

Лекция 8: Проектирование распределённых приложений

Юрий Литвинов
yurii.litvinov@gmail.com

19.05.2022

Распределённые системы

- ▶ Компоненты приложения находятся в компьютерной сети
- ▶ Взаимодействуют через обмен сообщениями
- ▶ Основное назначение — работа с общими ресурсами
- ▶ Особенности
 - ▶ Параллельная работа
 - ▶ Независимые отказы
 - ▶ Отсутствие единого времени

Частые заблуждения при проектировании распределённых систем

- ▶ Сеть надёжна
- ▶ Задержка (latency) равна нулю
- ▶ Пропускная способность бесконечна
- ▶ Сеть безопасна
- ▶ Топология сети неизменна
- ▶ Администрирование сети централизовано
- ▶ Передача данных “бесплатна”
- ▶ Сеть однородна

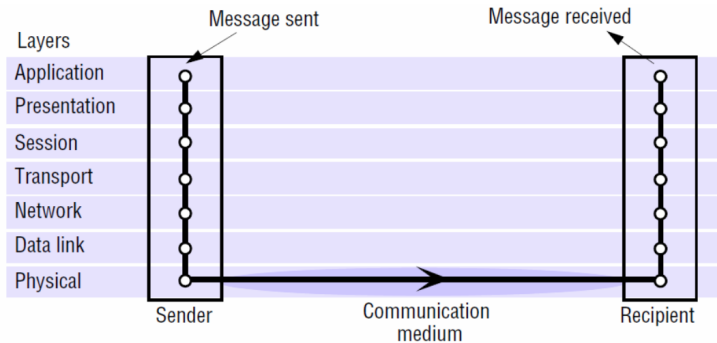
Виды взаимодействия

- ▶ Межпроцессное взаимодействие
- ▶ Удалённые вызовы
 - ▶ Протоколы вида “запрос-ответ”
 - ▶ Удалённые вызовы процедур (remote procedure calls, RPC)
 - ▶ Удалённые вызовы методов (remote method invocation, RMI)
- ▶ Неявное взаимодействие
 - ▶ Групповое взаимодействие
 - ▶ Модель “издатель-подписчик”
 - ▶ Очереди сообщений
 - ▶ Распределённая общая память

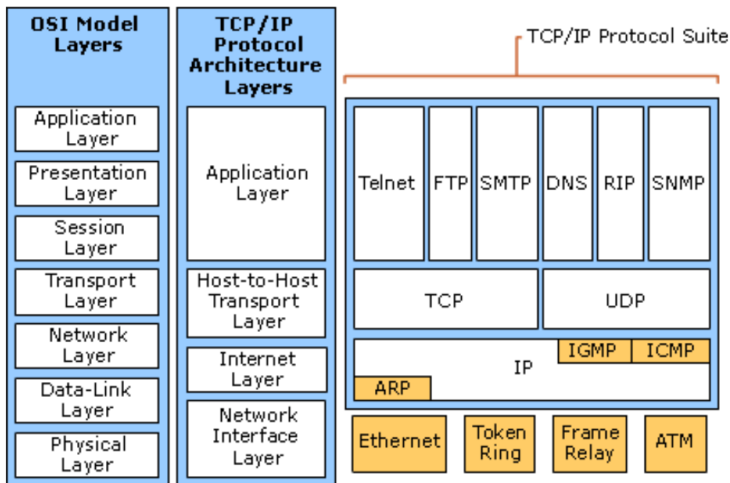
Типичные архитектурные стили

- ▶ Уровневая архитектура
 - ▶ ОС
 - ▶ Коммуникационная инфраструктура (Middleware)
 - ▶ Приложения и сервисы
- ▶ Клиент-сервер
 - ▶ Тонкий клиент
 - ▶ Бизнес-логика и данные — на сервере
- ▶ Трёхзвенная и N-уровневая архитектуры
 - ▶ Бизнес-логику и работу с данными часто разделяют

Модель OSI

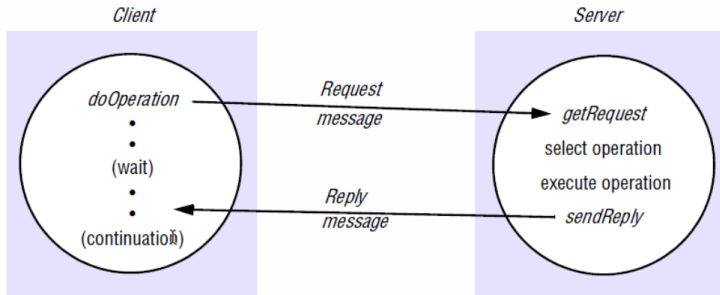


Стек протоколов TCP/IP



Протоколы “запрос-ответ”

- ▶ Запрос, действие, ответ
- ▶ Преимущественно синхронные вызовы



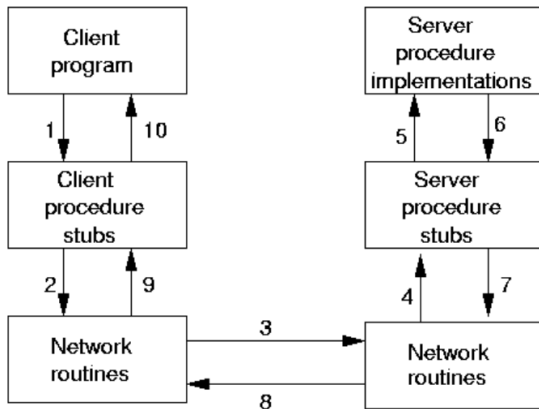
“Запрос-ответ” поверх UDP

- + Уведомления не нужны
- + Установление соединения — в два раза больше сообщений
- + Управление потоком не имеет смысла
- Потери пакетов
 - ▶ Таймаут + повторный запрос на уровне бизнес-логики
 - ▶ Защита от повторного выполнения операции (хранение “истории”)
 - ▶ Новый запрос как подтверждение получения прошлого
- Неопределённый порядок пакетов

“Запрос-ответ” поверх TCP

- + Использование потоков вместо набора пакетов
 - ▶ Удобная отправка больших объёмов данных
 - ▶ Один поток на всё взаимодействие
- + Интеграция с потоками ОО-языков
- + Надёжность доставки
 - ▶ Отсутствие необходимости проверок на уровне бизнес-логики
 - ▶ Уведомления в пакетах с ответом
 - ▶ Упрощение реализации
- Тяжеловесность коммуникации

RPC



Прозрачность RPC-вызовов

- ▶ Изначальная цель — максимальная похожесть на обычные вызовы
 - ▶ Location and access transparency
- ▶ Удалённые вызовы более уязвимы к отказам
 - ▶ Нужно понимать разницу между отказом сети и отказом сервиса
 - ▶ Exponential backoff
 - ▶ Клиенты должны знать о задержках при передаче данных
 - ▶ Возможность прервать вызов
- ▶ Явная маркировка удалённых вызовов?
 - ▶ Прозрачность синтаксиса
 - ▶ Явное отличие в интерфейсах
 - ▶ Указание семантики вызова

Удалённые вызовы методов (RMI)

- ▶ Продолжение идей RPC
 - ▶ Программирование через интерфейсы
 - ▶ Работа поверх протоколов “запрос-ответ”
 - ▶ At-least-once или at-most-once семантика вызовов
 - ▶ Прозрачность синтаксиса вызовов
- ▶ Особенности ОО-программ
 - ▶ Наследование, полиморфизм
 - ▶ Передача параметров по ссылкам
 - ▶ Исключения
 - ▶ Распределённая сборка мусора

Protocol buffers

protobuf

- ▶ Механизм сериализации-десериализации данных
- ▶ Компактное бинарное представление
- ▶ Декларативное описание формата данных, генерация кода для языка программирования
 - ▶ Поддерживается Java, Python, Objective-C, C++, Go, JavaNano, Ruby, C#
- ▶ Бывает v2 и v3, с некоторыми синтаксическими отличиями
- ▶ Хитрый протокол передачи,
<https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/encoding>
 - ▶ До 10 раз компактнее XML

Пример

Файл .proto:

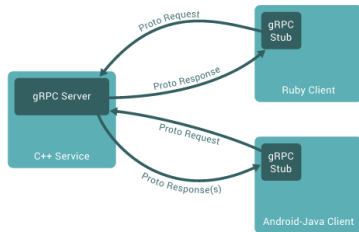
```
message Person {  
  required string name = 1;  
  required int32 id = 2;  
  optional string email = 3;  
}
```

Файл .java:

```
Person john = Person.newBuilder()  
    .setId(1234)  
    .setName("John Doe")  
    .setEmail("jdoe@example.com")  
    .build();  
output = new FileOutputStream(args[0]);  
john.writeTo(output);
```

gRPC

- ▶ средство для удалённого вызова (RPC)
- ▶ Работает поверх protobuf
- ▶ Разрабатывается Google
- ▶ Поддерживает C++, Java, Objective-C, Python, Ruby, Go, C#, Node.js



Технические подробности

- ▶ Сервисы описываются в том же .proto-файле, что и протокол protobuf-a
- ▶ В качестве типов параметров и результатов — message-и protobuf-a

```
service RouteGuide {  
  rpc GetFeature(Point) returns (Feature) {}  
  rpc ListFeatures(Rectangle) returns (stream Feature) {}  
  rpc RecordRoute(stream Point) returns (RouteSummary) {}  
  rpc RouteChat(stream RouteNote) returns (stream RouteNote) {}  
}
```

- ▶ Сборка — плагином grpc к protoc

Реализация сервиса на Java

```
private static class RouteGuideService extends RouteGuideGrpc.RouteGuideImplBase {
    ...
    @Override
    public void getFeature(Point request, StreamObserver<Feature> responseObserver) {
        responseObserver.onNext(checkFeature(request));
        responseObserver.onCompleted();
    }

    @Override
    public void listFeatures(Rectangle request, StreamObserver<Feature> responseObserver) {
        for (Feature feature : features) {
            ...
            int lat = feature.getLocation().getLatitude();
            int lon = feature.getLocation().getLongitude();
            if (lon >= left && lon <= right && lat >= bottom && lat <= top) {
                responseObserver.onNext(feature);
            }
        }
        responseObserver.onCompleted();
    }
}
```

Реализация сервиса на Java (2)

```

@Override
public StreamObserver<RouteNote> routeChat(
    final StreamObserver<RouteNote> responseObserver) {
    return new StreamObserver<RouteNote>() {
        @Override
        public void onNext(RouteNote note) {
            List<RouteNote> notes = getOrCreateNotes(note.getLocation());
            for (RouteNote prevNote : notes.toArray(new RouteNote[0])) {
                responseObserver.onNext(prevNote);
            }
            notes.add(note);
        }
        @Override
        public void onError(Throwable t) {
            logger.log(Level.WARNING, "routeChat cancelled");
        }
        @Override
        public void onCompleted() {
            responseObserver.onCompleted();
        }
    };
}

```

Реализация клиента на Java (1)

```
public RouteGuideClient(String host, int port) {  
    this(ManagedChannelBuilder.forAddress(host, port).usePlaintext(true));  
}
```

```
public RouteGuideClient(ManagedChannelBuilder<?> channelBuilder) {  
    channel = channelBuilder.build();  
    blockingStub = RouteGuideGrpc.newBlockingStub(channel);  
    asyncStub = RouteGuideGrpc.newStub(channel);  
}
```

Реализация клиента на Java (2)

```
public void getFeature(int lat, int lon) {  
    Point request = Point.newBuilder().setLatitude(lat).setLongitude(lon).build();  
    Feature feature;  
    try {  
        feature = blockingStub.getFeature(request);  
    } catch (StatusRuntimeException e) {  
        warning("RPC failed: {0}", e.getStatus());  
        return;  
    }  
    if (RouteGuideUtil.exists(feature)) {  
        info("Found feature called \"{0}\" at {1}, {2}",  
            feature.getName(),  
            RouteGuideUtil.getLatitude(feature.getLocation()),  
            RouteGuideUtil.getLongitude(feature.getLocation()));  
    } else {  
        info("Found no feature at {0}, {1}",  
            RouteGuideUtil.getLatitude(feature.getLocation()),  
            RouteGuideUtil.getLongitude(feature.getLocation()));  
    }  
}
```

Веб-сервисы

- ▶ Перенос специализации клиент-сервера в web
- ▶ Сложные приложения как интеграция веб-сервисов
- ▶ HTTP-запрос для выполнения команды
 - ▶ Асинхронное взаимодействие
 - ▶ Ответ-запрос
 - ▶ Событийные схемы
- ▶ XML или JSON как основной формат сообщений
 - ▶ SOAP/WSDL/UDDI
 - ▶ XML-RPC
 - ▶ REST

SOAP-ориентированные сервисы

- ▶ Simple Object Access Protocol
- ▶ Web Services Description Language
- ▶ Universal Discovery, Description and Integration



SOAP-сообщение

```
<env:Envelope xmlns:env="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
  <env:Header>
    <n:alertcontrol xmlns:n="http://example.org/alertcontrol">
      <n:priority>1</n:priority>
      <n:expires>2001-06-22T14:00:00-05:00</n:expires>
    </n:alertcontrol>
  </env:Header>
  <env:Body>
    <m:alert xmlns:m="http://example.org/alert">
      <m:msg>Get up at 6:30 AM</m:msg>
    </m:alert>
  </env:Body>
</env:Envelope>
```


WSDL-описание

```
<message name="getTermRequest">  
  <part name="term" type="xs:string"/>  
</message>
```

```
<message name="getTermResponse">  
  <part name="value" type="xs:string"/>  
</message>
```

```
<portType name="glossaryTerms">  
  <operation name="getTerm">  
    <input message="getTermRequest"/>  
    <output message="getTermResponse"/>  
  </operation>  
</portType>
```

Достоинства SOAP-based сервисов

- ▶ Автоматический режим описания сервисов
- ▶ Автоматическая поддержка описаний SOAP-клиентом
- ▶ Автоматическая валидация сообщений
 - ▶ Валидность xml
 - ▶ Проверка по схеме
 - ▶ Проверка SOAP-сервером
- ▶ Работа через HTTP
 - ▶ Хоть через обычный GET

Пример: WCF

- ▶ Платформа для создания веб-сервисов
- ▶ Часть .NET Framework, начиная с 3.0
- ▶ Умеет WSDL, SOAP и т.д., очень конфигурируема
- ▶ Автоматическая генерация заглушек на стороне клиента
- ▶ ABCs of WCF:
 - ▶ Address
 - ▶ Binding
 - ▶ Contract



© <http://www.c-sharpcorner.com>

Пример, описание контракта

```
[ServiceContract(Namespace = "http://Microsoft.ServiceModel.Samples")]  
public interface ICalculator  
{  
    [OperationContract]  
    double Add(double n1, double n2);  
  
    [OperationContract]  
    double Subtract(double n1, double n2);  
  
    [OperationContract]  
    double Multiply(double n1, double n2);  
  
    [OperationContract]  
    double Divide(double n1, double n2);  
}
```

Пример, реализация контракта

```
public class CalculatorService : ICalculator
{
    public double Add(double n1, double n2)
        => n1 + n2;

    public double Subtract(double n1, double n2)
        => n1 - n2

    public double Multiply(double n1, double n2)
        => n1 * n2;

    public double Divide(double n1, double n2)
        => n1 / n2;
}
```

Пример, self-hosted service

```

static void Main(string[] args)
{
    Uri baseAddress = new Uri("http://localhost:8000/ServiceModelSamples/Service");
    ServiceHost selfHost = new ServiceHost(typeof(CalculatorService), baseAddress);

    try {
        selfHost.AddServiceEndpoint(typeof(ICalculator), new WSHttpBinding(), "CalculatorService");

        ServiceMetadataBehavior smb = new ServiceMetadataBehavior();
        smb.HttpGetEnabled = true;
        selfHost.Description.Behaviors.Add(smb);

        selfHost.Open();
        Console.WriteLine("The service is ready. Press <ENTER> to terminate service.");
        Console.ReadLine();

        selfHost.Close();
    } catch (CommunicationException ce) {
        Console.WriteLine($"An exception occurred: {ce.Message}");
        selfHost.Abort();
    }
}

```

Пример, клиент

► Генерация заглушки:

```
svcutil.exe /language:cs /out:generatedProxy.cs /config:app.config^  
http://localhost:8000/ServiceModelSamples/service
```

► Клиент:

```
static void Main(string[] args)  
{  
    CalculatorClient client = new CalculatorClient();  
  
    double value1 = 100.00D;  
    double value2 = 15.99D;  
    double result = client.Add(value1, value2);  
    Console.WriteLine($"Add({value1},{value2}) = {result}");  
  
    client.Close();  
}
```

Пример, конфигурация клиента

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<configuration>
  <startup>
    <!-- specifies the version of WCF to use-->
    <supportedRuntime version="v4.0" sku=".NETFramework,Version=v4.5,Profile=Client" />
  </startup>
  <system.serviceModel>
    <bindings>
      <!-- Uses wsHttpBinding-->
      <wsHttpBinding>
        <binding name="WSHttpBinding_ICalculator" />
      </wsHttpBinding>
    </bindings>
    <client>
      <!-- specifies the endpoint to use when calling the service -->
      <endpoint address="http://localhost:8000/ServiceModelSamples/Service/CalculatorService"
        binding="wsHttpBinding" bindingConfiguration="WSHttpBinding_ICalculator"
        contract="ServiceReference1.ICalculator" name="WSHttpBinding_ICalculator">
        <identity>
          <userPrincipalName value="migree@redmond.corp.microsoft.com" />
        </identity>
      </endpoint>
    </client>
  </system.serviceModel>
</configuration>
```


Очереди сообщений

- ▶ Используются для гарантированной доставки сообщений
 - ▶ Даже если отправитель и получатель доступны в разное время
 - ▶ Локальное хранилище сообщений на каждом устройстве
- ▶ Реализуют модель “издатель-подписчик”, но могут работать и в режиме “точка-точка”
- ▶ Как правило, имеют развитые возможности маршрутизации, фильтрации и преобразования сообщений
 - ▶ Разветвители, агрегаторы, преобразователи порядка

RabbitMQ

- ▶ Сервер и клиенты системы надёжной передачи сообщений
 - ▶ Сообщение посылается на сервер и хранится там, пока его не заберут
 - ▶ Продвинутое возможности по маршрутизации сообщений
- ▶ Реализует протокол AMQP (Advanced Message Queuing Protocol), но может использовать и другие протоколы
- ▶ Сервер написан на Erlang, клиентские библиотеки доступны для практически чего угодно



Пример, отправитель

```
using System;  
using RabbitMQ.Client;  
using System.Text;
```

```
class Send
```

```
{  
    public static void Main()  
    {  
        var factory = new ConnectionFactory() { HostName = "localhost" };  
        using (var connection = factory.CreateConnection())  
        {  
            using (var channel = connection.CreateModel())  
            {  
                channel.QueueDeclare(queue: "hello", durable: false, exclusive: false,  
                                    autoDelete: false, arguments: null);  
  
                string message = "Hello World!";  
                var body = Encoding.UTF8.GetBytes(message);  
  
                channel.BasicPublish(exchange: "", routingKey: "hello",  
                                    basicProperties: null, body: body);  
            }  
        }  
    }  
}
```

Пример, получатель

```
using RabbitMQ.Client;
using RabbitMQ.Client.Events;
using System;
using System.Text;
```

```
class Receive
```

```
{
    public static void Main()
    {
        var factory = new ConnectionFactory() { HostName = "localhost" };
        using (var connection = factory.CreateConnection())
        using (var channel = connection.CreateModel())
        {
            channel.QueueDeclare(queue: "hello", durable: false, exclusive: false, autoDelete: false, arguments: null);

            var consumer = new EventingBasicConsumer(channel);
            consumer.Received += (model, ea) =>
            {
                var body = ea.Body;
                var message = Encoding.UTF8.GetString(body);
                Console.WriteLine("[x] Received {0}", message);
            };
            channel.BasicConsume(queue: "hello", autoAck: true, consumer: consumer);
        }
    }
}
```

Representational State Transfer (REST)

- ▶ Модель клиент-сервер
- ▶ Отсутствие состояния
- ▶ Кэширование
- ▶ Единообразие интерфейса
- ▶ Слои

Интерфейс сервиса

- ▶ Коллекции
 - ▶ <http://api.example.com/resources/>
- ▶ Элементы
 - ▶ <http://api.example.com/resources/item/17>
- ▶ HTTP-методы
 - ▶ GET
 - ▶ PUT
 - ▶ POST
 - ▶ DELETE
- ▶ Передача параметров прямо в URL
 - ▶ http://api.example.com/resources?user=me&access_token=ASFQF

Пример, Google Drive REST API

- ▶ GET <https://www.googleapis.com/drive/v2/files> — список всех файлов
- ▶ GET <https://www.googleapis.com/drive/v2/files/fileId> — метаданные файла по его Id
- ▶ POST <https://www.googleapis.com/upload/drive/v2/files> — загрузить новый файл
- ▶ PUT <https://www.googleapis.com/upload/drive/v2/files/fileId> — обновить файл
- ▶ DELETE <https://www.googleapis.com/drive/v2/files/fileId> — удалить файл

Достоинства

- ▶ Надёжность
- ▶ Производительность
- ▶ Масштабируемость
- ▶ Прозрачность системы взаимодействия
- ▶ Простота интерфейсов
- ▶ Портативность компонентов
- ▶ Лёгкость внесения изменений

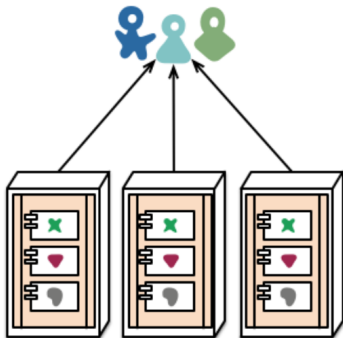
Микросервисы

- ▶ Набор небольших сервисов
 - ▶ Разные языки и технологии
- ▶ Каждый в собственном процессе
 - ▶ Независимое развёртывание
 - ▶ Децентрализованное управление
- ▶ Легковесные коммуникации

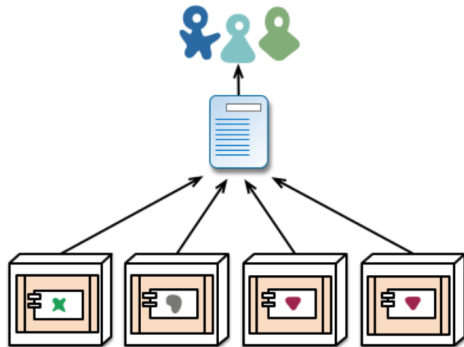
Монолитные приложения

- ▶ Большой и сложный MVC
- ▶ Единый процесс разработки и стек технологий
- ▶ Сложная архитектура
- ▶ Сложно масштабировать
- ▶ Сложно вносить изменения

Разбиение на сервисы



monolith - multiple modules in the same process



microservices - modules running in different processes

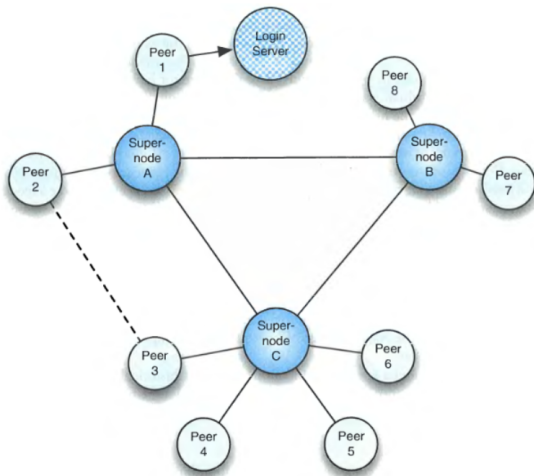
Основные проблемы

- ▶ Сложности выделения границ сервисов
- ▶ Перенос логики на связи между сервисами
 - ▶ Большой обмен данными
 - ▶ Нетривиальные зависимости
- ▶ Нетривиальная инфраструктура
- ▶ Нетривиальная переиспользуемость кода

Архитектура Peer-to-Peer

- ▶ Децентрализованный и самоорганизующийся сервис
- ▶ Динамическая балансировка нагрузки
 - ▶ Вычислительные ресурсы
 - ▶ Хранилища данных
- ▶ Динамическое изменение состава участников

Skype: Overlaid P2P



BitTorrent : Resource Trading P2P

- ▶ Обмен сегментами
- ▶ Поиск не входит в протокол
- ▶ Трекеры
- ▶ Метаданные
- ▶ Управление приоритетами
- ▶ Бестрекерная реализация