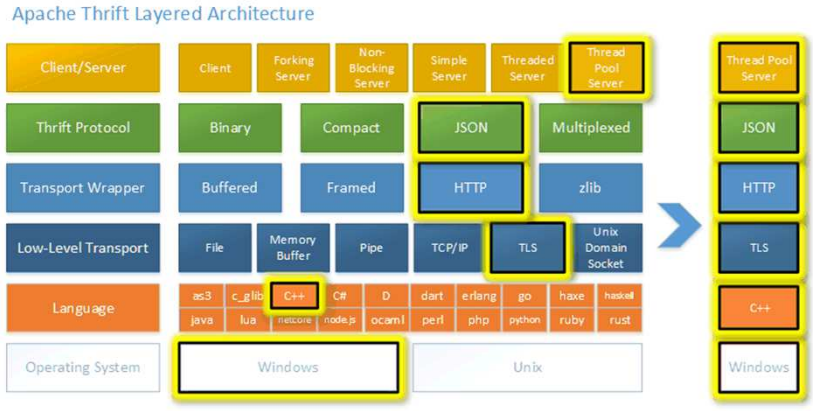
Wprowadzenie

- Stworzony w laboratoriach Facebook
- Obecnie projekt Apache
- Architektura warstwowa z możliwością różnej realizacji poszczególnych warstw
- Podejście bardziej usługowe niż obiektowe
- Obsługa 28 języków programowania
- Dobra efektywność komunikacyjna
- Kiepska dokumentacja ☹ (*Thrift: The Missing Guide*)
- Najnowsza wersja to 0.16…



DSRG

Architektura warstwowa



Uwaga: Nie wszystkie funkcjonalności są dostępne w każdym z obsługiwanych języków programowania, więcej tu: https://github.com/apache/thrift/blob/master/LANGUAGES.md

Definiowanie interfejsu – typy podstawowe

- **bool**: true/false
- **byte**: 8-bit signed integer
- **i16/i32/i64**: 16/32/64-bit signed integer
- **double**: 64-bit floating point number
- **string**: UTF-8 encoding
- **struct**
- **enum**
- **list<t1>**: ordered list of elements of type t1. May contain duplicates
- **set<t1>**: unordered set of unique elements of type t1
- **map<t1,t2>**: map of strictly unique keys of type t1 to values of type t2
- **exception**

Przykład definicji interfejsu

```
struct Work {
   1: i32 num1 = 0,
   2: required i32 num2,
   3: optional string language = "english"
}
enum OperationType {  SUM = 1, MIN = 2, MAX = 3, AVG = 4 }

service Calculator {
   i32 add(1:i32 num1, 2:i32 num2),
   i32 divide(1:i32 num1, 2:i32 num2) throws (1: NumException e),
   oneway void resetMemory(),
}
service AdvancedCalculator extends Calculator {
   double op(1:OperationType type, 2: set<double> val),
}
```

Kompilacja i implementacja interfejsu (handler = servant)

```
thrift --gen java   calculator.thrift
thrift --gen csharp calculator.thrift


public class CalculatorHandler implements Calculator.Iface
{
  @Override
  public int add(int n1, int n2) {
    return n1 + n2;
  }

  …
}
public class CalculatorHandler implements Calculator.AsyncIface
{ … }
```


Processor

- Pobiera strumień danych z wejścia i generuje strumień danych na wyjście:

```
interface TProcessor {
      bool process(TProtocol in, TProtocol out)
      throws TException }
```

- Specyficzne implementacje procesora są generowane w procesie kompilacji interfejsu
- Dane są przekazywane do wskazanego handlera i jest zwracana jego odpowiedź

```
Calculator.Processor processor =
   new Calculator.Processor(new CalculatorHandler());
```

Protocol Layer

- **TBinaryProtocol** – serializacja binarna, efektywne kodowanie TLV
  (https://github.com/apache/thrift/blob/master/doc/specs/thrift-binary-protocol.md)
- TCompactProtocol – serializacja binarna, bardzo efektywne kodowanie
  (https://github.com/apache/thrift/blob/master/doc/specs/thrift-compact-protocol.md)
- TJSONProtocol – serializacja tekstowa, JSON

- TDenseProtocol – bez metadanych, eksperymentalny
- TDebugProtocol – przydatny przy debugowaniu

Transport Layer

- Podstawowe mechanizmy transportu:
  - **TSocket** - Uses blocking socket I/O for transport.
  - TFramedTransport - Sends data in frames, where each frame is preceded by a length. This transport is required when using a non-blocking server.
- Dodatkowe metody transportu:
  - Do pliku: TFileTransport
  - Do pamięci: TMemoryTransport
  - Z kompresją: TZlibTransport (używany w połączeniu z innym transportem)

Serwer

- TSimpleServer – jednowątkowy serwer, blocking I/O. Zasadniczo tylko do testowania aplikacji.
- TThreadPoolServer – wielowątkowy serwer, blocking I/O
- TNonblockingServer – jednowątkowy serwer, non-blocking I/O (Java: NIO channels), wymaga transportu TFramedTransport

Kod serwera

```
Calculator.Processor processor =
   new Calculator.Processor(new CalculatorHandler());

TServerTransport serverTransport = new TServerSocket(9090);

TProtocolFactory protocolFactory1 = new TBinaryProtocol.Factory();
TProtocolFactory protocolFactory2 = new TCompactProtocol.Factory();
TProtocolFactory protocolFactory3 = new TJSONProtocol.Factory();

TServer server = new TSimpleServer(
   new Args(serverTransport)
        .protocolFactory(protocolFactory1)
        .processor(processor));

server.serve();
```

Działanie serwera

- Zazwyczaj serwer uruchamia tylko jedną instancję obiektu implementującego interfejs (jedną usługę)
- Wyjątkiem od tej reguły jest TMultiplexedProcessor

```
TMultiplexedProcessor multiplex = new TMultiplexedProcessor();
multiplex.registerProcessor("S1", processor1);
multiplex.registerProcessor("S2", processor2);
```

- Wnioski?

CIĄG DALSZY NASTĄPI…

W międzyczasie – pytania

- W jakich przypadkach warto implementować komunikację bezpośrednio na poziomie interfejsu gniazd?
- W jakich przypadkach warto użyć podejścia MOM?
- W jakich przypadkach optymalne jest podejście REST?
- W jakich przypadkach warto użyć technologii WebSocket?
- W jakich przypadkach warto użyć technologii middleware?

CIĄG DALSZY NASTĄPIŁ…

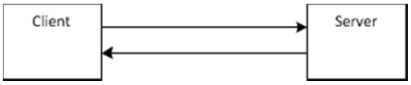
DSRG

CO NIECO O KOMUNIKACJI W INTERNECIE…

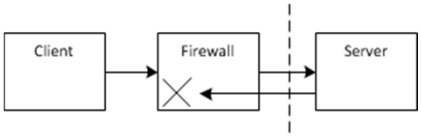
DSRG

Komunikacja dwukierunkowa

- Architektura klient-serwer jasno precyzuje role
- Czasami potrzebujemy więcej…
- Wiemy, że *polling* nie jest efektywny
- Klient nie musi być „czystym” klientem, serwer nie musi być „czystym” serwerem…



- Brzmi dobrze, ale…
- Problemy: NAT, firewall,… – może się skończyć tak:



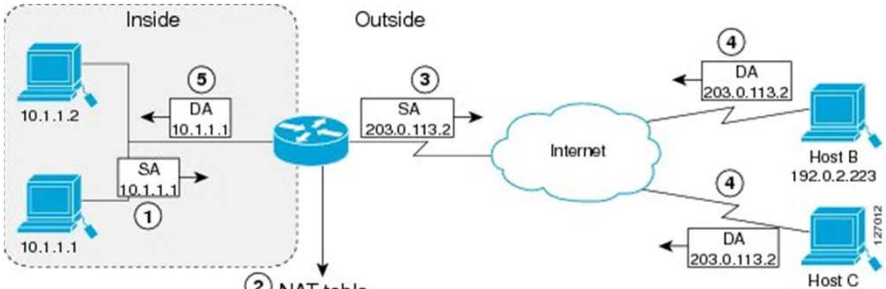
DSRG

Translacja adresów

- NAT, a tak naprawdę PAT
- Jak się skomunikować z komputerem za NAT?
- Jak działają aplikacje typu Team Viewer?
- STUN+TURN=ICE (choć nie ten…)

DSRG

Translacja adresów



Protocol	Inside Local IP address:port	Inside Global IP address:port	Outside Global IP address:port	Outside Local IP address
TCP	10.1.1.2:1723	203.0.113.2:1723	198.51.100.4:23	198.51.100.4:23
TCP	10.1.1.1:1024	203.0.113.2:1024	192.0.2.223:23	192.0.2.223:23

DSRG

Tablica translacji PAT

- Uwzględnia L4
  - UDP, TCP
  - Co z innymi protokołami?
- Co daje połączeniowość protokołu w tym kontekście?
- Czas obecności wpisów przy braku aktywności: Cisco – domyślnie 24h dla TCP (chyba, że połączenie zostanie zamknięte lub przerwane: wówczas minuta) i 5 min. dla UDP – te wartości są często znacznie zmniejszane

DSRG

O czym warto pamiętać?

- Urządzenie NAT/PAT zazwyczaj nie podmienia adresów i portów przesyłanych wewnątrz wiadomości
- Zniknięcie wpisu w tablicy translacji: wiele powodów
  - przekroczenie czasu życia wpisu, ale też:
  - restart urządzenia
  - administracyjne usunięcie wpisów
- Zniknięcie wpisu w tablicy translacji: mogą być problemy…

DSRG

Komunikacja dwukierunkowa

- Pomysł: wykorzystać istniejący, ustanowiony przez klienta kanał komunikacyjny do komunikacji serwera z klientem
- Czy to będzie działać?
- Czy to będzie działać niezawodnie?
- Konieczne zabiegi:
  - rozsądne podtrzymywanie aktywności w kanale łączności
  - odbudowywanie zerwanego kanału łączności – kiedy? jak? przez kogo?

DSRG

Komunikacja dwukierunkowa

- Pomysł Zeroc ICE:
  - Klient uruchamia Object Adapter i instancjonuje serwanty (też staje się serwerem)
  - Komunikacja z obiektami (serwantami) klienta może się odbywać w ramach asocjacji TCP ustanowionej przez klienta
- Pomysł gRPC:
  - Wywołanie strumieniowe strony serwerowej (*dalej*)

DSRG

Podtrzymywanie aktywności

- TCP: keepalive – czasami wyłączony, domyślnie raz na dwie godziny ;)
- ICE:
  - tzw. heartbeat
  - dodatkowo mechanizm ACM (Active Connection Management) podtrzymujący lub zamykający połączenia TCP – ważny także ze względów efektywnościowych (wolny start vs. wykorzystanie zasobów)
- Thrift: wykorzystanie TCP keepalive
- Websocket: ramki kontrolne ping/pong
- gRPC: HTTP/2 ping (https://github.com/grpc/grpc/blob/master/doc/keepalive.md)

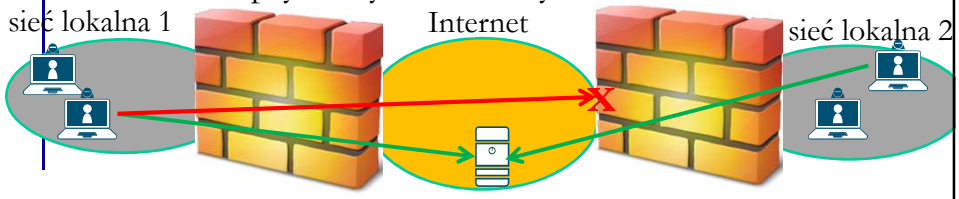
DSRG

Nie udało się…

- Co może zrobić serwer w razie stwierdzenia utraty łączności z klientem?
- Czy klient wie, że serwer stracił z nim łączność?
- Jak przywrócić łączność?

Czy możliwe jest nawiązanie bezpośredniej łączności?

- Nawiązanie bezpośredniej łączności pomiędzy dwiema aplikacjami działającymi na urządzeniach z adresami prywatnymi może być… niemożliwe



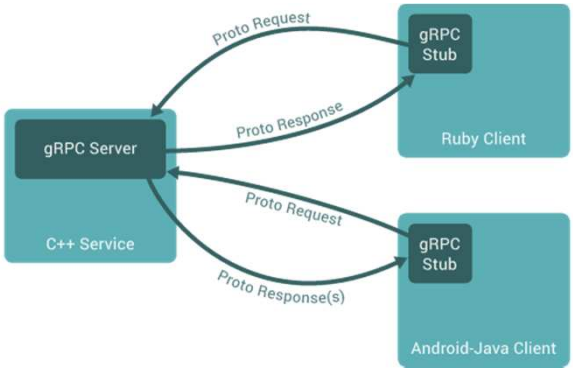
- Może być konieczny pośrednik
- Warto spojrzeć: STUN, TURN

GRPC

DSRG

Wprowadzenie

gRPC = grpc Remote Procedure Call



DSRG

Istotne cechy

- Usługi – nie obiekty
- Komunikacja z wykorzystaniem transferu wiadomości
- gRPC nie może być nazwane *OO middleware*

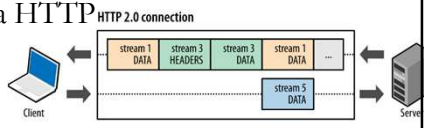
- Ciekawa i przydatna funkcjonalność: strumieniowanie
- Serializacja: Protocol Buffers
- Komunikacja: HTTP/2 (metoda POST) (+opcjonalnie TLS)
- Obsługa wielu języków programowania

- Szeroko wykorzystywany: Google, Netflix, IBM, Cisco, Juniper, Spotify, Dropbox, Docker, Akka, Kubernetes…

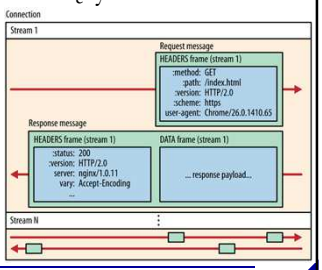
DSRG

HTTP/2

- Początki: SPDY (Google), standard od 2015 (RFC 7540)
- Pozostawiono kluczowe założenia HTTP
- Logiczne strumienie danych w pojedynczym połączeniu TCP



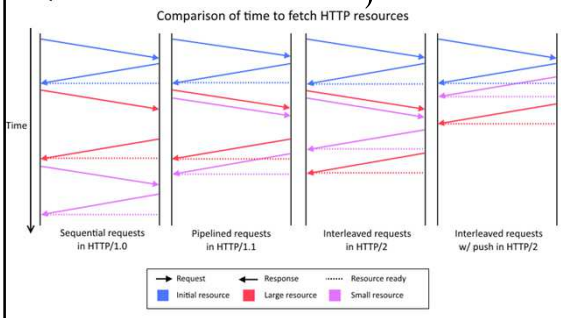
- Komunikacja z wykorzystaniem *ramek* przenoszących *wiadomości*
- Typy ramek: HEADERS, DATA, PING, GOAWAY, WINDOW_UPDATE, PRIORITY, …
- Binarna serializacja wiadomości
- Kontrola przepływu (tylko dla DATA)



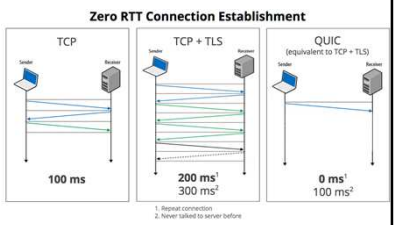
grafika: https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/http2

DSRG

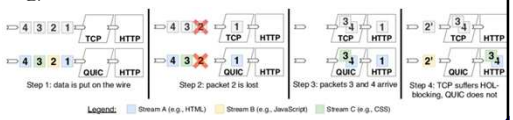
Komunikacja HTTP – porównanie



https://blog.scottlogic.com/wreilly/assets/http2/http-timing-diagram.png
https://miro.medium.com/max/1400/1*izPzl2hwbXQzMzM3cKM-tg.png
https://www.researchgate.net/profile/Robin-Marx-2/publication/345980642



- HOL (Head-of-Line Blocking)
  - Poziom protokołu HTTP
  - Poziom protokołu TCP
- QUIC (TCP 2.0?)



DSRG

Serializacja: Protocol Buffers

- Serializacja (ogólnie) – cechy
  - Tekstowa lub binarna
  - Zawierająca metadane lub nie
  - Opisana schematem lub nie
  - Ograniczona do języka, platformy itp. lub nie
- Jej realizacje: XML, JSON, Ice, Thrift, Protocol Buffers

- Jakie cechy ma serializacja Protocol Buffers?
- Jakie ma zalety? Jakie ma wady?
- Gdzie jest wykorzystywana?

DSRG

proto – podstawowe informacje

- Wersja (np. syntax = "proto2"), istotniejsze różnice:
  - Proto2:
    - pola muszą być otagowane: optional/required
    - możliwość określenia domyślnej wartości pola
  - Proto3:
    - wszystkie pola są opcjonalne (optional)
    - pola nie mogą mieć deklarowanej domyślnej wartości
- Podstawowy element: wiadomość (*message*) → ~struktura
- Typy: int32, int64, …, bytes, string, bool, enum, sekwencje (repeated), message

więcej na: https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/proto

DSRG

proto – przykładowe wiadomości

```
message SearchRequest {
  required string query = 1;
  optional int32 page_number = 2;
  optional int32 result_per_page = 3 [default = 10];
  enum Corpus {
    UNIVERSAL = 0;
    WEB = 1;
    IMAGES = 2;
    LOCAL = 3;
    NEWS = 4;
    PRODUCTS = 5;
    VIDEO = 6;
  }
  optional Corpus corpus = 4 [default = UNIVERSAL];
}
```

```
message SearchResponse {
  message Result {
    required string url = 1;
    optional string title = 2;
    repeated string snippets = 3;
  }
  repeated Result result = 1;
}
```

- message → struct

```
message Outer {                  // Level 0
  message MiddleAA {  // Level 1
    message Inner {   // Level 2
      required int64 ival = 1;
      optional bool  booly = 2;
    }
  }
```

więcej na: https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/proto

DSRG

gRPC – rozszerzenie definicji proto

```
message ArithmeticOpArguments {
  int32 arg1 = 1;
  int32 arg2 = 2;
}
message ArithmeticOpResult {
  int32 res = 1;
}
service Calculator {
  rpc Add (ArithmeticOpArguments) returns (ArithmeticOpResult) {}
}
message ComplexArithmeticOpArguments {
  OperationType optype = 1;
  repeated double args = 2;
}
service AdvancedCalculator {
  rpc ComplexOperation (ComplexArithmeticOpArguments) returns
   (ComplexArithmeticOpResult) {}
```

DSRG

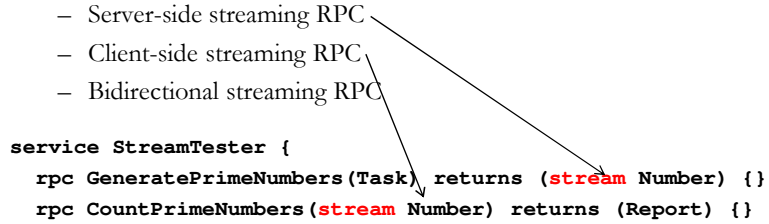
Interfejs usługi gRPC – kilka uwag

- Brak możliwości rozszerzania definicji usług przez dziedziczenie
- Brak wyjątków
- Obsługa błędów – statusy wywołań, m.in.:
  - GRPC_STATUS_UNIMPLEMENTED
  - GRPC_STATUS_UNAVAILABLE
  - GRPC_STATUS_DEADLINE_EXCEEDED

DSRG

Komunikacja strumieniowa

- Sposoby komunikacji w gRPC
  - Simple (unary) RPC
  - Server-side streaming RPC
  - Client-side streaming RPC
  - Bidirectional streaming RPC



```
service StreamTester {
  rpc GeneratePrimeNumbers(Task) returns (stream Number) {}
  rpc CountPrimeNumbers(stream Number) returns (Report) {}
}
```

- Strumieniowanie – dostarczanie wielu osobnych wiadomości przed zakończeniem wywołania
- Strumieniowanie jest zawsze inicjowane przez klienta

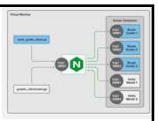
DSRG

Komunikacja strumieniowa – przykład

```
@Override
public void generatePrimeNumbers(Task request, StreamObserver<Number> responseObserver)
{
    System.out.println("generatePrimeNumbers");
    for (int i = 0; i < request.getMax(); i++) {
        if(isPrime(i)) { //zwłoka czasowa - dla obserwacji procesu strumieniowania
            Number number = Number.newBuilder().setValue(i).build();
            responseObserver.onNext(number);
        }
    }
    responseObserver.onCompleted();
}
```

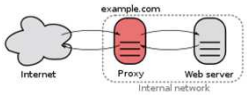
```
Task request = Task.newBuilder().setMax(15).build();
Iterator<Number> numbers;
try {
    numbers = streamTesterBlockingStub.generatePrimeNumbers(request);
    while(numbers.hasNext())
    {
        Number num = numbers.next();
        System.out.println("Number: " + num.getValue());
    }
} catch (StatusRuntimeException ex) {
    logger.log(Level.WARNING, "RPC failed: {0}", ex.getStatus());
    return;
}
```

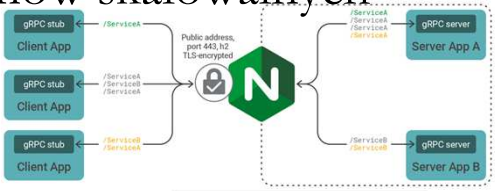

DSRG



Budowa systemów skalowalnych

- Koncepcja **reverse proxy**






```
upstream grpcservers {
    server 192.168.20.11:50051;
    server 192.168.20.12:50051;
}
```

- Równoważenie obciążenia
- Routing wiadomości
- Terminowanie zabezpieczeń
- Wykorzystanie np. nginx, envoy

```
location /helloworld.Greeter {
    grpc_pass grpc://192.168.20.11:50051;
}

location /helloworld.Dispatcher {
    grpc_pass grpc://192.168.20.11:50052;
}

location / {
    root html;
    index index.html index.htm;
}
```

https://www.nginx.com/blog/nginx-1-13-10-grpc/

DSRG

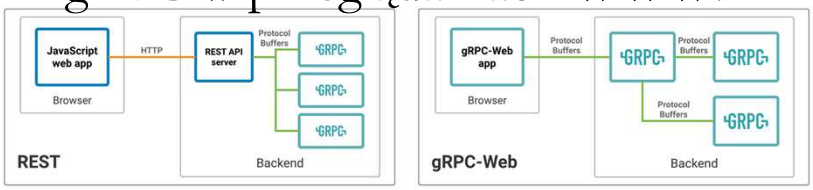
Kontrola przepływu

- Konsument może ograniczać tempo produkcji wiadomości
- Wykorzystanie kontroli przepływu HTTP/2
  - Każde żądanie HTTP/2 jest przesyłane w którymś ze strumieni
  - Tempo komunikacji może być ograniczane zarówno na poziomie pojedynczego strumienia jak i całego połączenia
- Tylko przy wywołaniach strumieniowych (unarne: nie)
- Reactive gRPC
  - Wykorzystanie kontroli przepływu (*back-pressure*) gRPC
  - Wskazania kontroli przepływu mogą się propagować do Reactive Streams, wsparcie także w akka-grpc

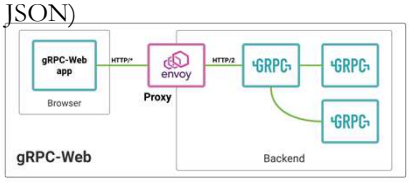
https://github.com/salesforce/reactive-grpc

DSRG

gRPC w przeglądarkach WWW?



- gRPC nie może być wprost używany w aplikacjach webowych (m.in. brak dostępu przeglądarki do surowych danych HTTP) → gRPC-Web
- Zaleta podejścia z prawej strony – jednolita reprezentacja danych: albo natywna (proto), albo tekstowa (Base-64, JSON)
- gRPC-Web: biblioteka JavaScript
- Nie jest wymagane HTTP/2
- Konieczna obecność reverse-proxy (konieczna translacja wiadomości)
- Nie jest dostępna pełna funkcjonalność gRPC



https://grpc.io/blog/grpc-web-ga , https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/proto3#json, https://github.com/grpc/grpc-web, https://grpc.io/blog/state-of-grpc-web/ https://github.com/grpc/grpc/blob/master/doc/PROTOCOL-WEB.md

DSRG

Zastosowania

- Aplikacje klient-serwer (klient: desktop lub mobile)
- Integracja w backendzie: łączenie mikrousług
- Ekspozycja API
  - konkurencyjny wobec REST i GraphQL
  - REST adresuje dane (zasoby), gRPC: procedury ich przetwarzania
- Ważne cechy
  - Bardzo dobra wydajność
  - Wykorzystanie najpopularniejszego protokołu Internetu
  - Efektywna komunikacja obustronna

DSRG

Subiektywne porównanie technologii

- Efektywność komunikacji: Thrift, gRPC
- Ładne, bogate interfejsy, wyjątki: Ice, Thrift
- Podejście obiektowe: Ice
- Bogata funkcjonalność: Ice
- Możliwość użycia w aplikacjach Web: gRPC, Ice
- Łatwość integracji z „nowymi” technologiami: gRPC
- Popularność: gRPC
- Licencjonowanie: uwaga na Ice!

- A może warto spojrzeć na inne: DRPC (Go), Twirp, …?

DSRG

Podsumowanie zajęć

- Czy wiem, co to jest to middleware?
- Czy wiem, na czym polega specyfika i wartość dodana technologii middleware w stosunku do omawianych wcześniej rozwiązań?
- Czy znam architekturę technologii middleware?
- Czy znam obszary ich zastosowań oraz ich ograniczenia?
- Czy umiem poprawnie definiować interfejsy komunikacji zdalnej?
- Czy znam zaawansowane mechanizmy tych technologii?
- Czy umiem stworzyć efektywny i niezawodny system rozproszony wykorzystujący te technologie?

KONIEC