

# Интероперабельность

Алексей Островский

Физико-технический учебно-научный центр НАН Украины

23 апреля 2015 г.

## Проблемы взаимодействия сред выполнения

- ▶ **Байт (8 бит):** целое число со знаком (Java) или без знака (C / C++, C#)?
- ▶ Формат и объем поддержки **сложных типов:** структур, массивов (как реализована многомерность?), множеств, перечислений, объединений.
- ▶ **Порядок байтов** в сложных объектах: от младшего к старшему или наоборот (определяется ABI конкретной среды)?
- ▶ **Кодирование строк:** в UTF-16 (1 символ = 2 байта, представление данных в оперативной памяти в Java, C#, ...) или UTF-8 (переменная длина символа, представление при постоянном хранении данных)?
- ▶ **Сжатие данных?**

# Интероперабельность

## Определение

**Интероперабельность** (англ. *interoperability*) — возможность обмениваться данными для программ, выполняемых в различных операционных средах.

**Инструменты** достижения интероперабельности:

- ▶ стандартизация протоколов взаимодействия;
- ▶ поддержка базовых форматов передачи информации (файлов и т. п.);
- ▶ использование согласованного представления данных.

**Причины использования:**

- ▶ разделение приложения на слабо связанные компоненты в соответствии с компонентно-ориентированным программированием, разделение «зон ответственности» разработчиков;
- ▶ максимизация повторного использования кода;
- ▶ повышение отказоустойчивости и производительности.

# Межпроцессное взаимодействие

## Определение

**Межпроцессное взаимодействие** (англ. *inter-process communication, IPC*) — спецификации для организации обмена данными между несколькими потоками выполнения и / или процессами.

### Категории:

- ▶ локальное — взаимодействие в пределах одного компьютера;
- ▶ распределенное — в рамках нескольких компьютеров (через сеть).

### Уровень:

- ▶ низкоуровневое — взаимодействие средствами операционной системы (с использованием сведений об ABI);
- ▶ высокоуровневое — с помощью посредника, позволяющего абстрагироваться от ABI.

# Спецификация взаимодействия

## Способ коммуникации:

- ▶ файлы;
- ▶ анонимные / именованные каналы;
- ▶ сигналы;
- ▶ разделяемая память;
- ▶ сокеты;
- ▶ сообщения.

## Формат данных:

- ▶ бинарный (с согласованной спецификацией);
- ▶ текстовый (на основе XML, JSON, других форматов).

## Низкоуровневое взаимодействие: POSIX / System V

### Способы обмена данными:

- ▶ **Сигнал** — пересылка системных сообщений между процессами (обычно с минимальной нагрузкой данными).
- ▶ **Сокет** — взаимодействие через физический сетевой интерфейс.
- ▶ Системная **очередь сообщений**.
- ▶ **Канал взаимодействия** (англ. *pipe*) — двусторонний поток данных, связывающий ввод / вывод двух процессов с последовательным доступом.
- ▶ **Разделяемая память** — участок оперативной памяти, доступный для чтения / записи для нескольких процессов.

## Низкоуровневое взаимодействие: POSIX / System V

### Достоинства:

- ▶ высокая скорость передачи данных;
- ▶ широкий круг систем с поддержкой технологии;
- ▶ минимальная зависимость от стороннего ПО.

### Недостатки:

- ▶ ограниченность одним компьютером (кроме сокетов);
- ▶ отсутствие спецификации формата данных ( $\Rightarrow$  сложно обнаруживаемые и локализуемые ошибки);
- ▶ сложность восприятия и модификации программ;
- ▶ необходимость написания шаблонного кода (англ. *boilerplate code*).

# Middleware

## Определение

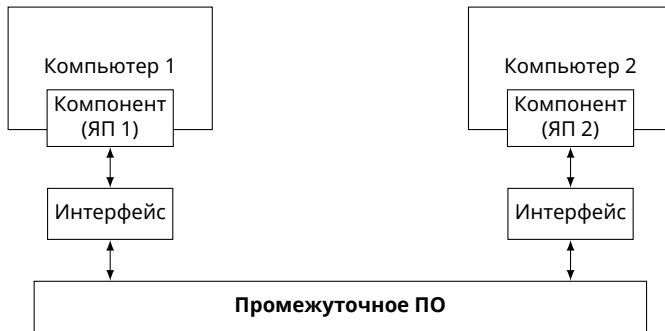
**Промежуточное программное обеспечение** (англ. *middleware*) — ПО, предоставляющее инструменты для обмена и управления данными для межпроцессного взаимодействия, которые расширяют встроенные средства операционной системы.

### Достоинства:

- ▶ стандартизация формата данных ⇒ поддержка взаимодействия между различными языками программирования и ОС;
- ▶ упрощение процесса разработки, улучшение качества кода;
- ▶ инструменты для контроля взаимодействия (отладка, профилирование и т. п.).



## Роль промежуточного ПО в построении приложений



Промежуточное ПО связывает компоненты, определяя их унифицированный интерфейс для всех поддерживаемых сред выполнения.

## Типы промежуточного ПО

Типы промежуточного ПО  $\simeq$  парадигмы программирования.

- ▶ Процедурное программирование — **удаленный вызов процедур** (англ. *remote procedure call*).  
Посредник связывает интерфейсы и реализации отдельных процедур.
- ▶ Объектно-ориентированное программирование — **посредник доступа к объектам** (англ. *object request broker*).  
Посредник хранит интерфейсы и реализации объектов, содержащих методы и атрибуты.
- ▶ Событийно-ориентированное программирование — **очередь сообщений** (англ. *message queue*).  
Посредник позволяет клиентам производить и потреблять сообщения определенного формата.
- ▶ Реляционное программирование — **доступ к СУБД** (англ. *SQL data access*).  
Посредник предоставляет доступ к БД с помощью программных интерфейсов.

## Характеристики промежуточного ПО

### Метод согласования интерфейсов:

- ▶ на основе отдельного языка спецификации;
- ▶ с помощью языков программирования (при поддержке ограниченного набора сред выполнения).

### Роли пользователей:

- ▶ архитектура «клиент — сервер»;
- ▶ однородная среда (peer to peer).

### Метод обмена данными:

- ▶ синхронный (с блокированием выполнения);
- ▶ асинхронный (без блокирования, т. е. на основе событий).

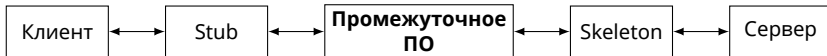
# RPC

## Определение

**Удаленный вызов процедур** (англ. *remote procedure call, RPC*) — протокол межпроцессного взаимодействия, предоставляющий возможность выполнять процедуры в других процессах как локальные.

## Определение

**Удаленный вызов методов** (англ. *remote method invocation, RMI*) — аналог RPC в объектно-ориентированном программировании.



# RPC

## Определение

**Удаленный вызов процедур** (англ. *remote procedure call, RPC*) — протокол межпроцессного взаимодействия, предоставляющий возможность выполнять процедуры в других процессах как локальные.

## Определение

**Удаленный вызов методов** (англ. *remote method invocation, RMI*) — аналог RPC в объектно-ориентированном программировании.



преобразует параметры вызываемых процедур для передачи промежуточному ПО (англ. *marshalling*)

# RPC

## Определение

**Удаленный вызов процедур** (англ. *remote procedure call, RPC*) — протокол межпроцессного взаимодействия, предоставляющий возможность выполнять процедуры в других процессах как локальные.

## Определение

**Удаленный вызов методов** (англ. *remote method invocation, RMI*) — аналог RPC в объектно-ориентированном программировании.



преобразует сообщения от промежуточного ПО в локальные вызовы (англ. *unmarshalling*)

## Виды RPC

### Процедурный и смешанный подход:

- ▶ JSON-RPC;
- ▶ XML-RPC, SOAP.

### Объектно-ориентированный подход:

- ▶ CORBA;
- ▶ Java RMI;
- ▶ Microsoft .NET Remoting, Microsoft DCOM;
- ▶ Apache Thrift;
- ▶ ZeroC Internet Communication Engine (ICE).

# CORBA

## Определение

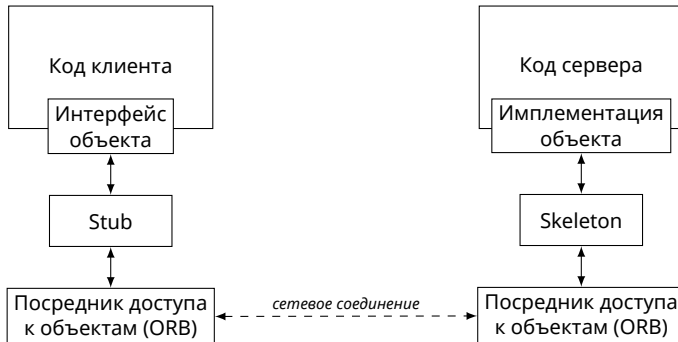
**CORBA** (common object request broker architecture) — набор спецификаций, разработанных Object Management Group (OMG) для обеспечения обмена данными на основе объектно-ориентированных интерфейсов.

### Составляющие CORBA:

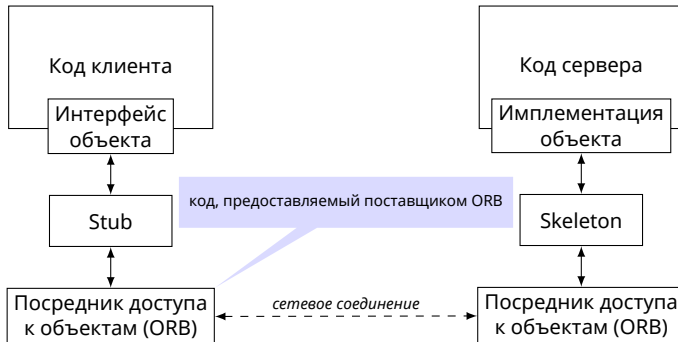
- ▶ язык описания интерфейсов объектов (OMG interface description language, IDL);
- ▶ отображение типов данных IDL для различных языков программирования;
- ▶ протокол передачи данных: general inter-orb protocol (GIOP) и его реализация через HTTP — Internet inter-orb protocol (IIOP);
- ▶ вспомогательные средства для передачи (stub / skeleton);
- ▶ инструменты, напр., сервис имен.



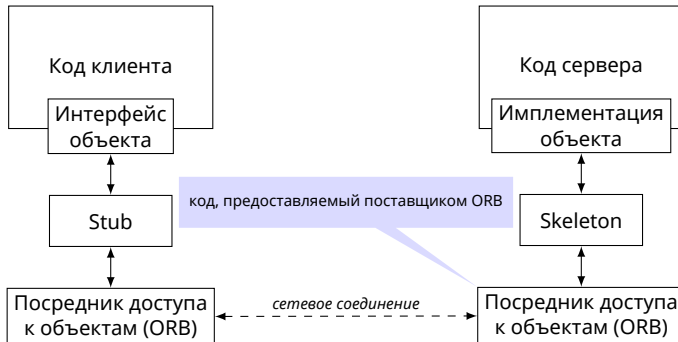
## Схема работы CORBA



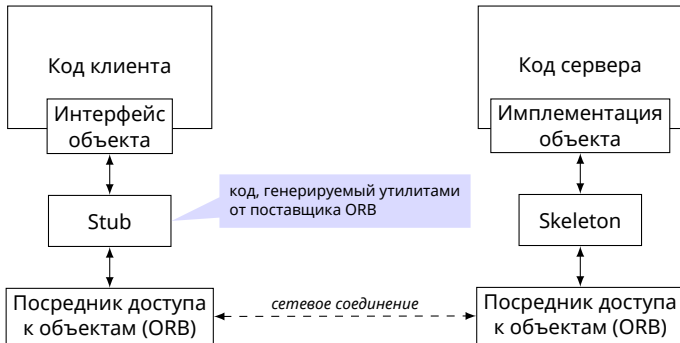
# Схема работы CORBA



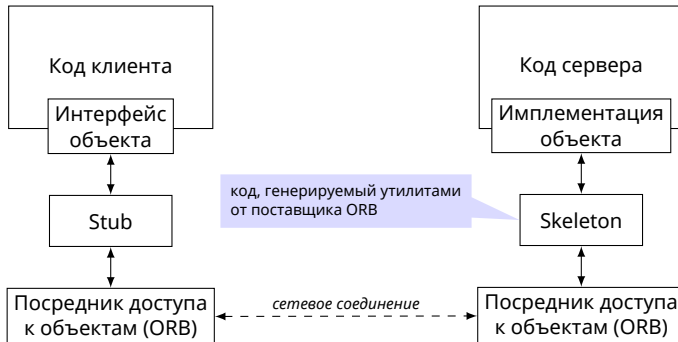
# Схема работы CORBA



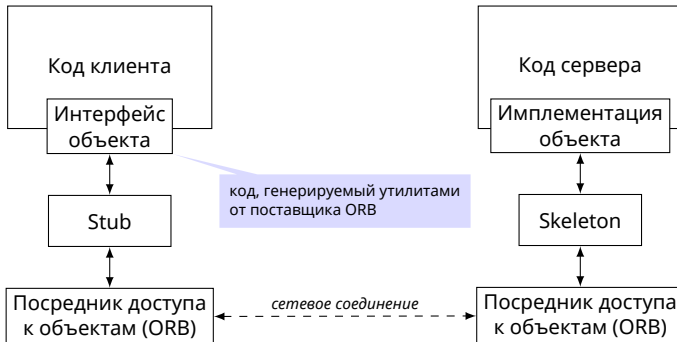
# Схема работы CORBA



# Схема работы CORBA



# Схема работы CORBA



## Генерация кода в CORBA

В CORBA предусмотрены инструменты, которые автоматически генерируют:

- ▶ **интерфейс объекта** на поддерживаемом ЯП на основе IDL-описания;
- ▶ **IDL-описание** на основе интерфейса / класса поддерживаемого ЯП;
- ▶ **stub** (клиентский вспомогательный код) на основе IDL, который:
  - ▶ реализует интерфейс объекта;
  - ▶ адресует вызовы методов посреднику и обрабатывает получаемые результаты.
- ▶ **skeleton** (серверный вспомогательный код) на основе IDL, который:
  - ▶ реализует интерфейс объекта;
  - ▶ является основой для построения имплементации;
  - ▶ преобразует принятые от посредника данные.

## Реализации CORBA

### Системы, поддерживающие архитектуру CORBA:

- ▶ Java Development Kit, как альтернатива / дополнение для Java RMI;
- ▶ WildFly (ранее JBoss) (Java);
- ▶ omniORB (C++, Python);
- ▶ ORBit (C, Python);
- ▶ IIOP.NET (C# и другие языки MS .NET; поддерживаются не все стандарты).

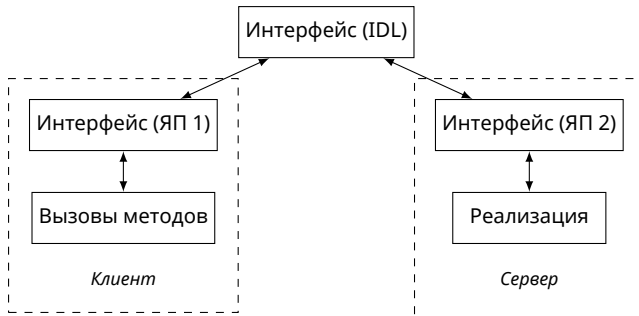
Несмотря на объектную ориентацию CORBA, для реализации сервисов и клиентов можно использовать другие подходы (напр., процедурное программирование в C).



# IDL

## Определение

**Язык описания объектов** (англ. *interface description language / interface definition language*) – частный случай языка спецификации, служащий для описания интерфейса объекта независимым от языка реализации способом.



Промежуточное ПО содержит средства для преобразования от конкретных ЯП к IDL и обратно.

# OMG IDL

## Типы данных:

- ▶ базовые типы данных:
  - ▶ булев тип;
  - ▶ целые числа 2, 4, 8 байт со знаком и без;
  - ▶ байты;
  - ▶ 32-, 64- и 96/128-битные числа с плавающей запятой;
  - ▶ символы и строки ASCII и UTF-16);
- ▶ конструкции:
  - ▶ структуры (англ. *struct*),
  - ▶ перечисления (англ. *enum*),
  - ▶ маркированные объединения (англ. *tagged union*);
  - ▶ массивы (фиксированное число элементов);
  - ▶ последовательности (ограниченное сверху или произвольное число элементов);

# OMG IDL

## Типы данных (продолжение):

- ▶ исключения (~ структуры с особой семантикой);
- ▶ интерфейсы объектов, содержащие:
  - ▶ операции (~ методы), характеризующиеся входными / выходными параметрами, возвращаемым типом и исключениями;
  - ▶ атрибуты (~ свойства), в т. ч. только для чтения;
- ▶ any (произвольный объект);
- ▶ типы, передаваемые по значению (англ. *valuetype*) — ~ классы в ООП (поля + методы); методы выполняются на стороне клиента.

# OMG IDL

## Характеристики языка:

- ▶ декларации типов (в т. ч. вложенные), именованные константы;
- ▶ наследование интерфейсов (в т. ч. множественное);
- ▶ модули для группировки связанных интерфейсов;
- ▶ наличие препроцессора, возможность условной компиляции;
- ▶ подключение деклараций из других IDL-файлов.

## Привязки к языкам программирования:

- ▶ C++;
- ▶ Java;
- ▶ Python;
- ▶ Ruby;
- ▶ C# и другие языки CLR (неполные).

## Пример: интерфейс числовой последовательности

```
1 // Типы ответов на запрос члена последовательности.
2 enum ResponseType {
3     t_int, // целое число, занимающее 4 байта
4     t_string, // строка произвольной длины
5     t_error // сообщение об ошибке
6 };
7
8 // Объединение — ответ на запрос.
9 union Response switch(ResponseType) {
10     case t_int: long intVal;
11     case t_string: string stringVal;
12     case t_error: string message;
13 };
14
15 interface IntegerSequence {
16     readonly attribute string name;
17     readonly attribute string description;
18     readonly attribute long maxIndex;
19     // Возвращает член последовательности с заданным индексом.
20     Response number(in long index);
21 };
```

## Модули ORB

- ▶ **Сервис имен** — идентификация объектов по имени ( $\simeq$ URI), состоящем из  $\geq 0$  контекстов (директорий) и названия (и, возможно, типа) объекта.

**Применение:** упрощение доступа к объектам.

- ▶ **POA** (portable object adapter) — разделение реализации объекта на 2 части:
  - ▶ CORBA-совместимый объект — код, связанный с преобразованием данных;
  - ▶ слуга (англ. *servant*) — реализация методов и атрибутов объекта.

**Применение:** динамический подбор реализации (напр., в зависимости от метода); балансировка нагрузки.

- ▶ **Репозиторий интерфейсов** — содержит все зарегистрированные в CORBA определения типов.

**Применение:** получение динамических сведений о структуре объектов.

## Объекты CORBA

CORBA предоставляет доступ к объектам в виде ссылок. Интерфейс ссылки состоит из 2 частей:

- ▶ интерфейс, определенный в IDL;
- ▶ базовый интерфейс CORBA: `:Object`.

### Методы базового интерфейса:

- ▶ динамическое определение интерфейса: `get_interface`, `repository_id`, `is_a`;
- ▶ копирование и удаление ссылок на объект (для управления сборкой мусора): `duplicate`, `release`;
- ▶ тестирование доступности объекта: `is_nil`, `non_existent`;
- ▶ сравнение объектов: `is_equivalent`, `hash`;
- ▶ приведение типов: `narrow`.

## Пример: работа с удаленным объектом в Python

```
1 # Создать посредник доступа к объектам.
2 orb = CORBA.ORB_init([], CORBA.ORB_ID)
3 # Получить стандартный сервис имен CORBA.
4 name_service = orb.resolve_initial_references("NameService")
5 # Привести полученный объект к правильному типу
6 # (в Python приведение предназначено для проверки типа объекта).
7 name_service = name_service._narrow(CosNaming.NamingContextExt)
8
9 name = "test-service" # имя зарегистрированного сервиса
10 # Найти сервис по имени.
11 seq = name_service.resolve_str(name)
12 seq = seq._narrow(IntegerSequence)
13 # Проверить, доступен ли сервис.
14 if seq._non_existent(): raise Exception("Service unavailable")
15
16 # При переходе от IDL к Python атрибуты преобразуются в функции
17 # _get_<имя атрибута> и _set_<имя атрибута>.
18 print seq._get_name()
```



# Очередь сообщений

## Определение

**Очередь сообщений** (англ. *message queue, mailbox*) — вид межпроцессного взаимодействия, при котором отправитель и получатель данных слабо связаны (англ. *loosely coupled*).

- ▶ Роли сторон

**RPC:** ассиметричные — клиент (потребитель) и сервер (реализация);

**MQ:** симметричные — каждый клиент может получать и отправлять сообщения.

- ▶ Связь

**RPC:** сильная — клиент знает интерфейс сервера;

**MQ:** слабая — получатель знает только формат сообщений.

- ▶ Передача данных

**RPC:** синхронная — по запросу клиента; сервер должен быть активен на момент запроса.

**MQ:** асинхронная — сообщения хранятся в очереди до доставки клиенту.

## Характеристики очередей сообщений

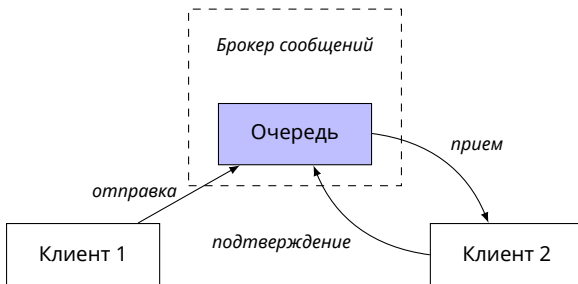
### Преимущества по сравнению с RPC:

- ▶ отсутствие необходимости спецификации интерфейсов компонентов;
- ▶ быстрая замена и модификация компонентов;
- ▶ нет необходимости в одновременном функционировании всех компонентов;
- ▶ возможность построения сложной архитектуры поставщиков и потребителей сообщений.

### Недостатки:

- ▶ асинхронная модель подходит не для всех архитектур приложений (напр., малоприспособлена для систем реального времени);
- ▶ затраты на организацию и обеспечение отказоустойчивости брокера сообщений.

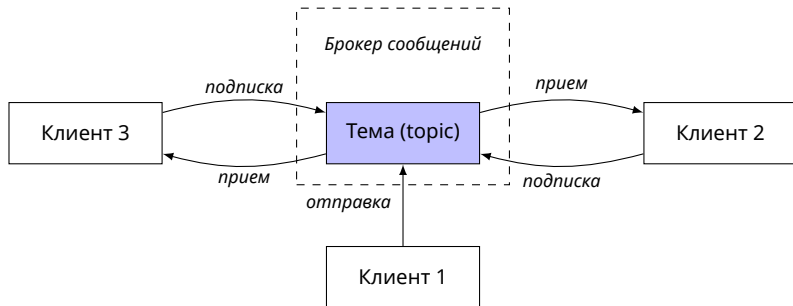
## Организация очереди сообщений



Организация очереди сообщений в формате **point-to-point** (PTR):

- ▶ один потребитель для каждого сообщения;
- ▶ асинхронная работа отправителя и приемника;
- ▶ сохранение сведений о приеме сообщений.

## Организация очереди сообщений



Организация очереди сообщений в формате **publish / subscribe**:

- ▶ неограниченное количество потребителей для каждого сообщения;
- ▶ прием сообщений потребителями только в периоды активности (сообщения не «откладываются»).

## Реализации очереди сообщений

**Java Message Queue** — стандарт обмена сообщениями в Java, часть Java Enterprise Edition (Java EE).

### Реализации:

- ▶ Apache ActiveMQ;
- ▶ OpenMQ (часть сервера приложений Glassfish);
- ▶ IBM WebSphere MQ.

**AMQP** (advanced message queuing protocol) — протокол передачи сообщений на уровне приложения.

### Реализации:

- ▶ Apache Qpid;
- ▶ RabbitMQ;
- ▶ Microsoft Azure Service Bus;
- ▶ ZeroMQ.

## Выводы

1. Интероперабельность — технологии взаимодействия между компонентами программной системы, написанными и выполняемыми в различных средах. Близкое к интероперабельности понятие — межпроцессное взаимодействие (IPC).
2. Низкоуровневые средства для межпроцессного взаимодействия встроены во все операционные системы. Высокоуровневые методы IPC используют промежуточное ПО (*middleware*).
3. Есть две основные категории промежуточного ПО: на основе процедур / объектов и на основе сообщений.
4. Одним из наиболее полных стандартов промежуточного ПО является CORBA, технология, позволяющая работать с удаленными объектами как с локальными.

# Материалы



Лавріщева К. М.

Програмна інженерія (підручник).

К., 2008. — 319 с.



Object Management Group

CORBA specifications.

<http://www.omg.org/spec/>



Oracle

The Java EE Tutorial. Chapter 45 "Java Message Service Concepts".

<http://docs.oracle.com/javaee/7/tutorial/jms-concepts001.htm>

Спасибо за внимание!