SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Diplomski studij
Računarstvo
Znanost o mrežama
Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Računalno inženjerstvo
Ostali (slobodni izborni predmet)

Raspodijeljeni sustavi

5. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi-pretplati, dijeljeni podatkovni prostor

Ak. god. 2022./2023.

Creative Commons

- slobodno smijete:
  - **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
  - **prerađivati** djelo
- pod sljedećim uvjetima:
  - **imenovanje:** morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
  - **nekomercijalno:** ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
  - **dijeli pod istim uvjetima:** ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnjeg korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela.
Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.
Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava. *Tekst licence preuzet je s http://creativecommons.org/*

„Neizravna” komunikacija

- engl. *indirect communication*
- komunikacija među procesima raspodijeljenog sustava **putem posrednika** bez direktne interakcije pošiljatelja i primatelja
- područja primjene
  - pokretne mreže i okoline
  - tokovi podataka (npr. financijski sustavi)
  - aplikacije u području Interneta stvari (senzori kontinuirano generiraju podatke)
- osigurava **prostornu i vremensku neovisnost procesa** (engl. *space uncoupling and time uncoupling*)

Sadržaj predavanja

- Komunikacija porukama
- Model objavi-pretplati
  - Primjeri programske opreme za komunikaciju porukama: JMS, AMQP, Kafka
- Dijeljeni podatkovni prostor

Komunikacija porukama

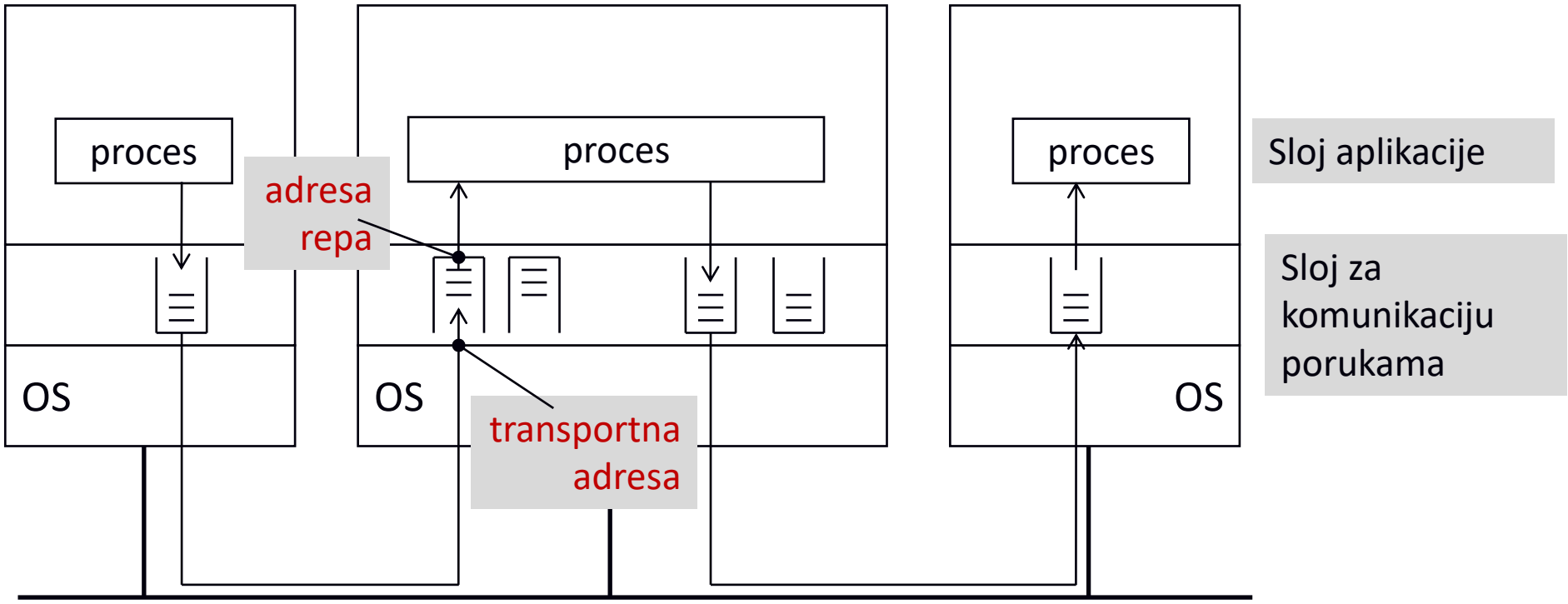
engl. *message-queuing systems*, *Message-Oriented Middleware* (MOM)

- Procesi/objekti komuniciraju razmjenjujući poruke.
- U komunikaciji sudjeluju izvor (pošiljatelj poruke) i odredište (primatelj poruke).
- Izvor šalje poruku, poruka se pohranjuje u rep koji je pridijeljen odredištu.
- Odredište čita poruku iz repa.
- Poruke sadrže podatke, važna je adresa odredišnog repa.
- Adresiranje se izvodi najčešće na nivou sustava, svaki rep ima jedinstven identifikator u sustavu.

Izvođenje komunikacije porukama

- `put` – dodaj poruku u rep
- `get` – pročitaj poruku iz repa, primatelj je blokiran ako je rep prazan
- `poll` – provjeri postoje li poruke u repu i pročitaj prvu poruku ako takva postoji, primatelj nije blokiran

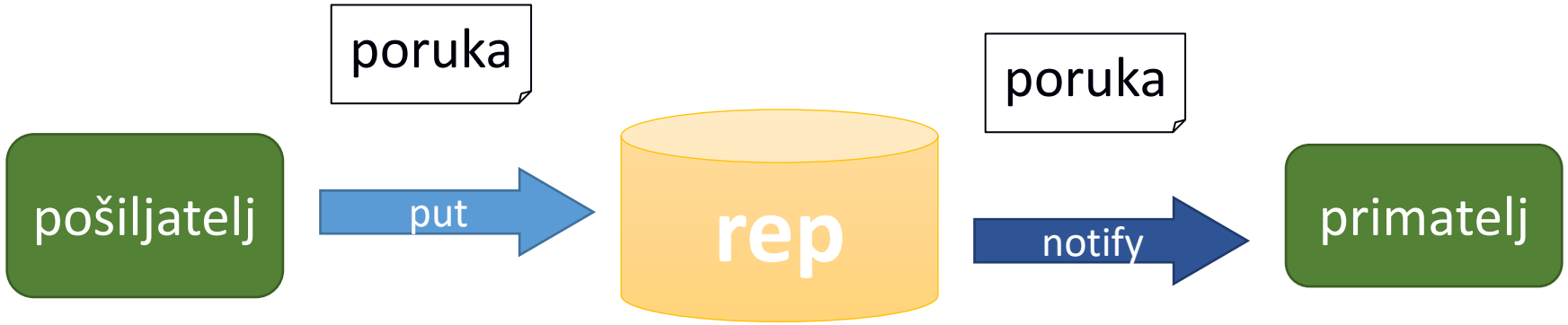
Arhitektura sustava za komunikaciju porukama



Obilježja komunikacije porukama

- vremenska neovisnost
  - primatelji i pošiljatelji ne moraju istovremeno biti aktivni, poruka se sprema u rep
- pošiljatelj mora znati identifikator odredišta, tj. njegovog repa
- komunikacija je perzistentna
- asinkrona komunikacija
  - pošiljatelj šalje poruku i nastavlja obradu neovisno o odgovoru od strane primatelja
- pokretanje komunikacije na načelu *pull*
  - primatelj provjerava postoji li poruka u repu

Komunikacija je moguća i na načelu *push*

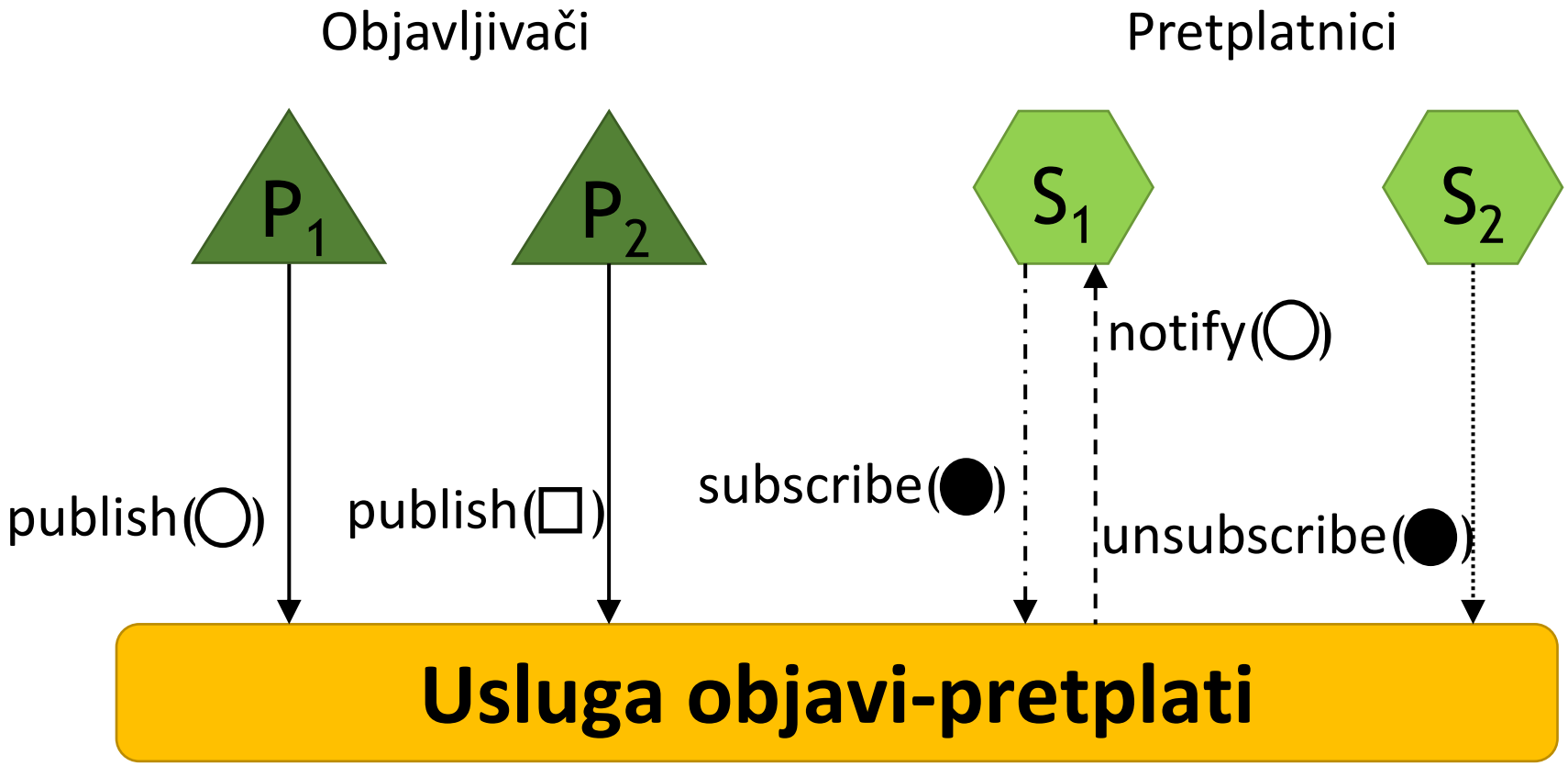


- notify – aktivna isporuka poruke iz repa primatelju po primitku poruke (na strani primateljskog procesa nužan je *listener thread*)

Sadržaj predavanja

- Komunikacija porukama
- Model objavi-pretplati
  - Primjeri programske opreme za komunikaciju porukama: JMS, AMQP, Kafka
- Dijeljeni podatkovni prostor

Interakcija objavi-pretplati



1 izvor : n odredišta

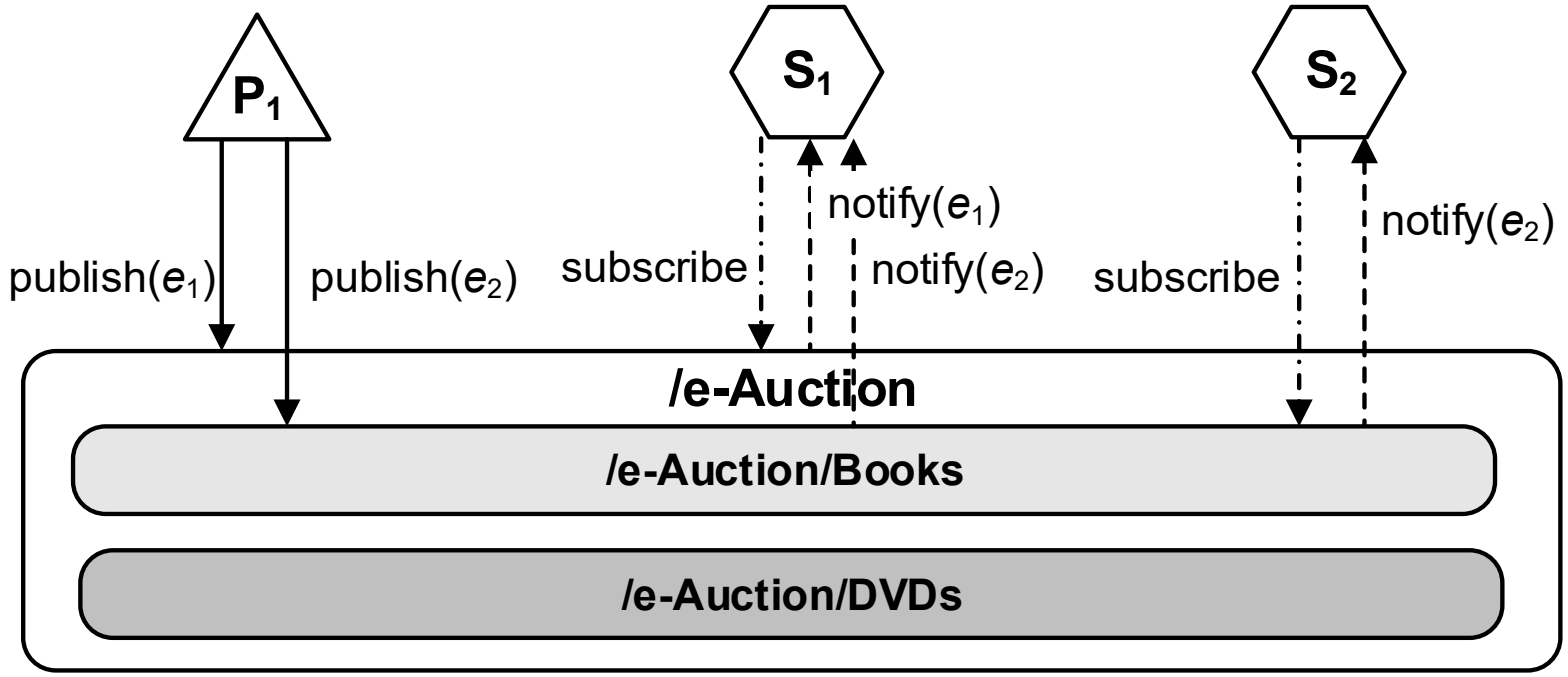
Osnovni pojmovi

- objavljivači (*publishers*)
  - definiraju obavijesti (*notifications*)
- pretplatnici (*subscribers*)
  - pretplatama (subscriptions) i odjavama pretplata (unsubscriptions) izražavaju namjeru primanja određenog skupa obavijesti
- usluga objavi-pretplati:
  - sustav za obradu događaja (*event service* – ES)
  - obrađuje i pohranjuje primljene obavijesti/pretplate/odjave pretplata
  - isporučuje obavijesti pretplatnicima prema njihovim aktivnim pretplatama
  - omogućuje perzistentnu komunikaciju između objavljivača i pretplatnika

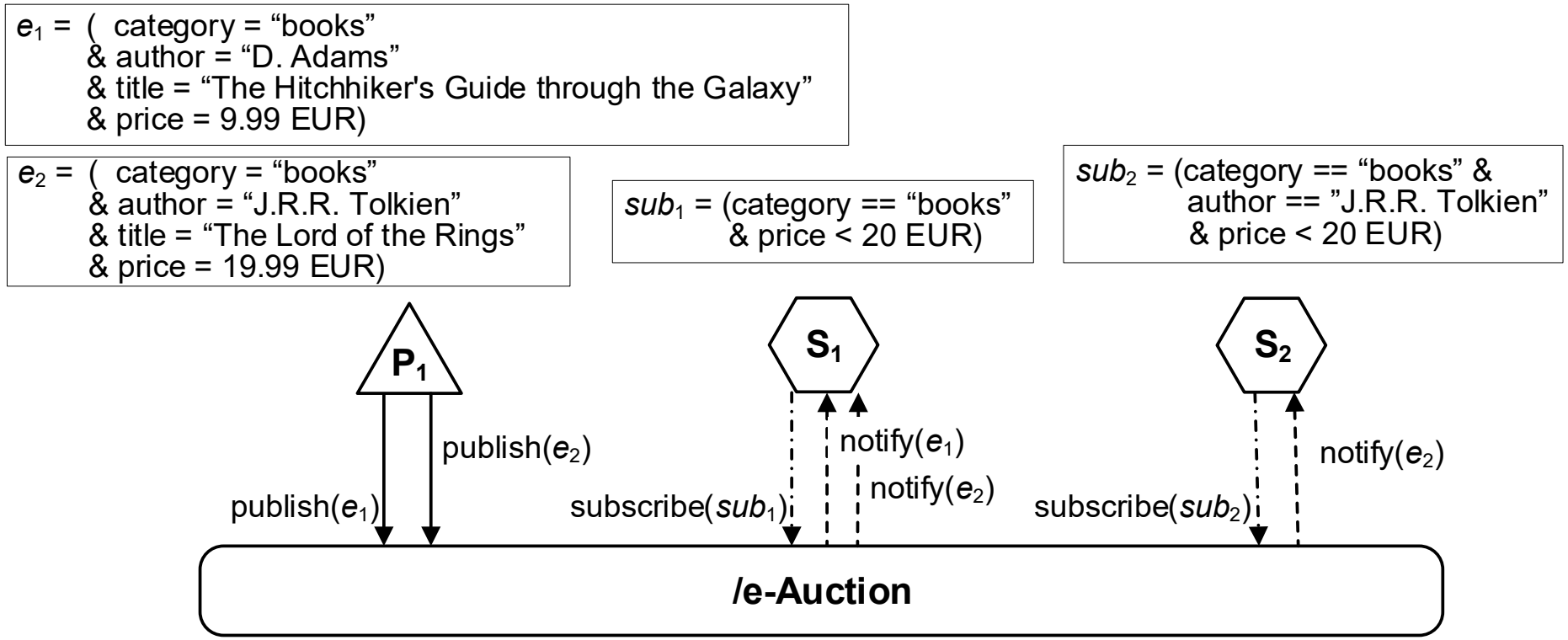
Pretplate

- „kontinuirani upiti”
- pretplata na kanal/temu (engl. *topic-based subscription*)
  - kanal – logička veza između izvora i odredišta koja služi za tematsko grupiranje obavijesti (npr. vrijeme, sport, itd.)
  - hijerarhijski odnos kanala (npr. vrijeme u Europi, Hrvatskoj, Zagrebu)
- pretplata na sadržaj (engl. *content-based subscription*)
  - pretplata se definira ovisno o svojstvima i sadržaju obavijesti (skup atributa i vrijednosti)

Pretplata na kanal

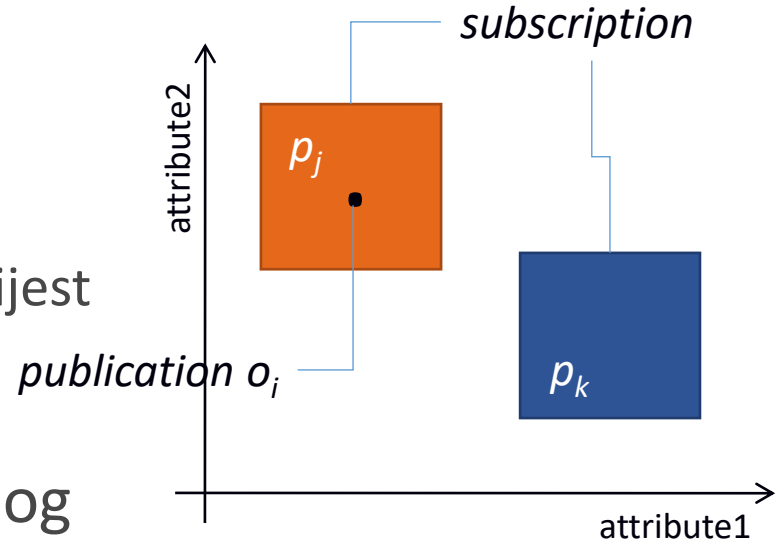


Pretplata na sadržaj



Primjer obavijesti/pretplate (strukturirani podaci)

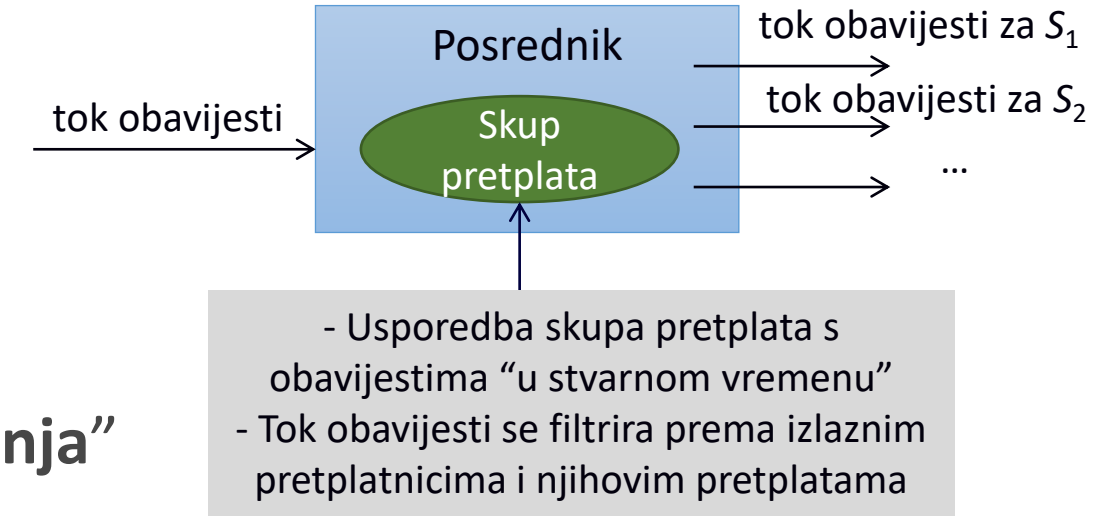
- **obavijest** je najčešće točka u višedimenzionalnom prostoru
  - npr. očitanje senzora, cijena dionice, oglas, vijest
  - objavljivači kontinuirano objavljuju nove obavijesti (često ograničene valjanosti)
- **pretplata** je potprostor višedimenzionalnog prostora
  - definira se kao Booleova funkcija nad parom (obavijest, pretplata)
  - za pretplatu kažemo da prekriva obavijest kada obavijest zadovoljava uvjete pretplate, tj. $f(o_i, p_j) = T$



Poseban implementacijski izazov: učinkovita usporedba objave sa skupom pretplata jer je u stvarnom vremenu potrebno odrediti podskup pretplata koje prekrivaju obavijest kako bi se isporučila svim zainteresiranim pretplatnicima

Usporedba obavijesti sa skupom pretplatama

- Sustav objavi-pretplati održava skup pretplata koje se uspoređuju s novoobjavljenom obavijesti



- Usporedba ispituje svojstvo “**prekrivanja**” obavijesti pretplatom
  - Pretplata “prekriva” obavijest kada obavijest zadovoljava sve uvjete definirane pretplatom
  - Pretplata [a<10, b≤20] prekriva obavijest [a=5, b=20], ali ne prekriva obavijest [a=5, b=25]
  - Pretplata [sveučilište==Zagreb, fakultet==FER] prekriva obavijest [sveučilište=Zagreb, fakultet=FER, vijest=Proslavljen dan FER-a!]

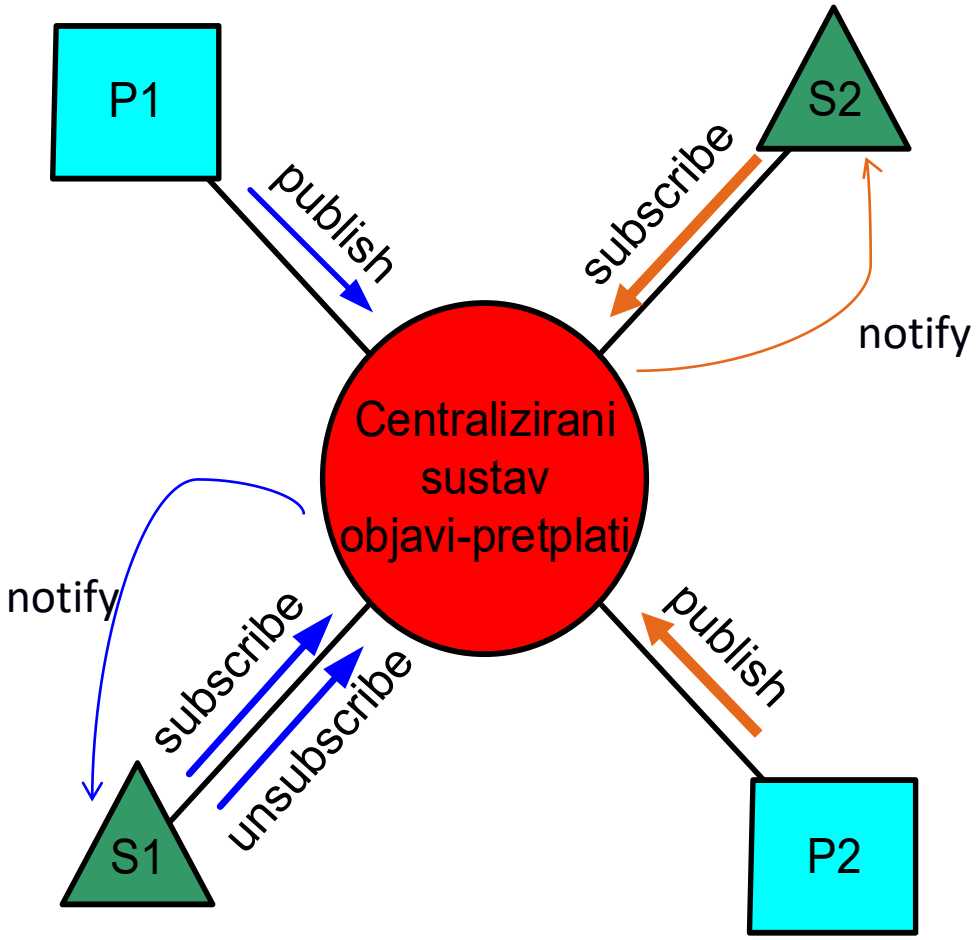
Kvaliteta usluge za komunikaciju porukama

- Vezana uz garanciju isporuke poruke
  - najviše jednom (*at-most-once*) – ne postoje mehanizmi koji osiguravaju isporuku poruke u slučaju ispada
  - barem jednom (*at-least-once*) – postoje mehanizmi koji će u slučaju ispada ponoviti operaciju, moguće je da će primatelj primiti poruku više puta
  - sigurno jednom (*exactly once*) – primatelj će primiti poruku samo jednom
- Poruke mogu biti perzistentne (imaju vremenski definiran period valjanosti) i neperzistentne poruke („vrijede” u trenutku u kome su definirane)

Arhitektura usluge objavi-pretplati

- Centralizirana
  - svi objavljivači i pretplatnici razmjenjuju obavijesti i definiraju pretplate preko jednog poslužitelja posrednika
  - poslužitelj pohranjuje sve pretplate i prosljeđuje obavijesti
- Raspodijeljena
  - skup poslužitelja, svaki je poslužitelj zadužen za objavljivače i pretplatnike u svojoj domeni
  - algoritmi za usmjeravanje informacija o pretplatama i usmjeravanje obavijesti

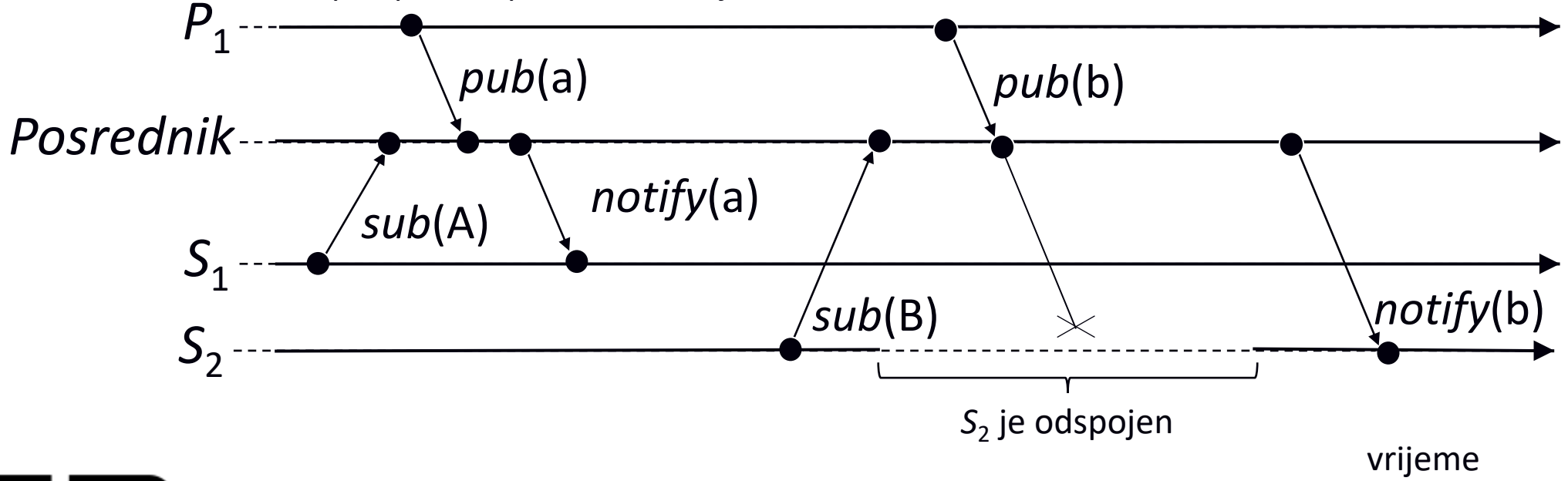
Centralizirana arhitektura



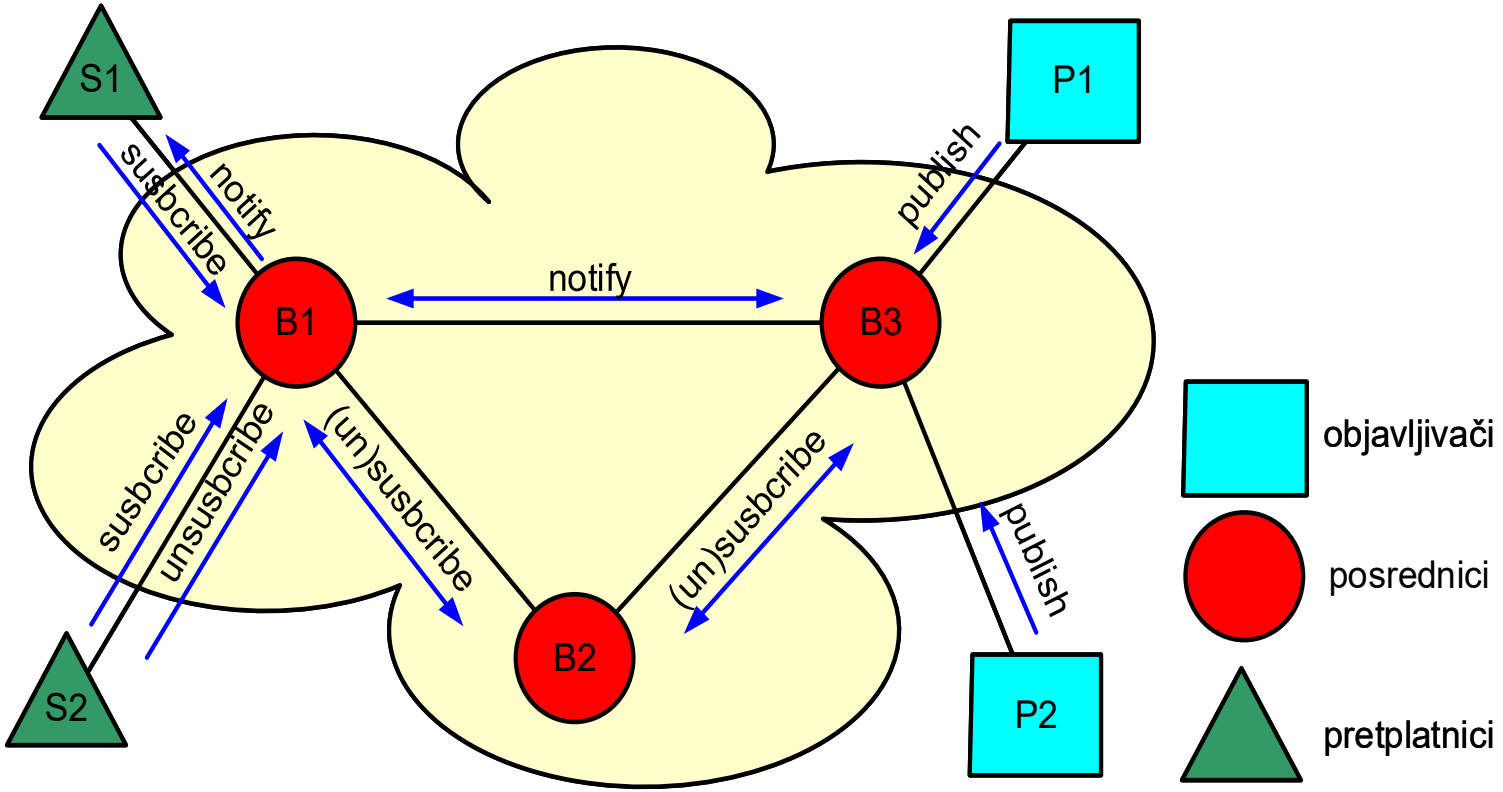
Primjer raspodijeljenog izvođenja
(asinkroni model, centralizirano)

primjer tipičnog slijeda događaja,
sub -> pub -> notify
kada pretplata A prekriva obavijest a

primjer isporuke **perzistentne obavijesti**,
B je prezistentna pretplata (*durable subscription*),
pa posrednik čuva *matching* obavijesti koje ne može isporučiti i isporučuje ih kada se S_2 ponovno spoji u sustav



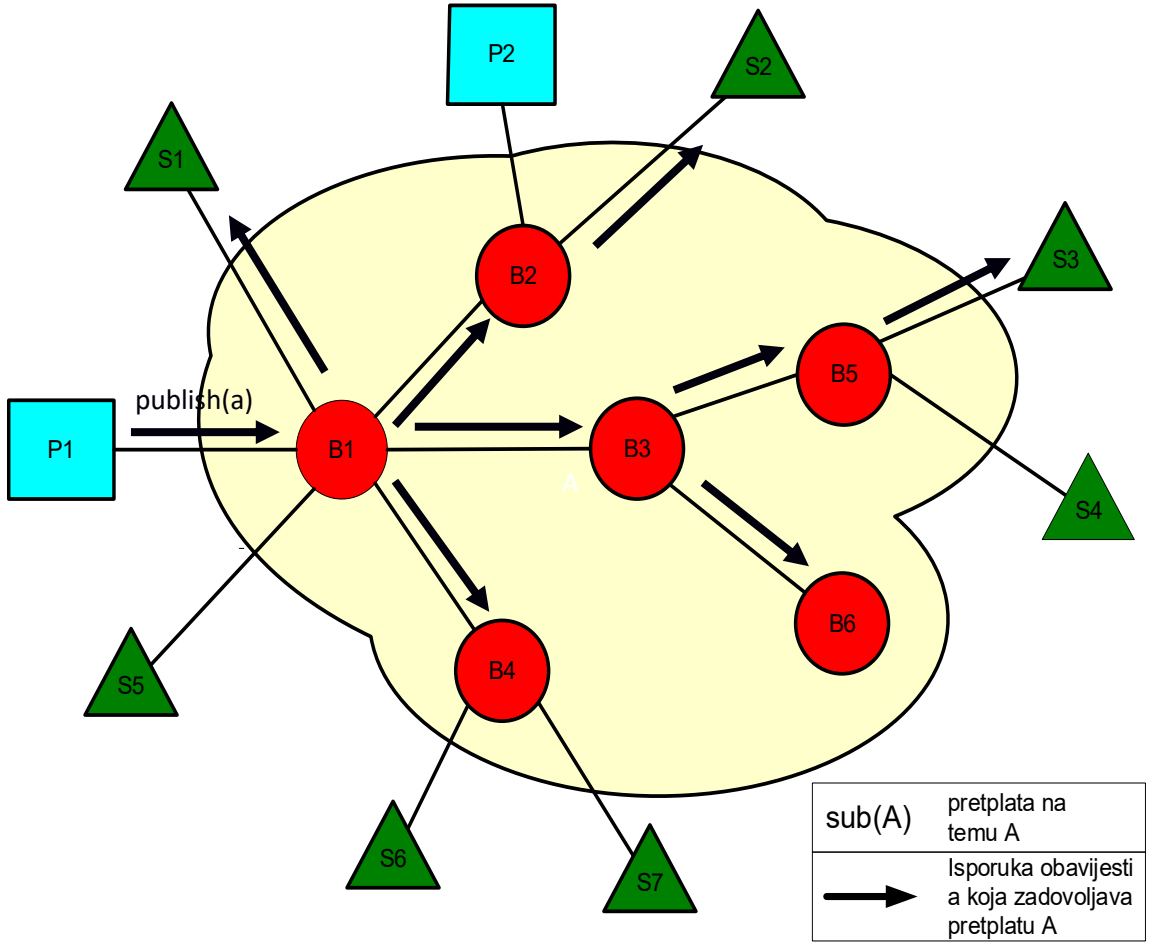
Raspodijeljena arhitektura



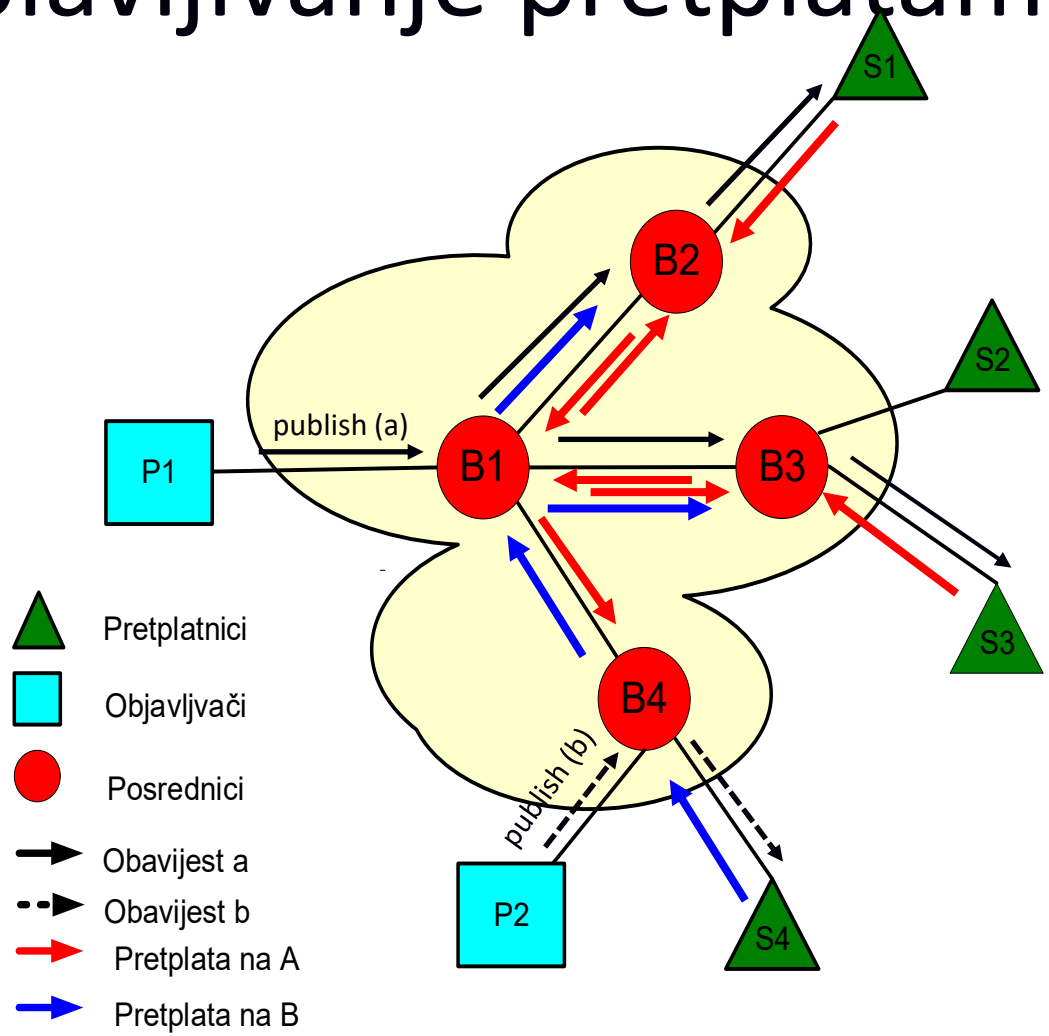
Osnovna načela usmjeravanja

- preplavljivanje
  - svaka primljena poruka (obavijest, pretplata ili odjava pretplate) prosljeđuje se svim susjedima osim onome od koga je poruka primljena
  - posrednik posjeduje tablicu usmjeravanja koja sadrži informacije o svim susjednim posrednicima i lokalnim pretplatnicima
- filtriranje poruka
  - filtriranje poruka se izvodi usporedbom obavijesti s aktivnim pretplatama koje definiraju svojstva obavijesti za koje je pretplatnik zainteresiran
  - osnovni cilj je isporuka samo onih obavijesti koje pretplatnika zanimanju
  - omogućuje i smanjenje prometa u mreži posrednika zbog sprječavanja širenja obavijesti “nezainteresiranim” posrednicima

Preplavljivanje obavijestima



Preplavljivanje pretplatama



Za obavijest na temu	Šalji prema
A	B2,B3
B	B4

Tablica usmjeravanja posrednika *B*1

Obilježja modela objavi-pretplati

- vremenska neovisnost
  - objavljivači i pretplatnici ne moraju istovremeno biti aktivni, posrednik pohranjuje poruku
- objavljivač ne mora znati identifikator pretplatnika (anonimnost), o tome se brine posrednik – prostorna neovisnost
- komunikacija je perzistentna
- asinkrona komunikacija
  - objavljivač šalje poruku i nastavlja obradu neovisno o odgovoru od strane odredišta – vremenska neovisnost
- pokretanje komunikacije na načelu *push*
  - objavljivač šalje poruku posredniku koji je prosljeđuje pretplatnicima bez prethodnog eksplicitnog zahtjeva

Obilježja modela objavi-pretplati (2)

- personalizacija primljenog sadržaja
  - filtriranje objavljenih poruka prema pretplatama
- proširivost sustava
  - dodavanje novog objavljivača ili pretplatnika ne utječe na ostale strane u komunikaciji
- skalabilnost
  - raspodijeljena arhitektura

Sadržaj predavanja

- Komunikacija porukama
- Model objavi-pretplati
  - Primjeri programske opreme za komunikaciju porukama: JMS, AMQP, Kafka
- Dijeljeni podatkovni prostor

JMS

Java Message Service

JMS 2.0, Java Community Process, 21.05.2013.

https://java.net/projects/jms-spec/pages/JMS20FinalRelease

Specifikacija otvorenog protokola za komunikaciju porukama i komunikaciju na načelu objavi-pretplati.

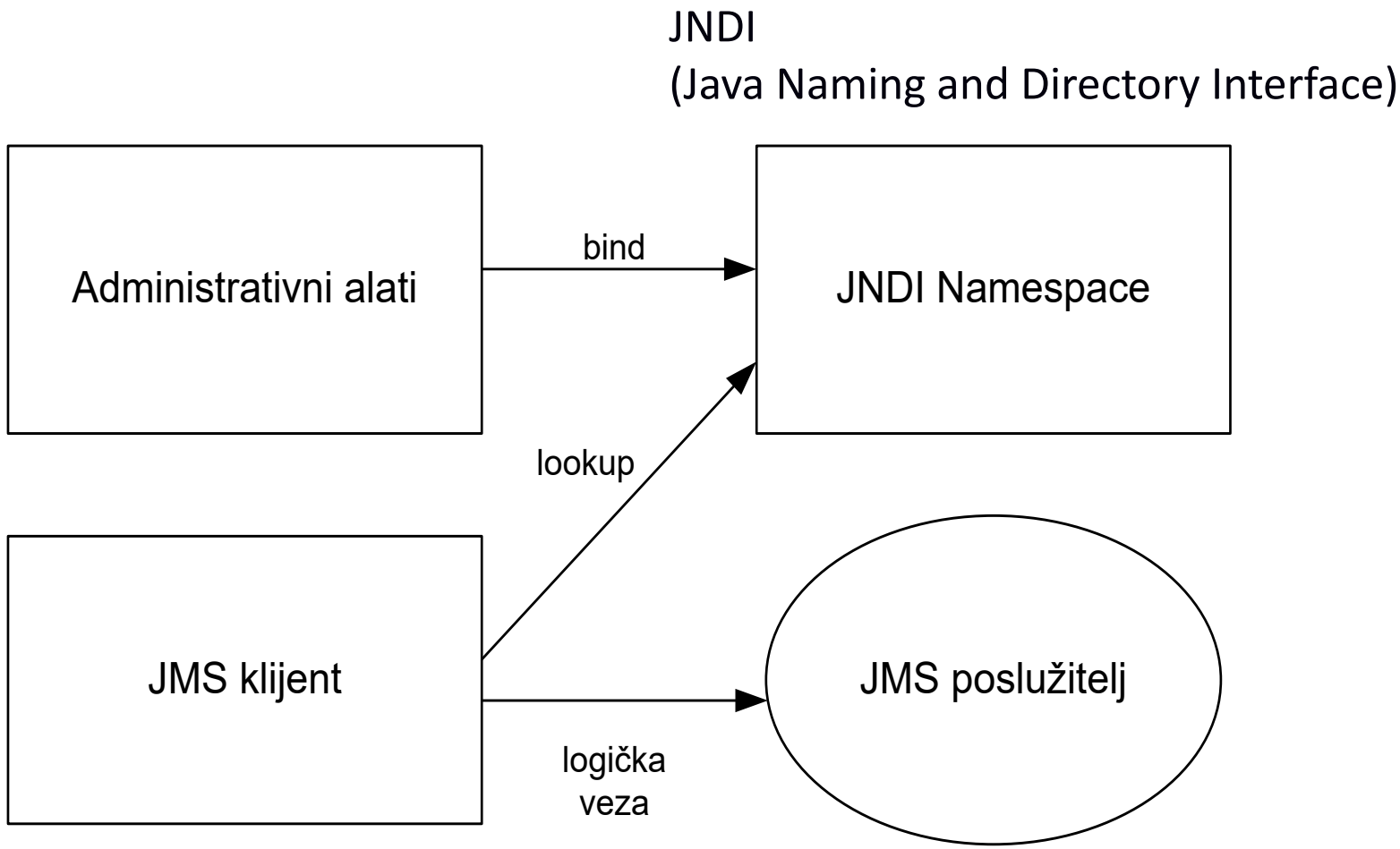
JMS API definira skup sučelja i pripadajuću semantiku koja omogućuje programima pisanim u Javi komunikaciju razmjenom poruka i na načelu objavi-pretplati.

Popularne implementacije: Apache ActiveMQ, IBM WebSphereMQ, HornetQ, OpenJMS

Arhitektura JMS-a (1)

- JMS poslužitelj
  - sustav za razmjenu poruka koji implementira JMS sučelja i nudi administrativne i kontrolne usluge
- Klijent
  - bilo koji objekt, proces ili aplikacija koja stvara ili konzumira poruke
- Poruka (*message*)
  - objekt koji se sastoji od zaglavlja koje prenosi identifikacijske i adresne informacije i tijela koje prenosi podatke
- Odredište (*destination*)
  - objekt koji sadrži informacije o odredištu poruke

Arhitektura JMS-a (2)

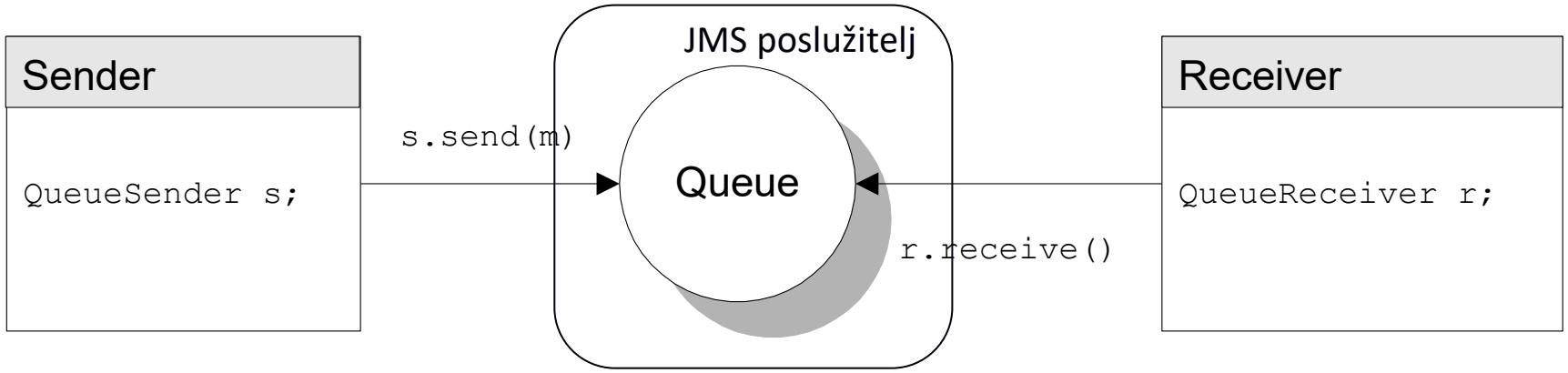


Modeli JMS-a

JMS implementira sljedeće modele za komunikaciju porukama i obavijestima

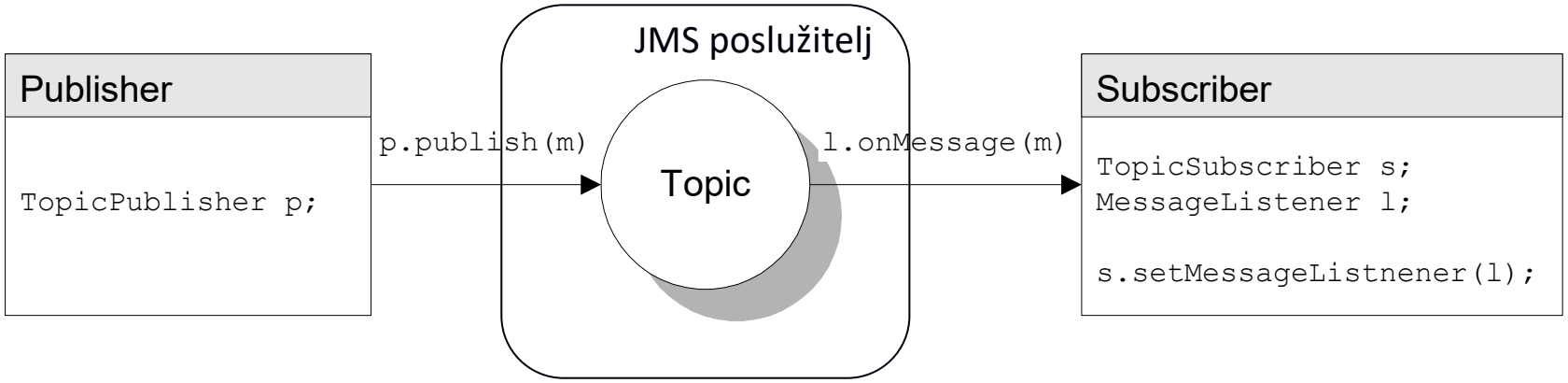
- *Point-to-point*
  - komunikacija porukama, jedna poruka za jedno odredište
- *Publish/subscribe*
  - objavi-pretplati, jedna poruka za skup zainteresiranih pretplatnika

Point-to-point



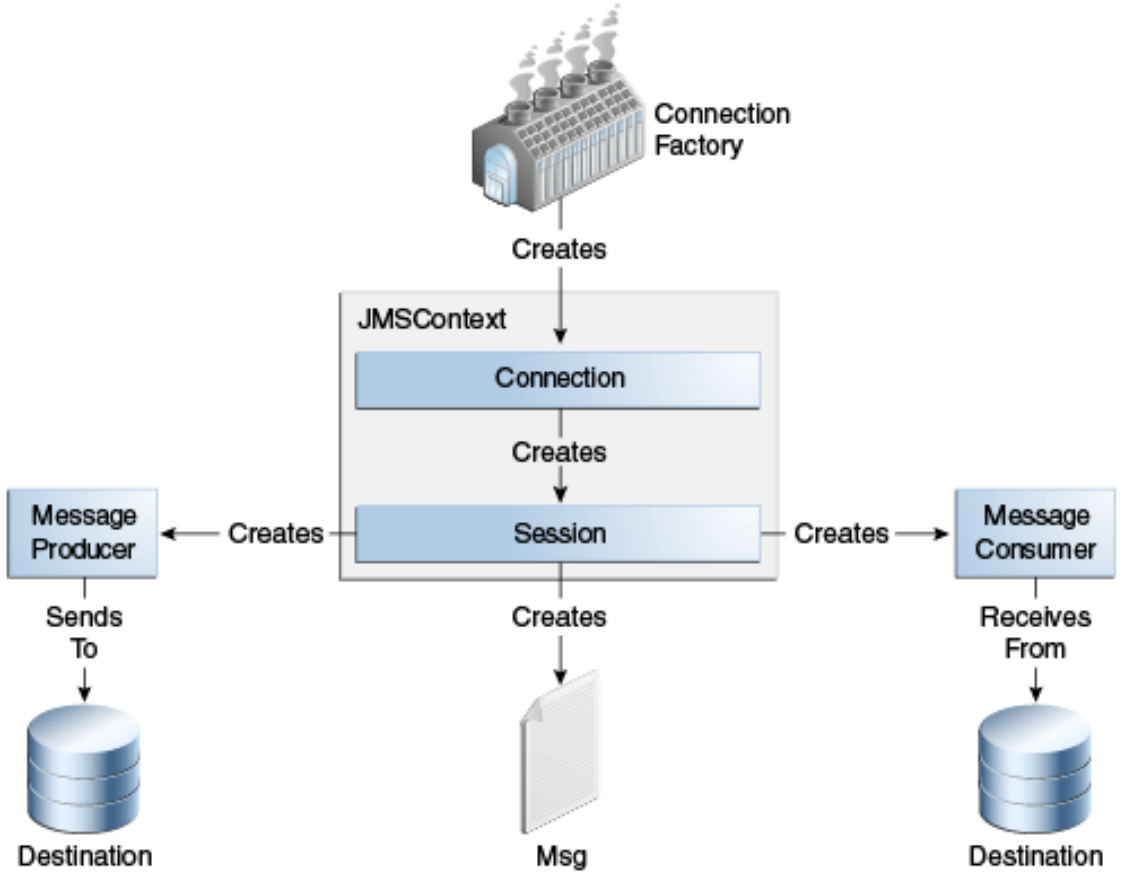
1. Klijent `s` koji šalje poruku `m` poziva `s.send(m)`. Poruka se sprema u rep.
2. Klijent koji prihvaća poruku mora provjeriti postoji li poruka u repu . Poziva `r.recieve()`.
3. Poruka se briše iz repa i šalje klijentu.

Publish/subscribe



1. Tijekom inicijalizacije pretplatnik registrira instancu klase koja implementira sučelje `MessageListener` pozivajući `s.setMessageListener(l)`. `Topic` pamti sve pretplate.
2. Izvor objavljuje poruku `m` sa `p.publish(m)`.
3. `Topic` isporučuje poruku pretplatniku pozivajući `l.onMessage(m)`.

Programski model JMS API-ja



Izvor: **The Java EE 7 Tutorial**
Poglavlje 45: Java Message Service Concepts

Sučelja JMS-a (1)

Nad-sučelje	Point-to-point	Publish/subscribe
Destination	Queue	Topic
ConnectionFactory	QueueConnectionFactory	TopicConnectionFactory
Connection	QueueConnection	TopicConnection

- **Destination**
  - administrirani objekt
  - predstavlja odredište - identitet ili adresu repa/teme.
- **ConnectionFactory**
  - administrirani objekt koji sadrži konfiguracijske parametre
  - klijenti ga koriste za stvaranje objekta *Connection*.
- **Connection**
  - predstavlja aktivnu konekciju prema JMS poslužitelju
  - klijenti ga koriste za stvaranje sjednice (*Session*).

Sučelja JMS-a (2)

Nad-sučelje	Point-to-point	Publish/subscribe
Session	QueueSession	TopicSession
MessageProducer	QueueSender	TopicPublisher
MessageConsumer	QueueReceiver	TopicSubscriber

- **Session**
  - dretva u kojoj se primaju odnosno šalju poruke
  - klijenti koriste sesiju da stvore jedan ili više *MessageProducer* ili *MessageConsumer* objekata
- **MessageProducer**
  - objekt za slanje poruka odredištu
- **MessageConsumer**
  - objekt za primanje poruka koje su poslane odredištu

Poruke JMS-a

- zaglavlje
  - skup definiranih polja koja sadrže vrijednosti koje identificiraju i usmjeravaju poruku
- svojstva poruke
  - opcionalni parovi ime-vrijednost, a vrijednost može biti *boolean*, *byte*, *short*, *int*, *long*, *float*, *double* ili *String*
- tijelo poruke
  - *TextMessage* sadrži *java.lang.String*. (npr. za slanje XML dokumenata)
  - *StreamMessage* za niz Javinih primitiva.
  - *MapMessage* kada tijelo sadrži skup parova ime-vrijednost.
  - *ObjectMessage* sadrži Java objekt.
  - *ByteMessage* za tijelo koje sadrži niz neinterpretiranih *byte*-ova.

Literatura: JMS

The Java EE 7 Tutorial

- Chapter 45: Java Message Service Concepts
  https://docs.oracle.com/javaee/7/tutorial/jms-concepts.htm
  - What's New in JMS 2.0, Part One: Ease of Use
    http://www.oracle.com/technetwork/articles/java/jms20-1947669.html
  - What's New in JMS 2.0, Part Two—New Messaging Features
    http://www.oracle.com/technetwork/articles/java/jms2messaging-1954190.html
- Enterprise Integration Patterns
  http://www.enterpriseintegrationpatterns.com/patterns/messaging/toc.html

Primjer 1: JMS

1. **Perform a JNDI lookup of the ConnectionFactory and Queue**:

```
/* Create a JNDI API InitialContext object if none exists yet. */

   Context jndiContext = null;
   try {
     jndiContext = new InitialContext();
   } catch (NamingException e) {
     System.out.println("Could not create JNDI API " + "context: " + e.toString());
     System.exit(1);
   }


/* Look up connection factory and destination. If either does not exist, exit. */
   QueueConnectionFactory connectionFactory = null;
   Queue queue = null;
   try {
     connectionFactory = (QueueConnectionFactory)
      jndiContext.lookup("jms/QueueConnectionFactory");
     queue = (Queue) jndiContext.lookup("queue");
     }
   } catch (Exception e) {
     System.out.println("JNDI API lookup failed: " + e.toString());
     e.printStackTrace();
     System.exit(1);
   }
```

Queue Sender (2)

2. Create a Connection and a Session:

```
QueueConnection connection =
  connectionFactory.createQueueConnection();
QueueSession session =    connection.createQueueSession(false,
   Session.AUTO_ACKNOWLEDGE);
```

3. Create a QueueSender and a TextMessage:

```
QueueSender sender = session.createSender(queue);
TextMessage message = session.createTextMessage();
```

Queue Sender (3)

4. Send one or more messages to the queue:

```
for (int i = 0; i < NUM_MSGS; i++) {
  message.setText("This is message " + (i + 1));
  System.out.println("Sending message: " +
    message.getText());
  sender.send(message);
}
```

5. Send an empty control message to indicate the end of the message stream. Sending an empty message of no specified type is a convenient way to indicate to the consumer that the final message has arrived.

```
sender.send(session.createMessage());
```

Queue Sender (4)

6. Close the connection in a finally block, automatically closing the session and QueueSender:

```
} finally {
  if (connection != null) {
    try {
      connection.close();
    } catch (JMSException e) {}
  }
}
```

Queue Receiver (1)

1. Performs a JNDI lookup of the ConnectionFactory and Queue.
2. Creates a Connection and a Session.
3. Creates a QueueReceiver:

```
QueueReceiver receiver =  session.createReceiver(queue);
```

4. Starts the connection, causing message delivery to begin:

```
connection.start();
```

Queue Receiver (2)

5. Receives the messages sent to the destination until the end-of-message-stream control message is received:

```
while (true) {
     Message m = receiver.receive();
     if (m != null) {
       if (m instanceof TextMessage) {
         message = (TextMessage) m;
         System.out.println("Reading message: " +
           message.getText());
       } else {
         break;
       }
     }
   }
```

- Since the control message is not a TextMessage, the receiving program terminates the while loop and stops receiving messages after the control message arrives.

6. Closes the connection in a finally block, automatically closing the session and QueueReceiver.

TopicPublisher

1. Perform a JNDI lookup of the TopicConnectionFactory and Topic.
2. Create a TopicConnection and a TopicSession.
3. Create a TopicPublisher and a TextMessage.
4. Send one or more messages to the topic.
5. Send an empty control message to indicate the end of the message stream.
6. Close the connection in a finally block, automatically closing the session and TopicPublisher.

TopicSubscriber (1)

1. Perform a JNDI lookup of the TopicConnectionFactory and Topic.
2. Create a TopicConnection and a TopicSession.
3. Create a TopicSubscriber.
4. Create an instance of the TextListener class and registers it as the message listener for the TopicSubscriber:

```
listener = new TextListener();
subscriber.setMessageListener(listener);
```

5. Start the connection, causing message delivery to begin.

TopicSubscriber (2)

6. Listen for the messages published to the topic, stopping when the user types the character q or Q:

```
System.out.println("To end program, type Q or q, " +
  "then <return>");
inputStreamReader = new InputStreamReader(System.in);
while (!((answer == 'q') || (answer == 'Q'))) {
  try {
    answer = (char) inputStreamReader.read();
  } catch (IOException e) {
    System.out.println("I/O exception: "
      + e.toString());
  }
}
```

7. Close the connection, which automatically closes the session and TopicSubscriber.

Message Listener

1. When a message arrives, the onMessage method is called automatically.
2. The onMessage method converts the incoming message to a TextMessage and displays its content. If the message is not a text message, it reports this fact:

```
public void onMessage(Message message) {
  TextMessage msg = null;

  try {
    if (message instanceof TextMessage) {
      msg = (TextMessage) message;
      System.out.println("Reading message: " +
        msg.getText());
    } else {
      System.out.println("Message is not a " +
        "TextMessage");
    }
  } catch (JMSException e) {
    System.out.println("JMSException in onMessage(): " +
      e.toString());
  } catch (Throwable t) {
    System.out.println("Exception in onMessage():" +
      t.getMessage());
  }
}
```

AMQP

Advanced Message Queuing Protocol

- Specifikacija otvorenog protokola za komunikaciju porukama i komunikaciju na načelu objavi-pretplati.
- Popularan protokol i raširena primjena zbog niza implementacija: RabbitMQ, OpenAMQ, StortMQ, Apache QPid…

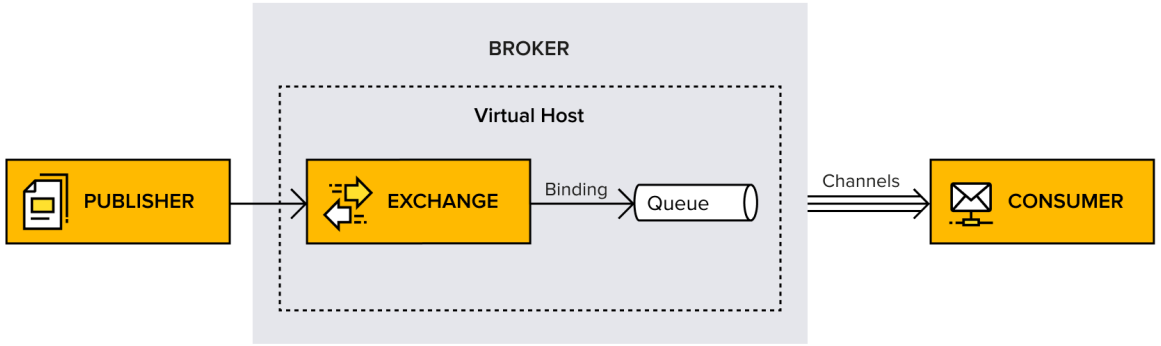
Version 1.0, OASIS Standard, 29.10.2012.

http://docs.oasis-open.org/amqp/core/v1.0/os/amqp-core-overview-v1.0-os.html

Version 0.91, specifikacija AMQP WG iz 2008.

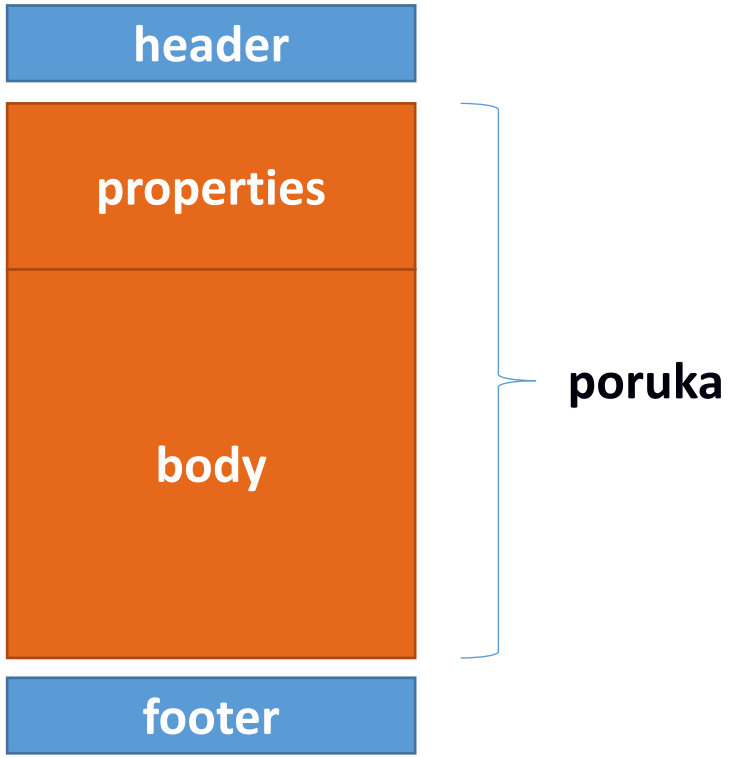
http://www.rabbitmq.com/resources/specs/amqp0-9-1.pdf.

Osnovni koncepti AMQP-a (v0.91)



- *Exchange*: entitet unutar posrednika koji usmjerava poruke u repove
- *Virtual host*: logički kontejner posrednika, odvaja različite aplikacije koje koriste istu instancu RabbitMQ posrednika
- *Channel*: virtualna veza unutar TCP konekcije koja povezuje posrednika s klijentom
- *Binding*: virtualna poveznica između *exchange*-a i repa
- *Publisher* (ili *producer*): objavljuje poruke na *exchange*
- *Consumer*: vezan je uz rep (*queue*) i definira *binding*

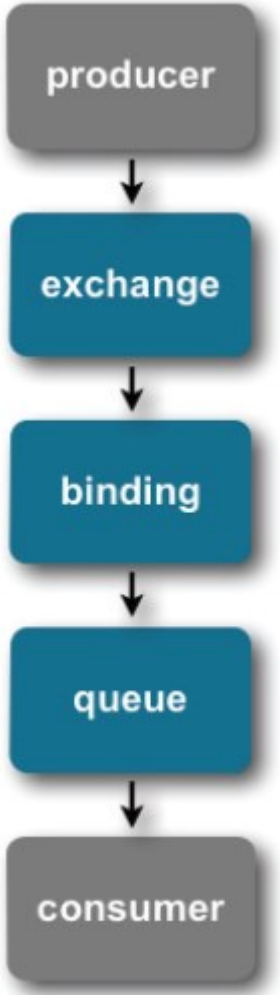
AMQP poruke



- Mreža ne smije mijenjati poruku
- Header i footer se mogu mijenjati u mreži
- Svaka poruka dobiva jedinstveni ID
- Na čvoru smije postojati samo jedna kopija poruke
- Body type: byte message

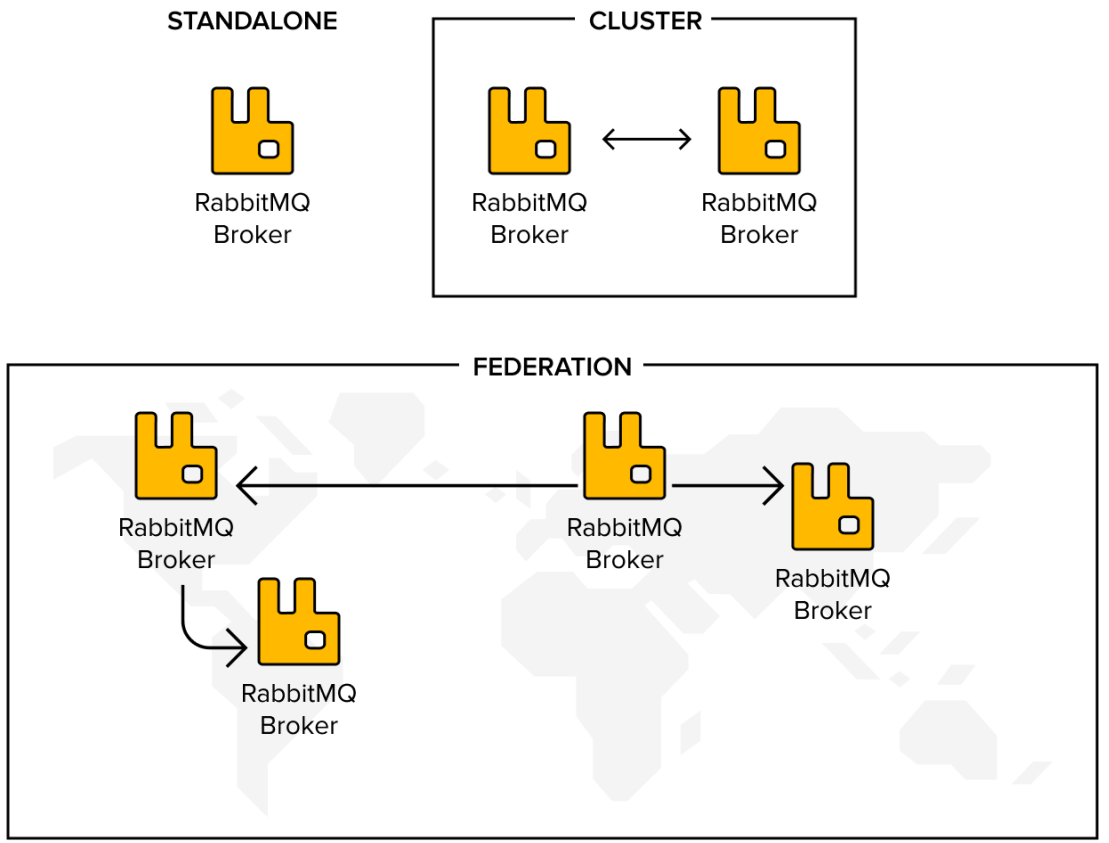
Kako se dostavljaju poruke?

- *Producer*: šalje poruke u *exchange* i dodaje *routing key* uz poruku
- Exchange je povezan s repom putem poveznice (*binding*)
- Binding definira *consumer*a (*consumer-driven messaging*), a specificira kakve poruke trebaju biti usmjerene iz *exchange*a do repa
- Consumer je vezan uz rep i prima poruke iz repa
- Uspoređuje se *routing key* i *binding*, ako je uvjet zadovoljen, poruka se isporučuje repu s definiranim *binding*om



RabbitMQ

- *open source message queuing software*
- pisan u programskom jeziku Erlang
- implementira AMQP v0.91, postoji plugin za AMQP v1.0
- podržani protokli
  - https://www.rabbitmq.com/protocols.html

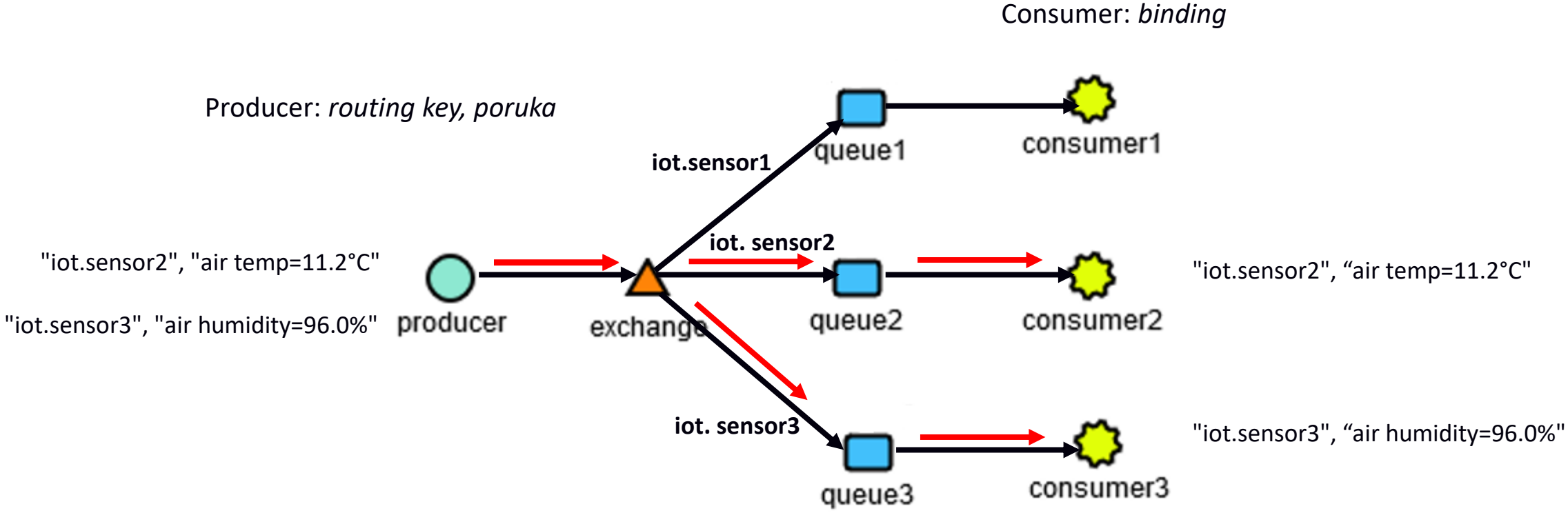


Različite topologije i organizacije posrednika

RabbitMQ: različiti komunikacijski modeli

- *Direct Exchange:* odgovara *point-to-point* modelu JMS-a
  - isporučuje poruku u rep samo ako *routing key*-a poruke zadovoljava uvjet *binding*-a vezanog uz rep
  - poruka može biti isporučena u više repova ako više *binding*-a odgovara *routing key*-u
- *Fanout* i *Topic Exchange*: odgovara *publish/subscribe* modelu JMS-a
  - *Fanout Exchange*: šalje sve poruke na sve repove spojene na *exchange*
  - Topic *Exchange*: omogućuje filtriranje poruka i definiranje *binding*-a uporabom specijalnih znakova # i *

RabbitMQ: *Direct Exchange*



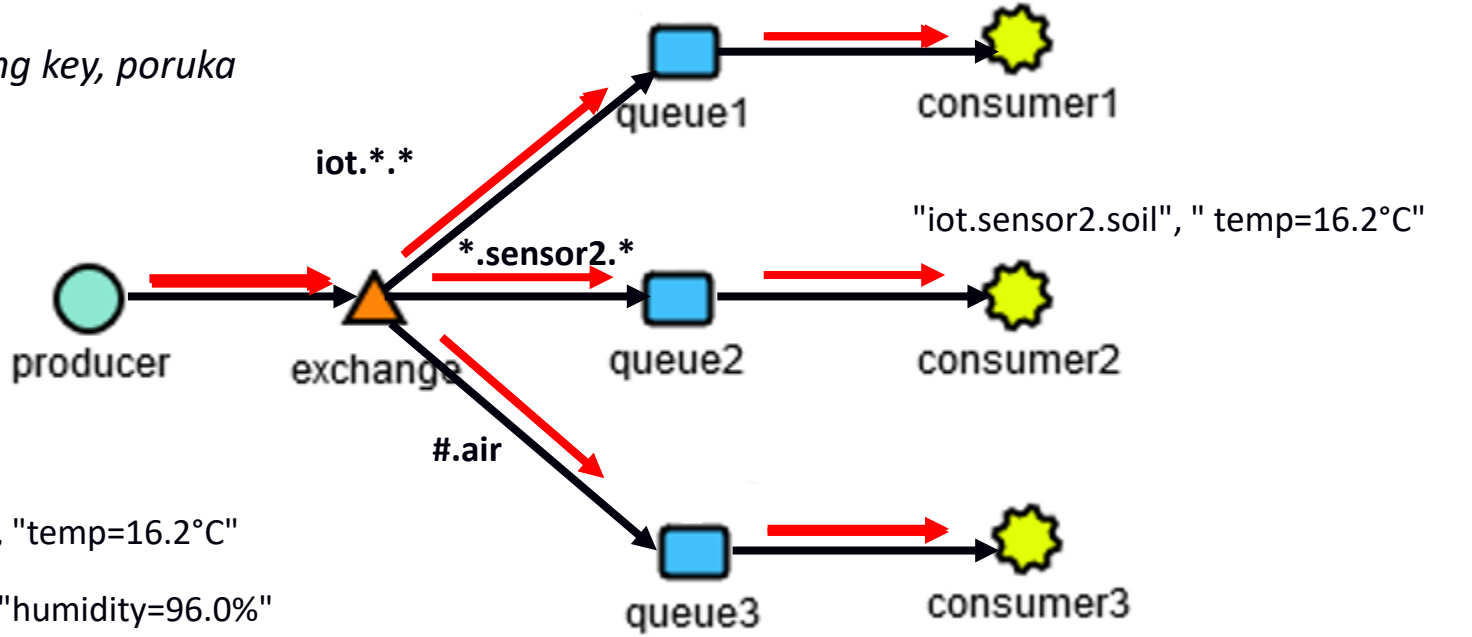
RabbitMQ: *Topic Exchange*

Consumer: *binding*

"iot.sensor2.soil", " temp=16.2°C"

"iot.sensor3.air", "humidity=96.0%"

Producer: *routing key, poruka*



"iot.sensor2.soil", "temp=16.2°C"

"iot.sensor3.air", "humidity=96.0%"

"dhmz.zagreb1.air", "temp=11.5°C"

"iot.sensor3.air", "humidity=96.0%"

"dhmz.zagreb1.air", "temp=11.5°C"

Primjer 2: AMQP - *Producer*

RabbitMQ: producer šalje poruku na exchange pod nazivom “MyExchange", veže *routing key* uz poruku

```
private final static String EXCHANGE_NAME = “MyExchange";

public static void main(String[] args) throws Exception {
        ConnectionFactory factory = new ConnectionFactory();
        factory.setHost("localhost");
        Connection connection = factory.newConnection();
        Channel channel = connection.createChannel();

        channel.exchangeDeclare(EXCHANGE_NAME, BuiltinExchangeType.TOPIC);
        String routingKey = "iot.sensor2.soil";
        String message = "temp 16.2 C";
        channel.basicPublish(EXCHANGE_NAME,routingKey,null,message.getBytes());

        channel.close();
        connection.close();
}
```

AMQP - *Consumer*

Consumer definira rep i povezuje ga s *exchange*om, kada binding odgovara *routing key*-u, poruka se isporučuje

```
…
channel.exchangeDeclare(EXCHANGE_NAME, BuiltinExchangeType.TOPIC);
String queueName = channel.queueDeclare().getQueue();

String binding = "*.sensor2.*";
channel.queueBind(queueName, EXCHANGE_NAME, binding);

Consumer consumer = new DefaultConsumer(channel) {
   @Override
   public void handleDelivery(String consumerTag, Envelope envelope,
        AMQP.BasicProperties properties, byte[] body) throws IOException{
             String message = new String(body, "UTF-8");
                System.out.println("Received: " + message);
   }
};
channel.basicConsume(queueName, true, consumer);
```

Literatura: AMQP

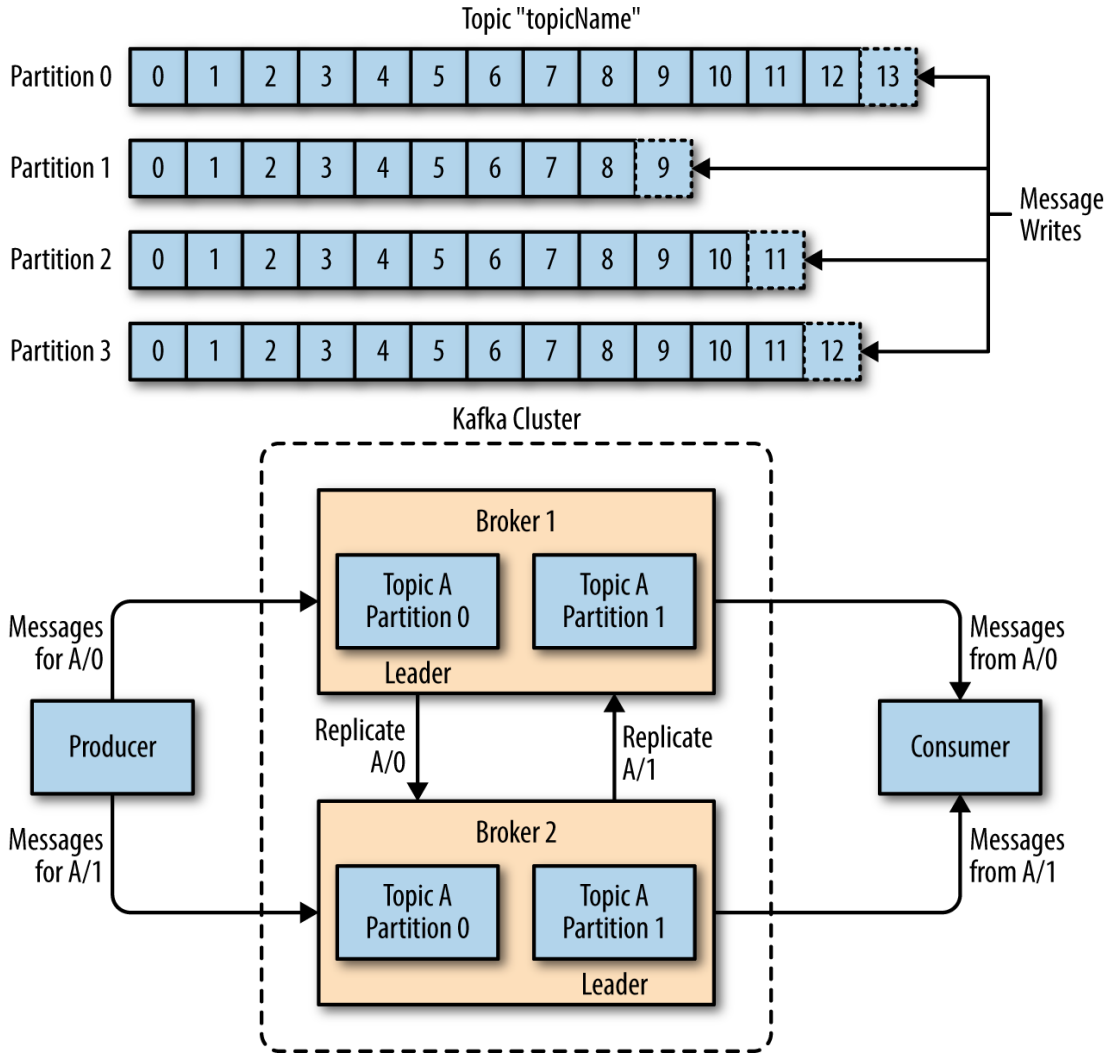
- RabbitMQ Tutorials, https://www.rabbitmq.com/getstarted.html
- RabbitMQ Simulator, http://tryrabbitmq.com/
- Mark Richards: Understanding the Differences between AMQP & JMS, 2011 http://www.wmrichards.com/amqp.pdf
- Spring messaging with RabbitMQ https://spring.io/guides/gs/messaging-rabbitmq/

Apache Kafka

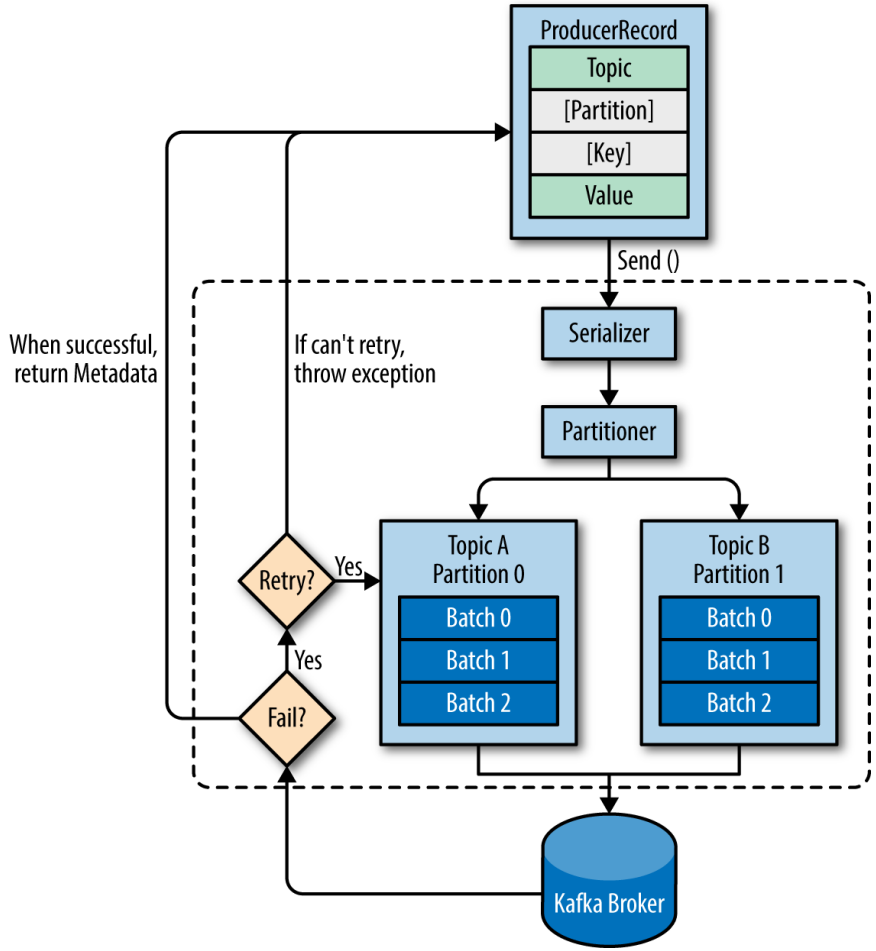
- *streaming platform*: sustav koji omogućuje objavljivanje i pretplatu na tokove podataka, njihovo pohranjivanje i obradu
- Platforma inicijalno razvijena u LinkedIn-u za "*user activity tracking*"
- Obrada „velikih" tokova podataka, veliki broj objavljivača i pretplatnika, skalabilnost je na prvom mjestu dizajna sustava
- *Data retention*: omogućuje pohranu i čuvanje podataka iz toka, podaci se pohranjuju na disk
- Može se konfigurirati Kafka klaster koji koristi više brokera, a i više klastera koji pokrivaju veći broj podatkovnih centara

Terminologija

- *Message*: (key, value), key pridjeljuje poruku particiji, ali ne mora biti definiran
- *Batch*: niz poruka koje se objavljuju na isti *topic* i particiju, može se koristiti kompresija
- *Topic*: sadrži više particija
- *Partition*: uređeni niz poruka
- *Producer*: objavljuje poruke na particiju
- *Consumer*: čita poruke iz particije
- Broker
- Cluster



Kafka Producer




```
Properties kafkaProps = new Properties();

kafkaProps.put("bootstrap.servers",
"broker1:9092,broker2:9092");

kafkaProps.put("key.serializer",

"org.apache.kafka.common.serialization.St
ringSerializer");

kafkaProps.put("value.serializer",

"org.apache.kafka.common.serialization.St
ringSerializer");

producer = new KafkaProducer<String,
String>(kafkaProps);
```

Novi producer s nužnim parametrima

Slanje poruke

1. *Fire-and-forget*: poruka se šalje bez potvrde primitka (ack=0)
2. *Synchronous send*: producer je uvijek asinkron (šalje se poruka, a metoda send() vraća Future object). U ovom slučaju se koristi metoda get() koja čeka informaciju da je send() bio uspješan
3. *Asynchronous send*: poziva metodu send() s posebnom callback funkcijom koja prima odgovor od brokera u budućnosti o tome je li metoda send() uspješno izvršena ili ne

```
ProducerRecord<String, String>
record =
    new ProducerRecord<>(Topic,
key, value);
try {
    producer.send(record);
} catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
}
```

Consumer

```
Properties props = new Properties();

props.put("bootstrap.servers",
"broker1:9092,broker2:9092");

props.put("group.id", "CountryCounter");

props.put("key.deserializer",

"org.apache.kafka.common.serialization.St
ringDeserializer");

props.put("value.deserializer",

"org.apache.kafka.common.serialization.St
ringDeserializer");


KafkaConsumer<String, String> consumer =
new KafkaConsumer<String, String>(props);
```

- Jednostavna pretplata na topic

```
consumer.subscribe(Collections.single
ton (Topic))
```

- Asynchronous Commit

```
Duration timeout =
Duration.ofMillis(100);

while (true) {

    ConsumerRecords<String, String>
records = consumer.poll(timeout);

    for (ConsumerRecord<String, String>
record : records) {

        System.out.printf("topic = %s,
partition = %s, offset = %d, customer =
%s, country = %s\n", record.topic(),
record.partition(), record.offset(),
record.key(), record.value());

    }

    consumer.commitAsync(); 1
}
```

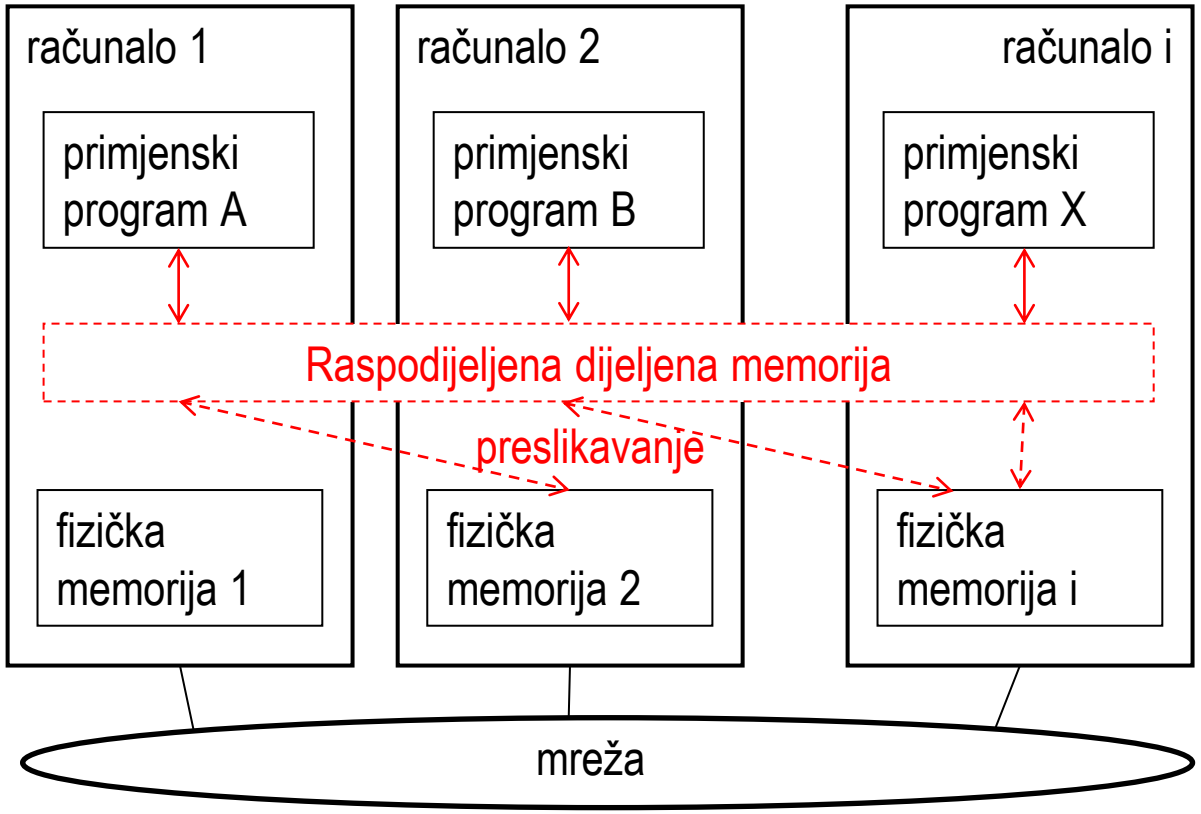
Literatura

- **Kafka: The Definitive Guide, 2nd Edition,** By Gwen Shapira, Todd Palino, Rajini Sivaram, Krit Petty, PUBLISHED BY:O'Reilly Media, Inc. PUBLICATION DATE:November 2021, PRINT LENGTH:455 pages
- http://kafka.apache.org/downloads (koristimo verziju 2.8.1)

Sadržaj predavanja

- Komunikacija porukama
- Model objavi-pretplati
  - Primjeri programske opreme za komunikaciju porukama: JMS, AMQP, Kafka
- Dijeljeni podatkovni prostor

Raspodijeljena dijeljena memorija



- Posrednički sloj koji nudi transparentan pristup dijeljenoj memoriji računala bez zajedničke fizičke memorije

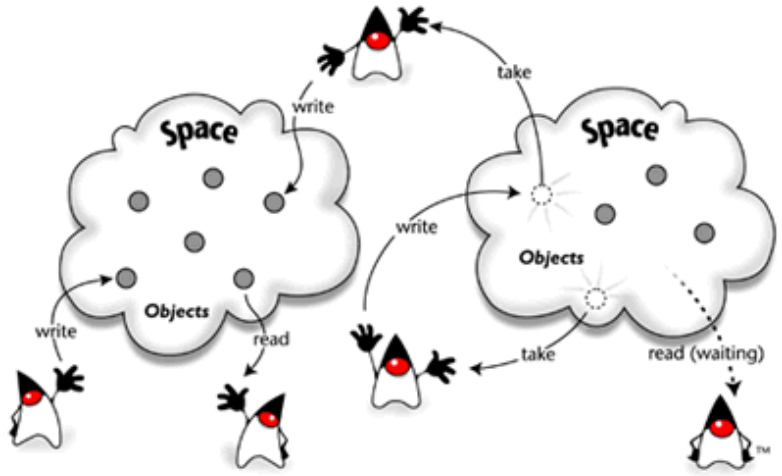
Distributed Shared Memory (DSM)

- omogućuje transparentan pristup fizičkoj memoriji na drugim računalima (primjenski program ima dojam da pristupa vlastitoj fizičkoj memoriji)
- upravlja replikama podataka, na računalu se čuvaju lokalne kopije podataka kojima je nedavno pristupao primjenski program X

Dijeljeni podatkovni prostor

engl. *shared data/tuple spaces*

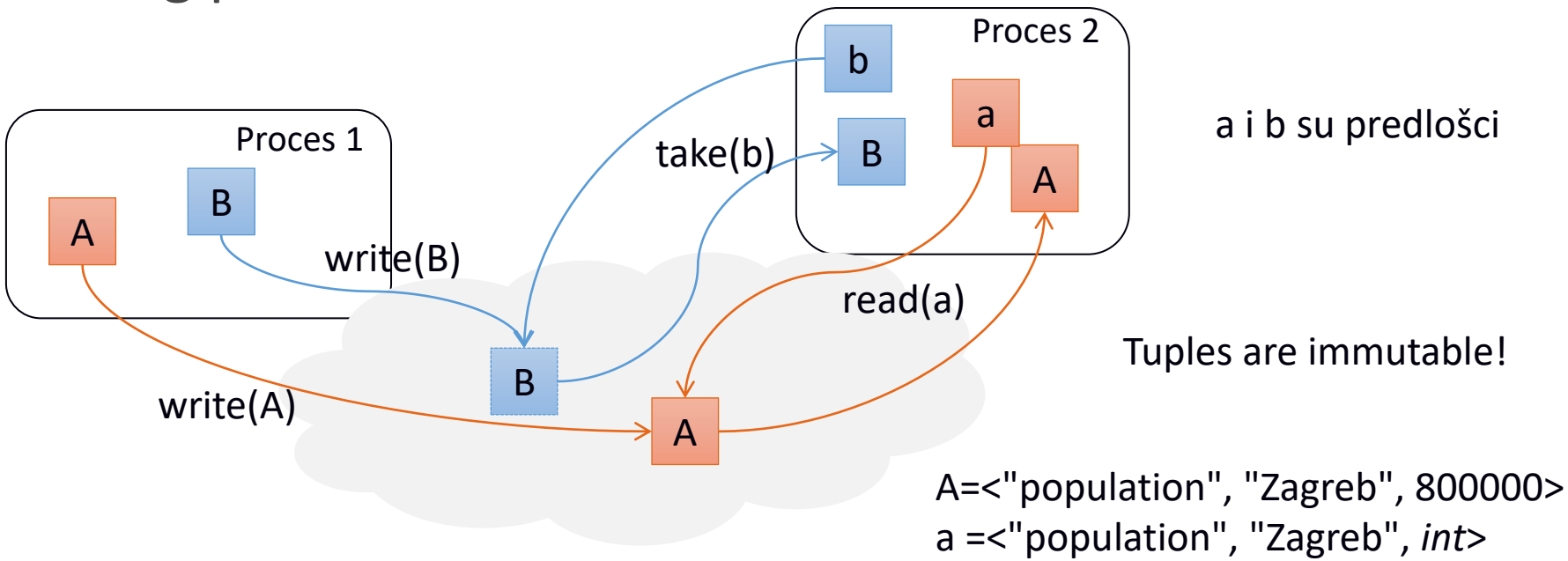
- arhitektura temeljna na podacima (*content-addressable memory*)
- procesi mogu dodati, čitati i "izvaditi" *tuple* iz zajedničkog dijeljenog podatkovnog prostora (*tuple space*)
- *tuple*: slijed podataka, za svaki je definiran tip
- primjeri: Linda, JavaSpaces, TSpaces



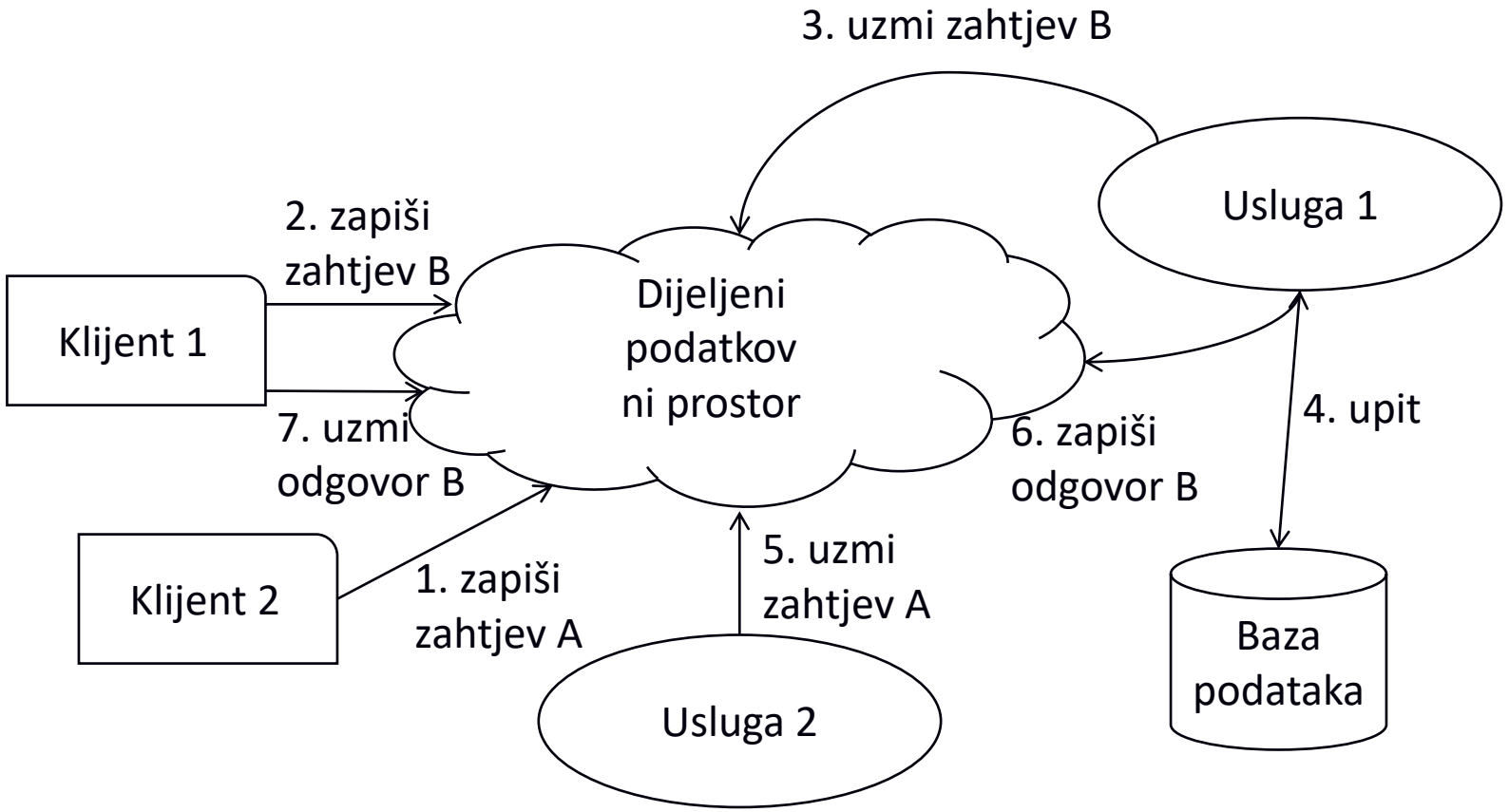
Izvor: **"JavaSpaces Principles, Patterns, and Practice"**
http://java.sun.com/developer/Books/JavaSpaces/introduction.html

Operacije

- **write** (*A*) – dodaj *tuple A* u raspodijeljeni podatkovni prostor
- **read** (*a*) → *A* – vraća *tuple A* koji odgovara predlošku *a*
- **take** (*b*) → *B* – vraća *tuple B* koji odgovara predlošku *b* i biše ga iz podatkovnog prostora



Primjer aplikacije



Obilježja dijeljenog podatkovnog prostora

- vremenska neovisnost
  - procesi ne moraju istovremeno biti aktivni radi komunikacije, dijeljeni podatkovni prostor pohranjuje poruku
- anonimna komunikacija (temelji se na sadržaju podataka)
- komunikacija je perzistentna
- asinkrona komunikacija
  - proces dodaje podatak u podatkovni prostor i nastavlja obradu
- pokretanje komunikacije na načelu *pull*
  - proces eksplicitno šalje zahtjev za čitanje podatka iz dijeljenog podatkovnog prostora

Pitanja za učenje i ponavljanje

- Objasnite značenje vremenske i prostorne neovisnosti za komunikaciju procesa. Navedite jesu li komunikacija porukama i komunikacija na načelu objavi-pretplati vremenski i prostorno ovisne ili neovisne.
- Navedite sličnosti i razlike komunikacije na načelu objavi-pretplati i dijeljenog podatkovnog prostora.
- Usporedite pretplatu u sustavima objavi-pretplati i predložak u sustavima s dijeljenim podatkovnim prostorom. Zašto je moguće realizirati tzv. vremenski i prostorno neovisnu komunikaciju?
- Gdje se filtriraju obavijesti u raspodijeljenom sustavu objavi-pretplati koji koristi preplavljivanje obavijestima?
- Zašto za raspodijeljeni sustav objavi-pretplati koji koristi preplavljivanje pretplatama kažemo da filtrira obavijesti na samom ulazu u mrežu posrednika?
- Skicirajte primjer raspodijeljenog izvođenja sustava objavi-pretplati s 3 posrednika gdje je P_1 spojen na B_1, S_1 na B_2, a S_3 na B_3 za slijed događaja sa slajda 22.

Literatura

1. G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg: Distributed Systems: Concepts and Design, 5th edition, Addison-Wesley, 2012
   poglavlje 6
2. Maarten van Steen, Andrew S. Tanenbaum (2017.), *Distributed Systems 3rd edition*, Createspace Independent Publishing Platform
   poglavlje 4.3 (bez dijela o Socketima)