# Взаимодействие между процессами в РС

Олег Сухорослов

Распределенные системы

Факультет компьютерных наук НИУ ВШЭ

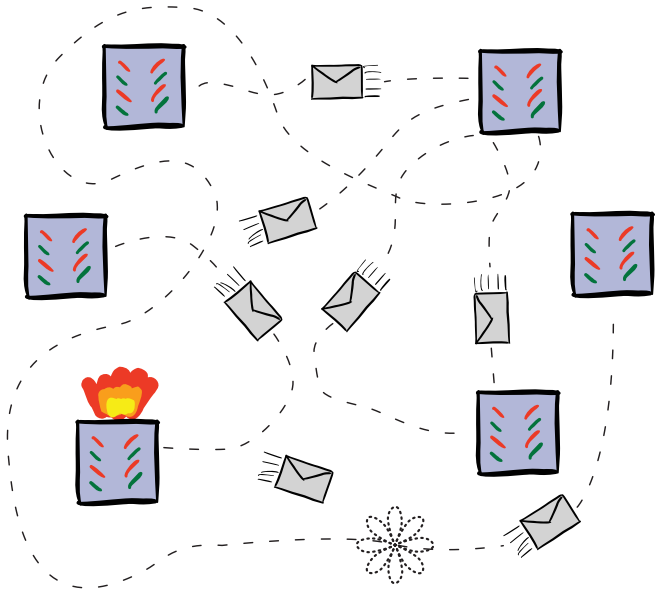
12.09.2022

# План

- Возможные разновидности взаимодействий
- Передача сообщений между парой процессов
- Схема "запрос-ответ" и удаленные вызовы процедур (RPC)

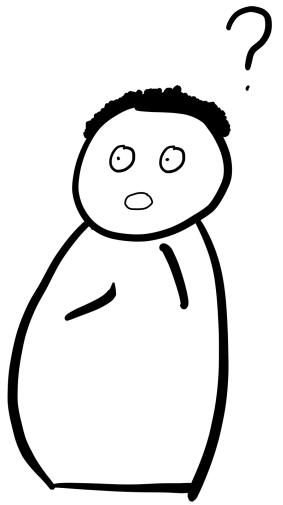
# Обмен сообщениями (Message Passing)

- Наиболее общая и универсальная модель взаимодействия процессов в РС
- Сообщения передаются по ненадежным каналам
- Реализация может предоставлять некоторые гарантии по доставке сообщений
- Возможны различные варианты и схемы взаимодействий



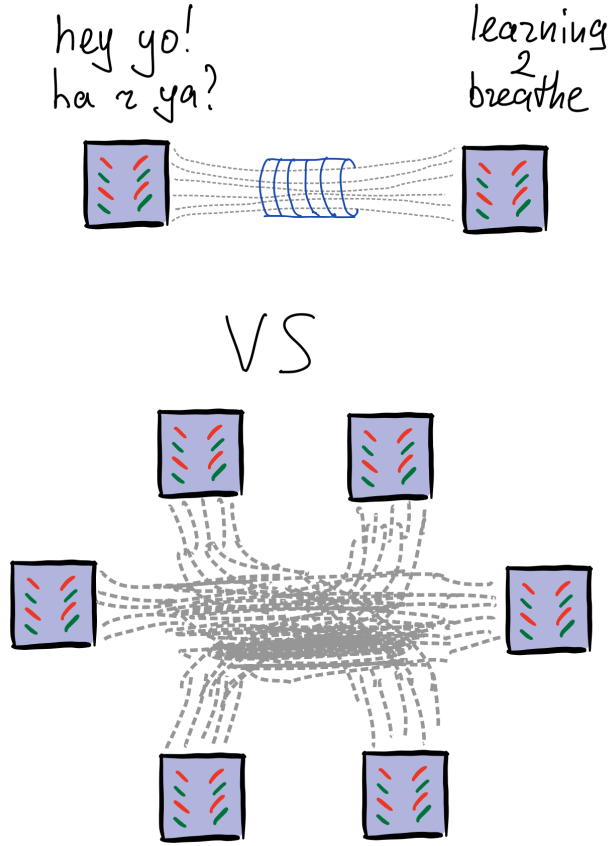
# Варианты взаимодействий

- Сколько процессов взаимодействует?
- В каких направлениях передаются сообщения?
- Требуется ли ответ от получателя?
- Кто инициирует передачу сообщения?
- Должны ли отправитель и получатель "знать" друг друга?
- Должны ли процессы работать одновременно?
- Блокируются ли процессы во время отправки/приема сообщений?



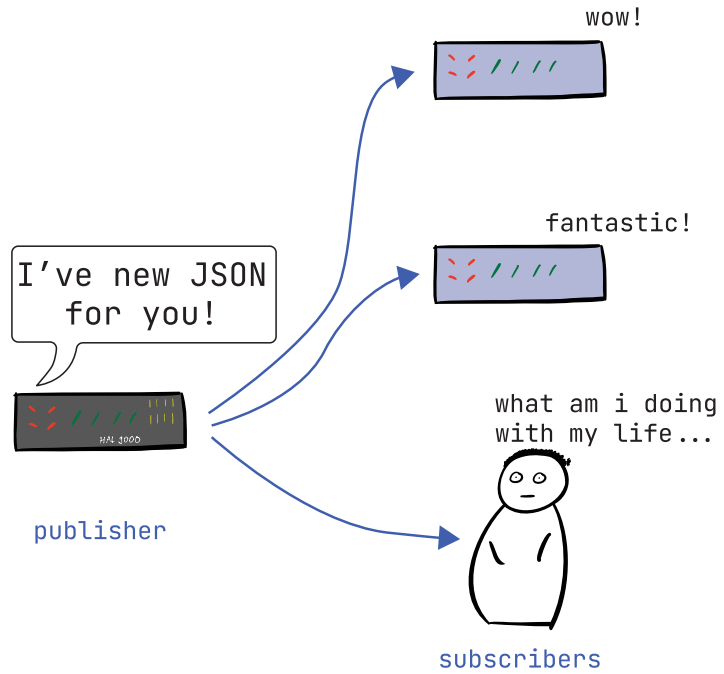
# Число процессов

- Парные взаимодействия
- Групповые взаимодействия

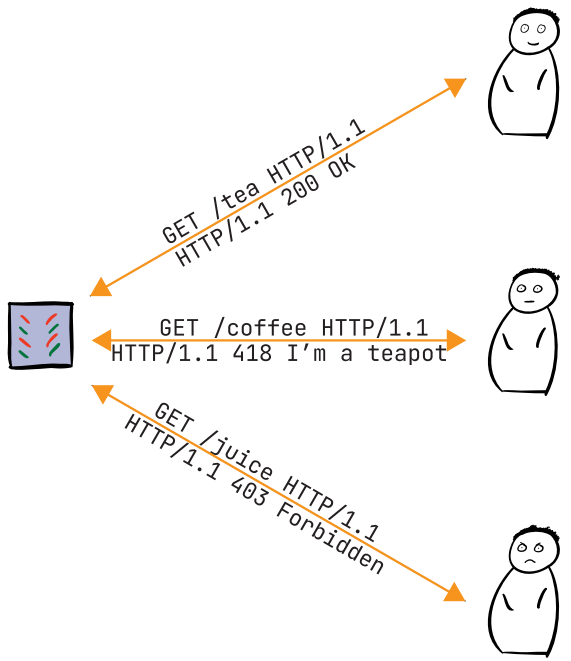


# Направления передачи сообщений

- В одну сторону (unidirectional)
  - роли отправителей и получателей зафиксированы
  - пример: издатель-подписчик

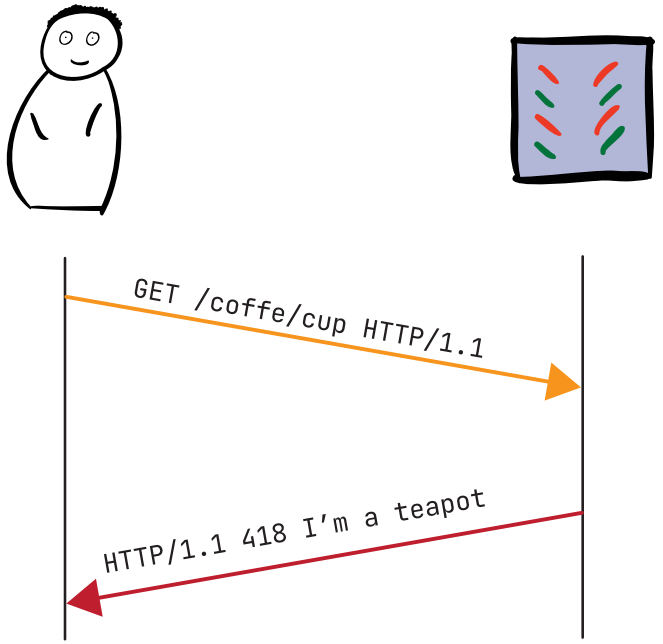



- В обе стороны (bidirectional)
  - процесс может быть как отправителем, так и получателем
  - пример: клиент-сервер



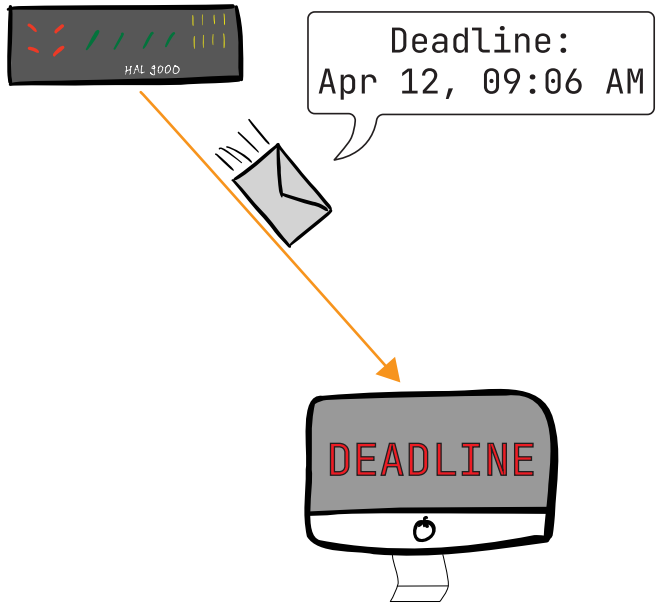
# Требуется ли ответ от получателя?

- Отправка в одну сторону (one-way)
- Схема "запрос-ответ" (request-reply)



# Кто инициирует передачу сообщения?

- Push
  - отправитель инициирует доставку
  - получатель пассивен
- Pull
  - получатель инициирует доставку
  - отправитель пассивен



# Связывание процессов

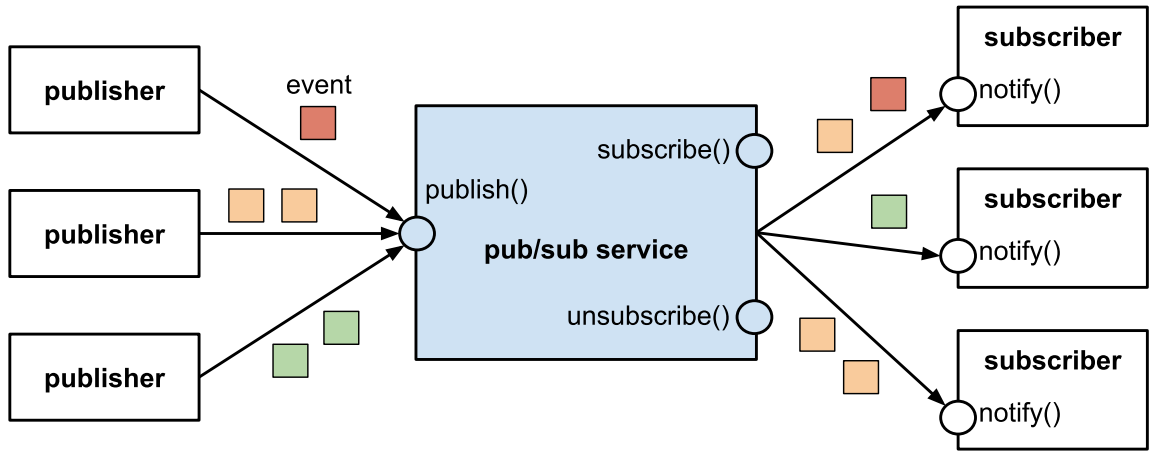
- Связывание по пространству (space coupling)
  - Процессы должны обладать информацией друг о друге
  - Например, отправитель должен знать адрес получателя
- Связывание по времени (time coupling)
  - Процессы должны выполняться в одно время
  - Transient vs persistent communication

# Непрямое взаимодействие (indirect)

Происходит через некоторого посредника или абстракцию, без прямого связывания между отправителями и получателями

Примеры

- Очередь сообщений
- Издатель-подписчик
- Общая память

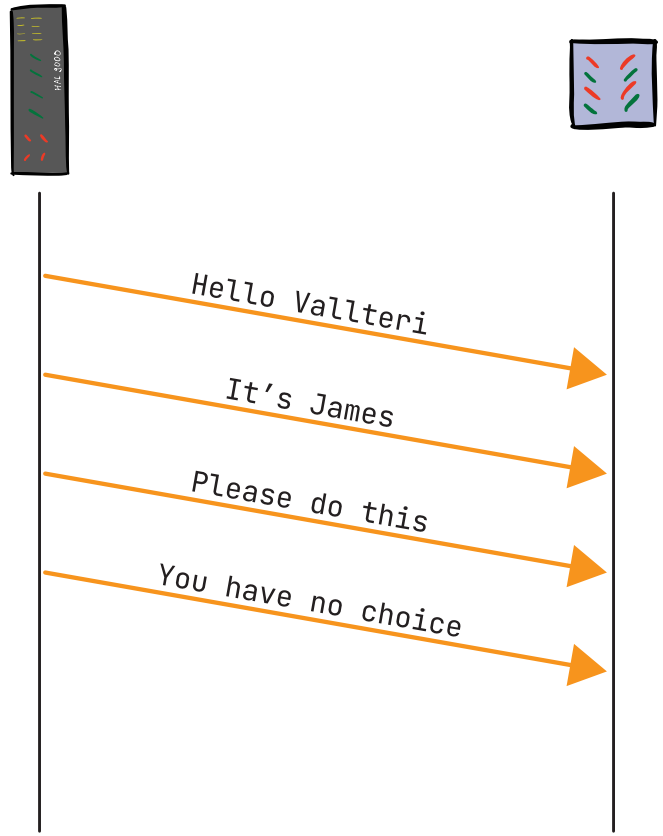


# Блокируются ли процессы?

- Синхронное взаимодействие
  - отправитель блокируется (до приема сообщения к доставке, доставки сообщения, окончания обработки сообщения...)
  - получатель блокируется до приема сообщения
- Асинхронное взаимодействие
  - отправитель продолжает выполнение сразу после отправки сообщения
  - получатель может неблокирующим образом проверить наличие сообщений
  - позволяет перекрыть коммуникации и вычисления

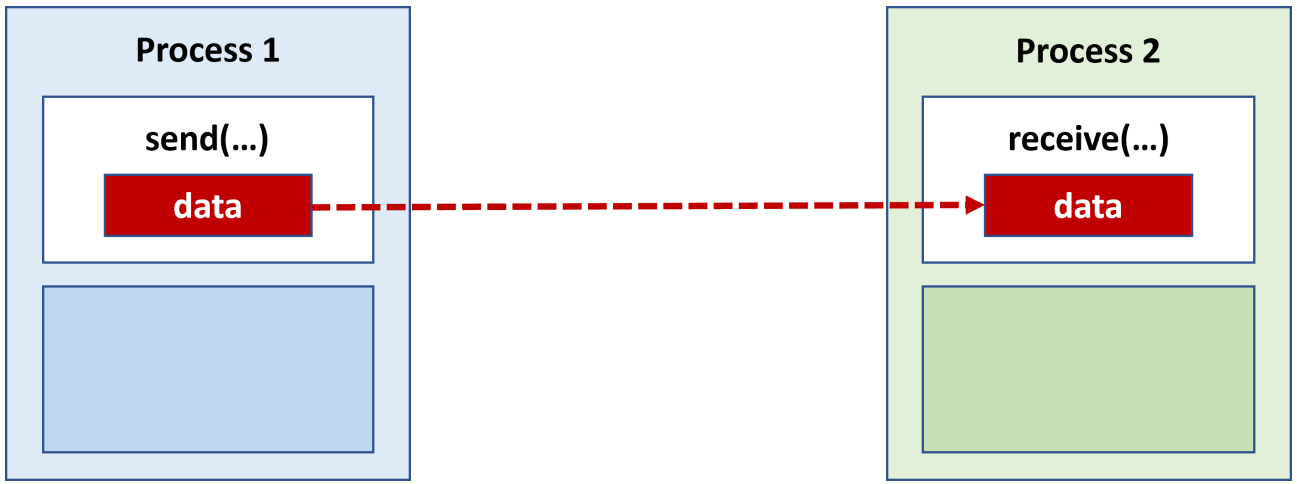
# Простейший вариант

- Два процесса
- Один отправитель, другой получатель
- Передачу инициирует отправитель
- Отправитель знает адрес получателя
- Процессы работают одновременно



# Реализация

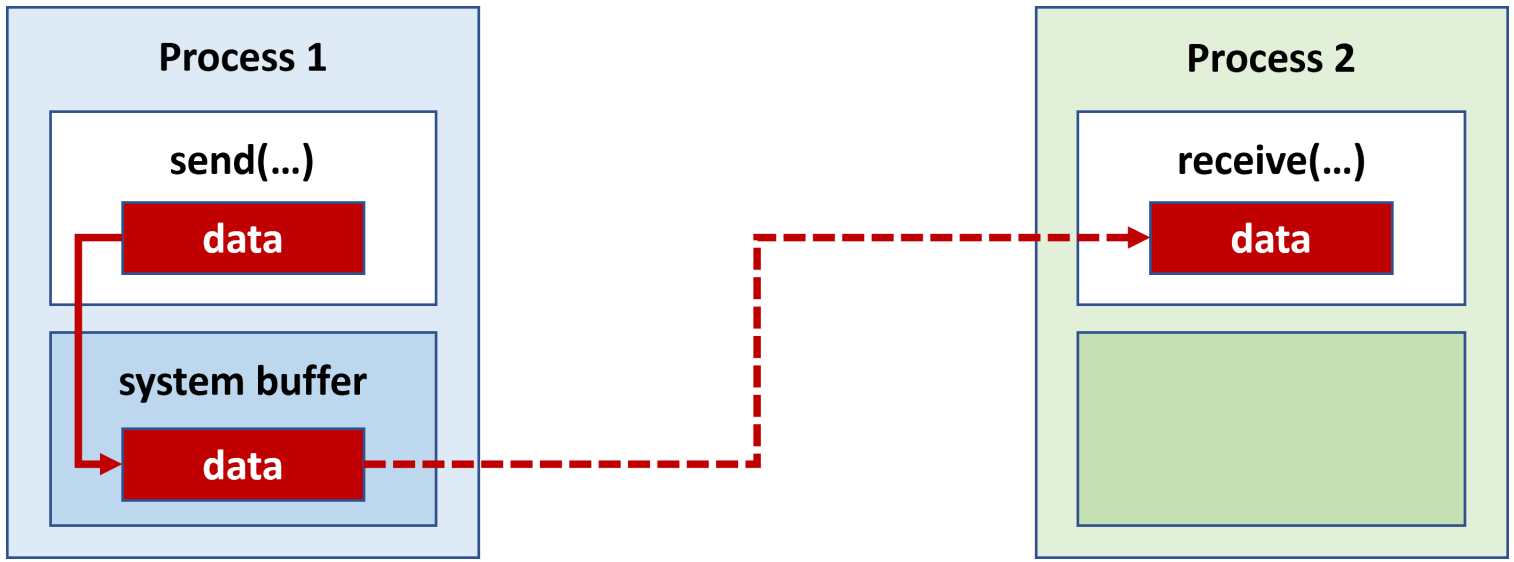
- send(data_buf, dest)
  - блокируется до ...
- receive(data_buf)
  - блокируется до получения сообщения и размещения его в буфере



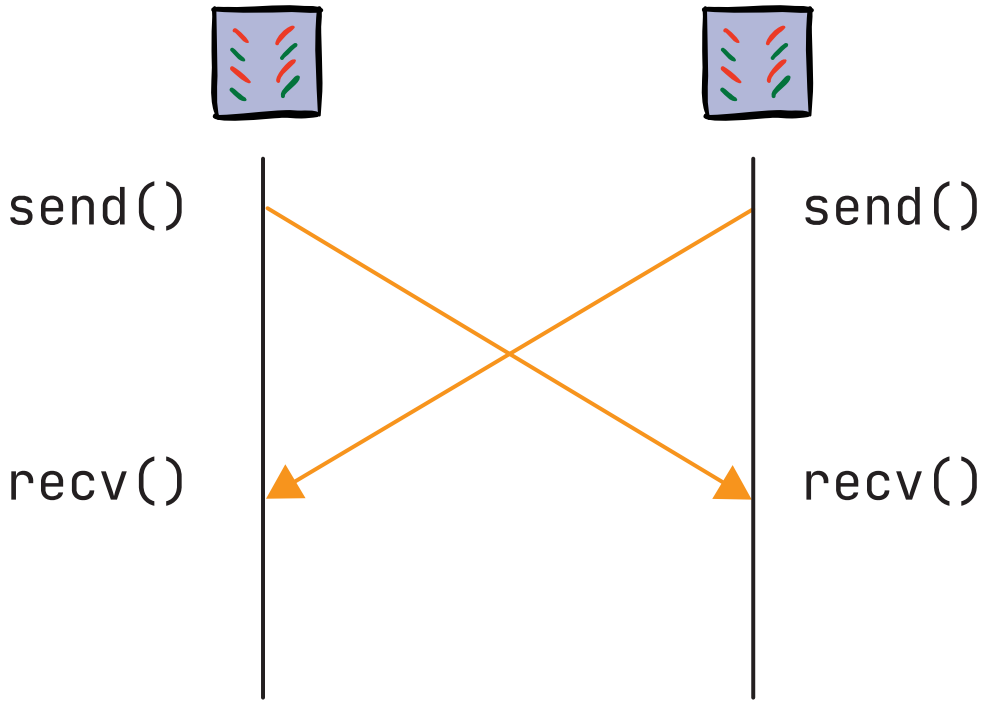
# Когда завершается send()?

- Буфер можно повторно использовать, не опасаясь испортить передаваемое сообщение?
- Сообщение покинуло узел процесса-отправителя?
- Сообщение принято процессом-получателем?

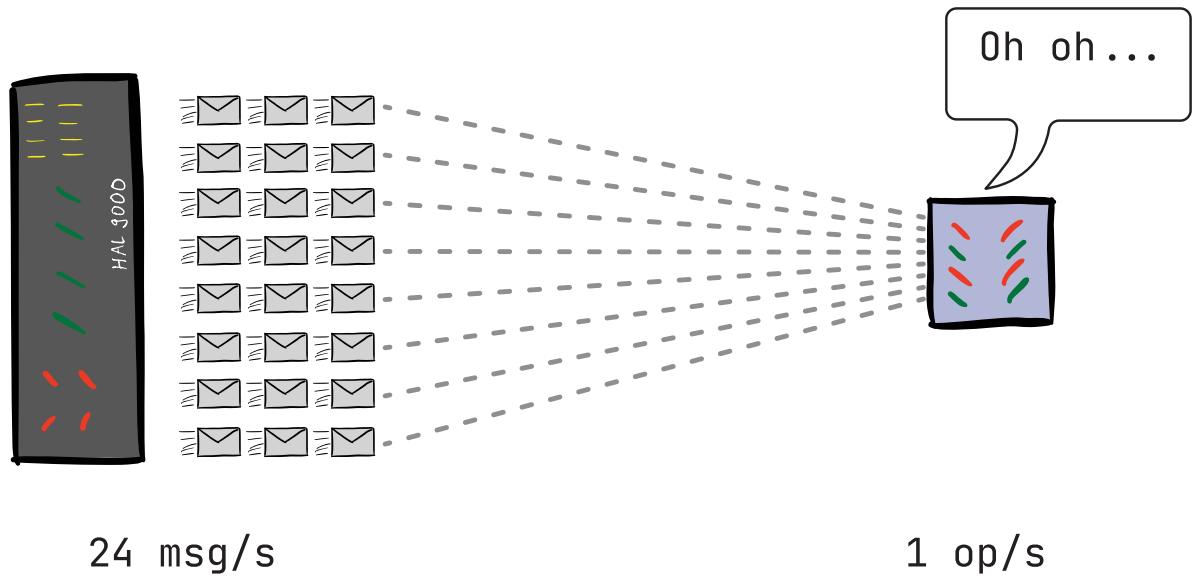
# Возможная реализация



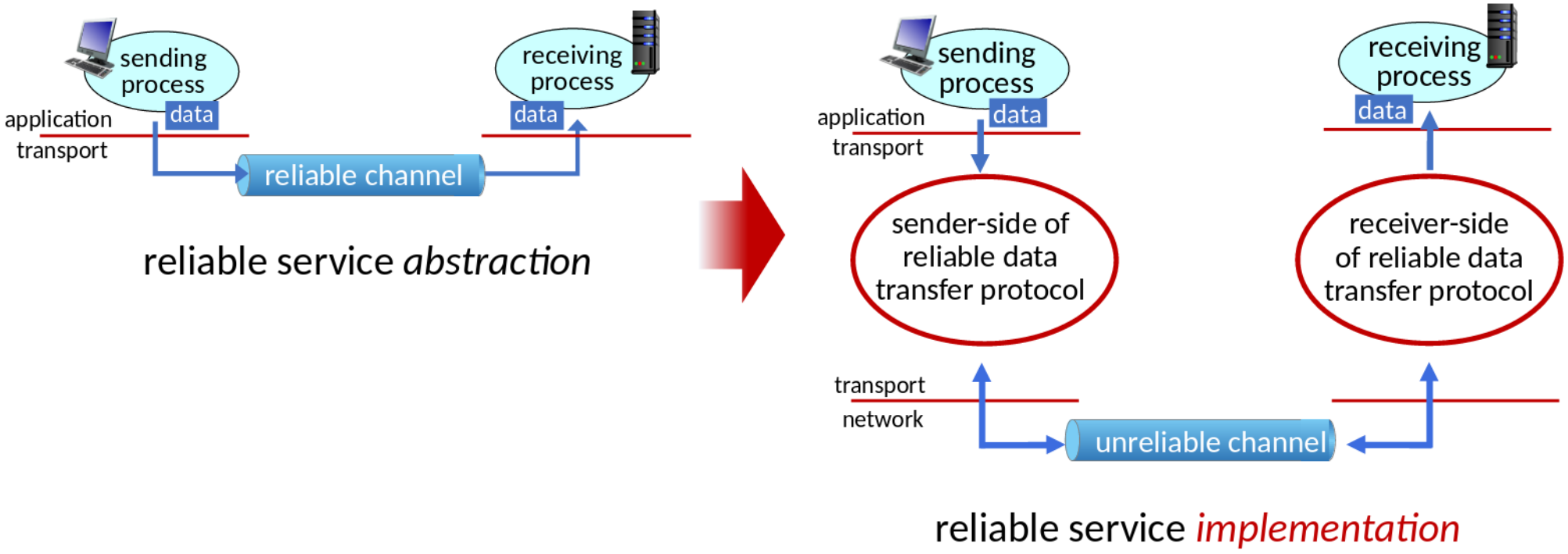
# Что здесь может возникнуть?



# Слишком быстрый отправитель



# Надежная передача сообщений

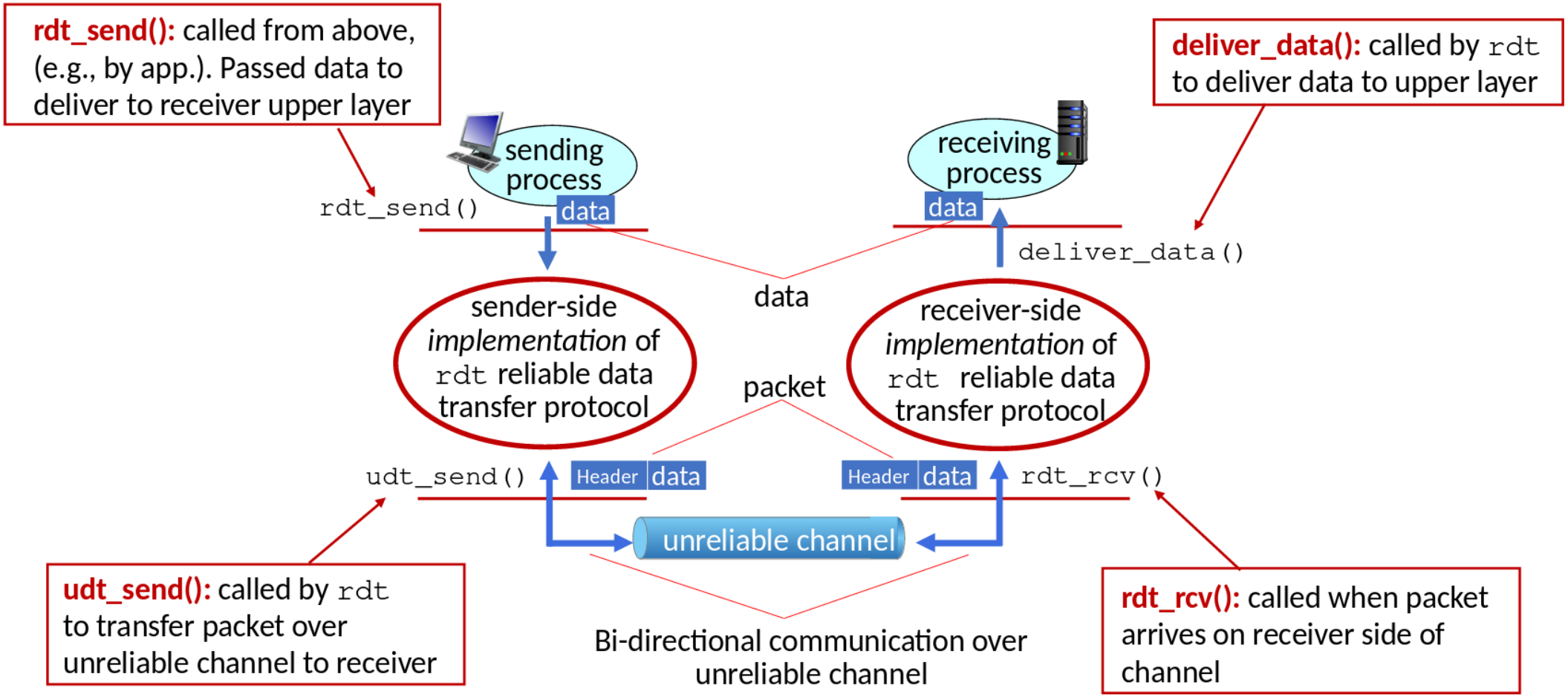



На основе материалов Jim Curose. Computer Networks: Principles of Reliable Data Transfer

# Надежная передача сообщений

- Сеть представляет собой ненадежный канал передачи данных
  - Сообщения могут искажаться и теряться в процессе передачи
  - Будем считать, что канал не переупорядочивает сообщения
- Как поверх ненадежного канала реализовать абстракцию надежного канала?
  - Односторонний канал (отправитель, получатель)
  - Все отправленные сообщения доставляются получателю
- Процессы не "видят" состояний друг друга (получено ли сообщение)
  - Единственный способ узнать - передать эту информацию в сообщении
  - Для этого нам понадобится описать протокол

# Интерфейсы


rdt_send(): called from above, (e.g., by app.). Passed data to deliver to receiver upper layer
deliver_data(): called by rdt to deliver data to upper layer
sending process
receiving process
data
rdt_send()
deliver_data()
data
sender-side implementation of rdt reliable data transfer protocol
receiver-side implementation of rdt reliable data transfer protocol
packet
udt_send()
Header
data
rdt_rcv()
unreliable channel
udt_send(): called by rdt to transfer packet over unreliable channel to receiver
Bi-directional communication over unreliable channel
rdt_rcv(): called when packet arrives on receiver side of channel

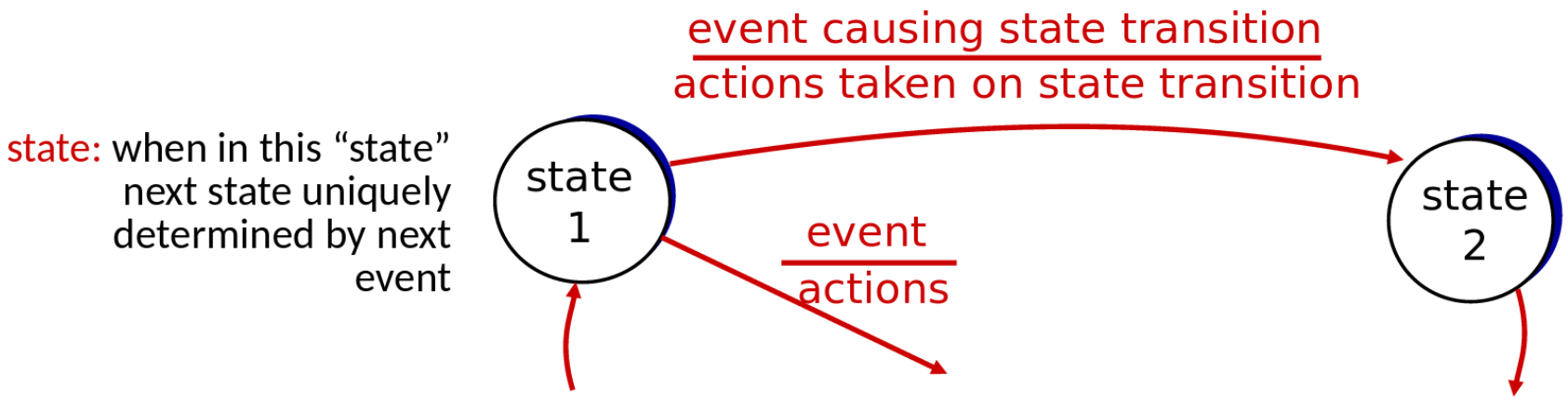
# Протокол

- Описание правил взаимодействия компонентов системы
- Типы, семантика и структура сообщений
- Форматы передачи данных
- Правила обработки сообщений
- Адресация компонентов
- Управление соединением
- Обнаружение и обработка ошибок
- ...

# Описание протокола

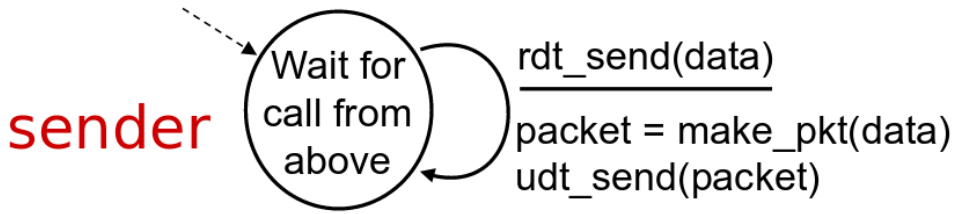
Будем использовать конечные автоматы для описания поведения отправителя и получателя в нашем протоколе

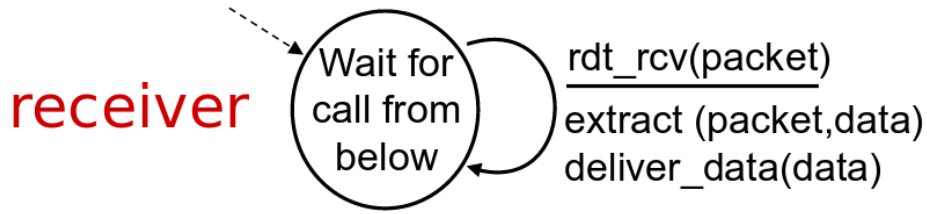
- Состояния, в которых может находиться процесс
- События, приводящие к переходу между состояниями
- Действия, выполняемые во время переходов между состояниями



# Протокол 1.0

- Нижележащий канал - надежный
  - сообщения передаются без ошибок (bit errors)
  - сообщения не теряются (packet loss)
- Конечные автоматы для отправителя и получателя:



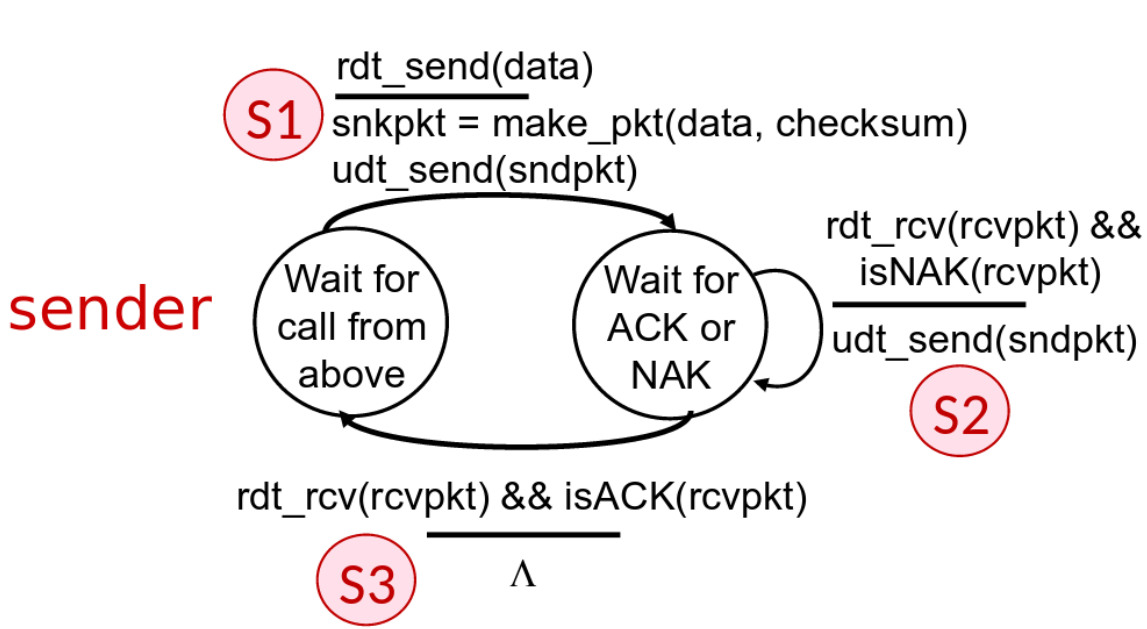
# Канал с ошибками

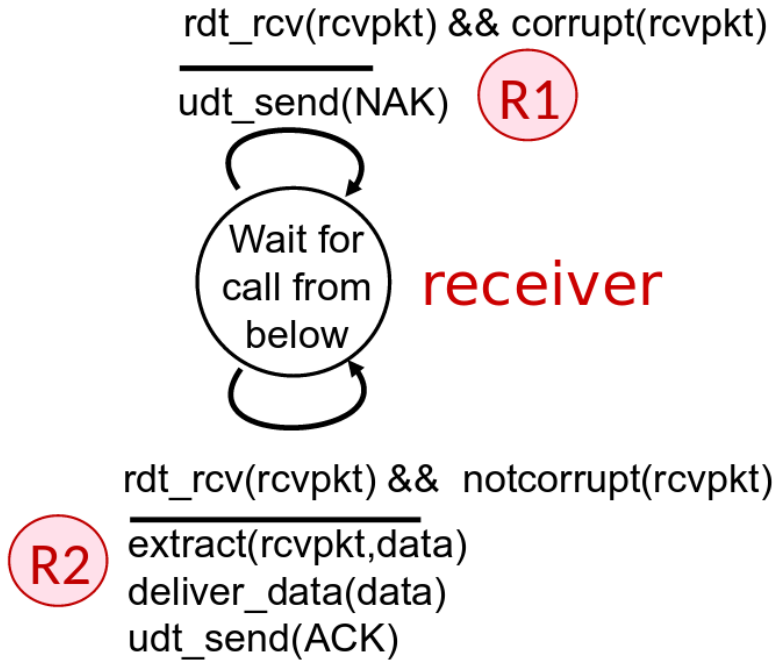
- Содержимое сообщения при передаче может повредиться
  - например, бит 1 вместо 0
- Как обнаруживать и обрабатывать такие ошибки?

# Служебные сообщения

- ACK (acknowledgement)
  - сообщение получено в целостности
- NAK (negative acknowledgement)
  - сообщение получено с ошибками

# Протокол 2.0


sender
S1
rdt_send(data)
snkpkt = make_pkt(data, checksum)
udt_send(sndpkt)
Wait for call from above
Wait for ACK or NAK
rdt_rcv(rcvpkt) && isNAK(rcvpkt)
udt_send(sndpkt)
S2
rdt_rcv(rcvpkt) && isACK(rcvpkt)
S3
Λ


rdt_rcv(rcvpkt) && corrupt(rcvpkt)
udt_send(NAK)
R1
Wait for call from below
receiver
rdt_rcv(rcvpkt) && notcorrupt(rcvpkt)
R2
extract(rcvpkt,data)
deliver_data(data)
udt_send(ACK)

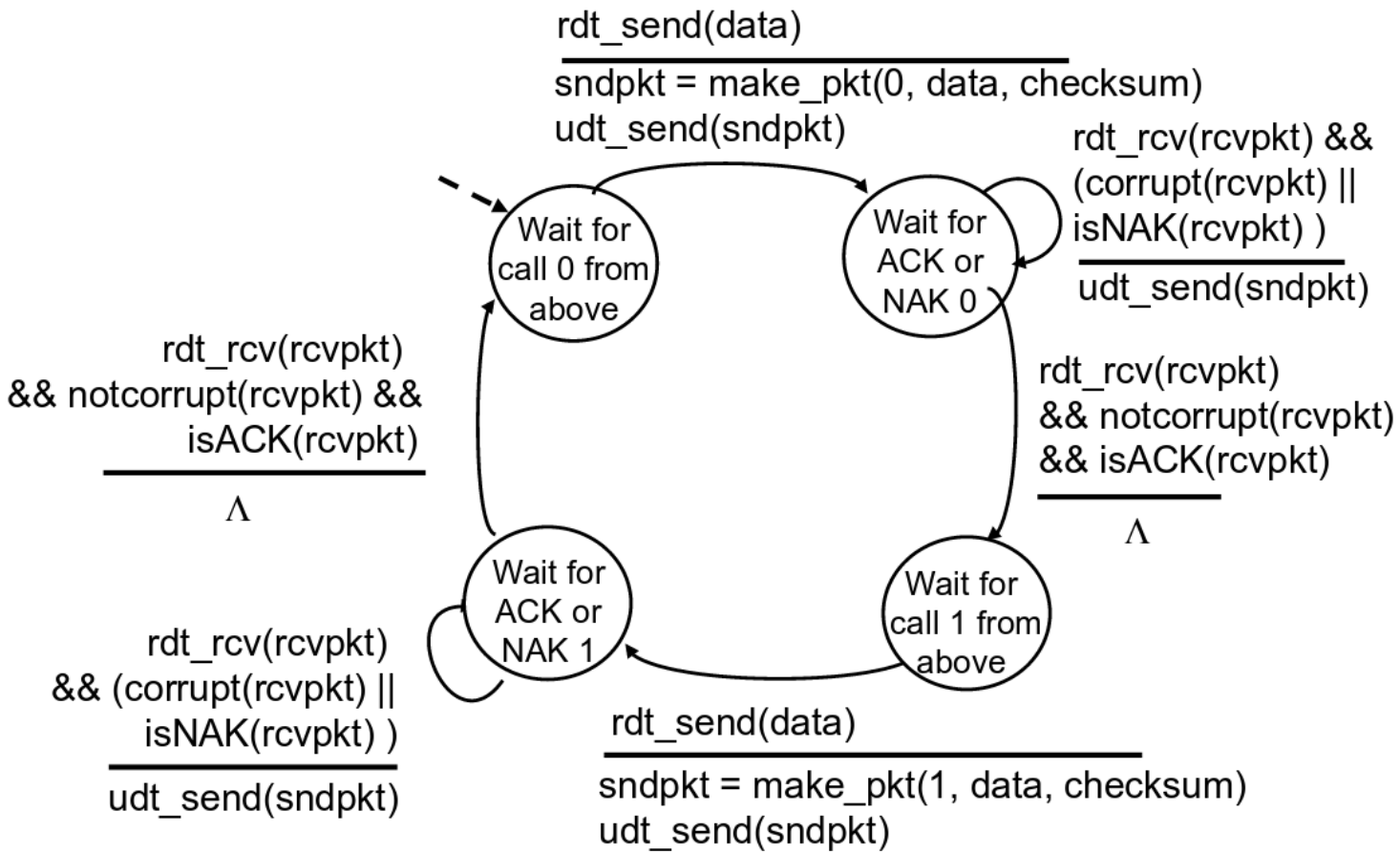
# Проблема

- Что если окажется повреждено сообщение с ACK или NAK?
- Можно ли безопасно отправить исходное сообщение еще раз?

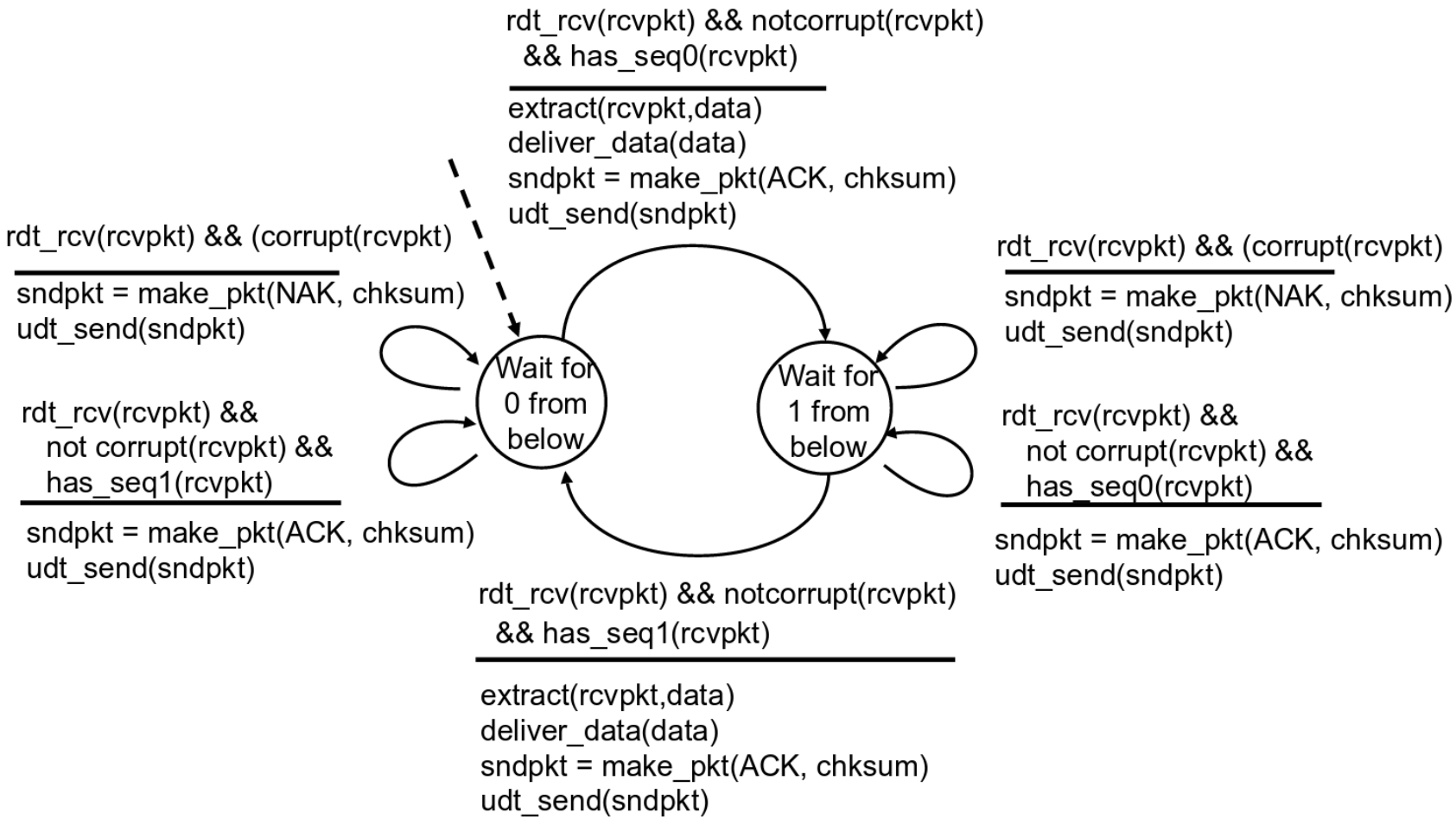
# Дедупликация сообщений

- Отправитель добавляет в сообщение sequence number (SN)
  - В нашем случае достаточно чередовать 0 и 1
- Получатель ожидает сообщения с определенным SN
  - Сообщения с другим SN игнорируются (не доставляются выше)

# Протокол 2.1: отправитель



# Протокол 2.1: получатель



# Упражнение

Протокол, который использует только ACKs (NAK-free)

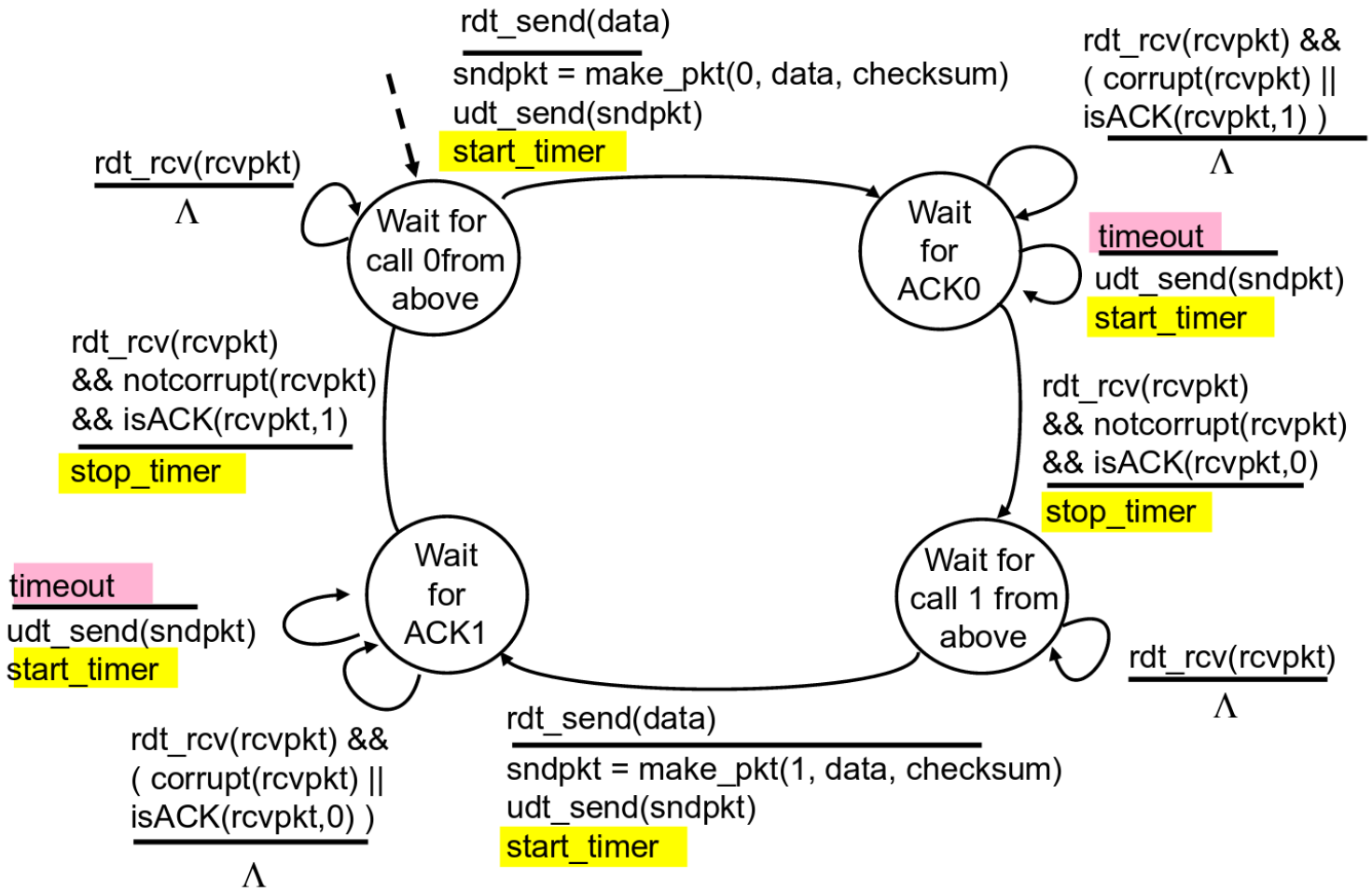
# Канал с ошибками и потерей сообщений

- Теперь сообщения могут не только повреждаться, но и теряться в процессе передачи
- Как обнаруживать и обрабатывать потерю сообщения?

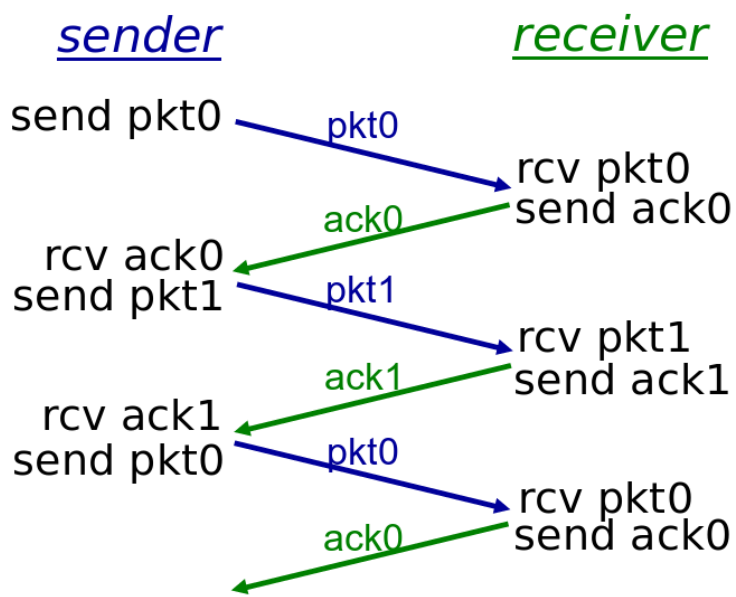
# Базовые принципы

- Отправитель ожидает ACK в течение некоторого времени
  - требуется таймер на стороне отправителя
- Если ACK не получен вовремя, сообщение отправляется повторно
- Если сообщение (или ACK) не было потеряно, а задержалось
  - сообщение будет продублировано, но это решается с помощью SN
  - получатель должен указывать SN внутри ACK

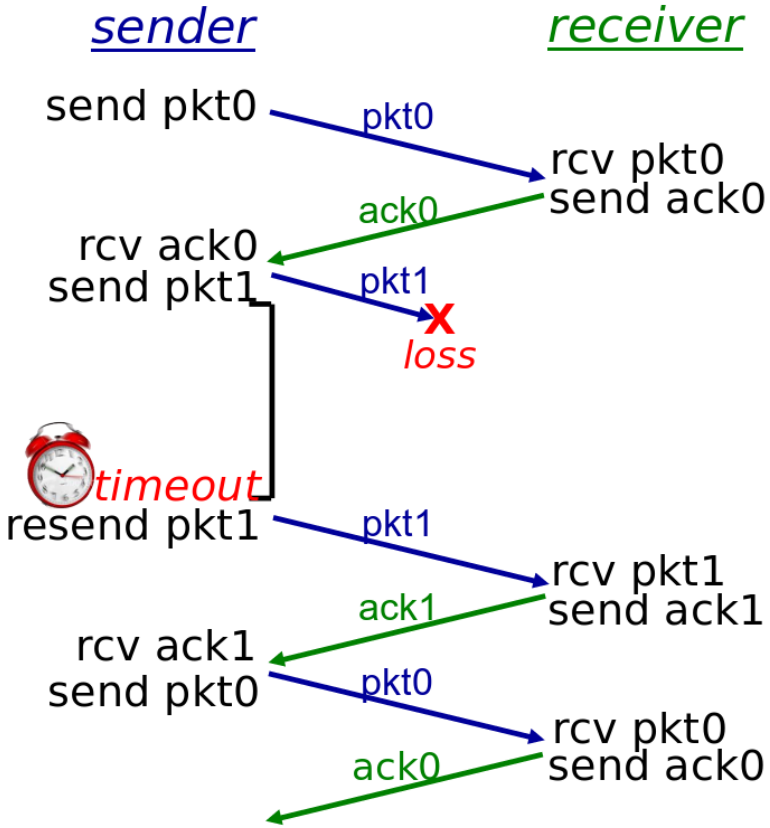
# Протокол 3.0: отправитель



# Возможные сценарии

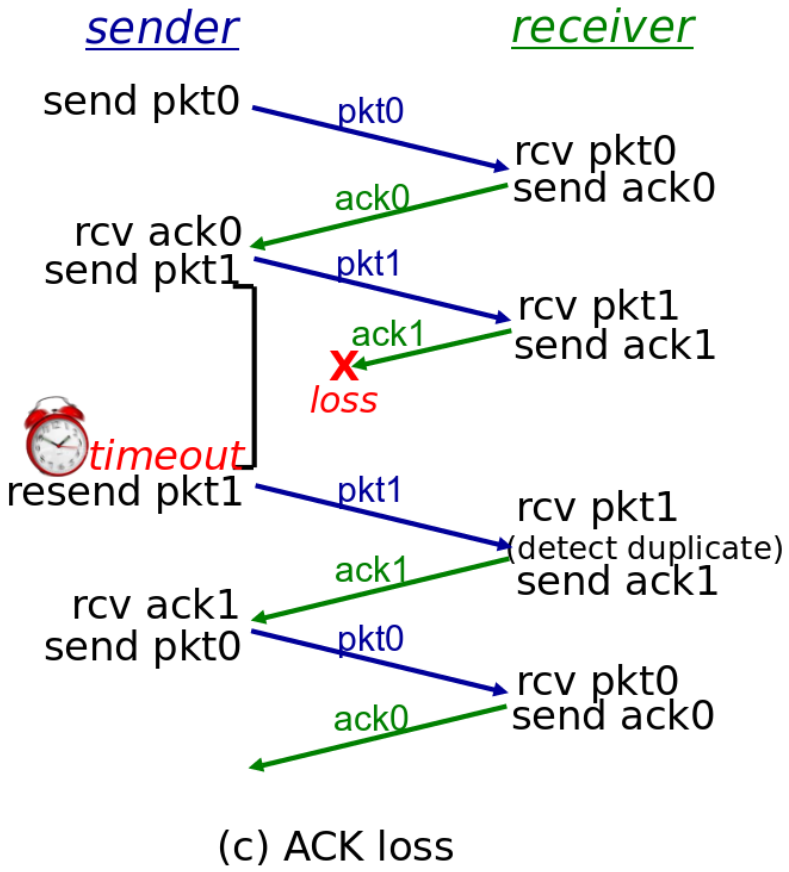



(a) no loss

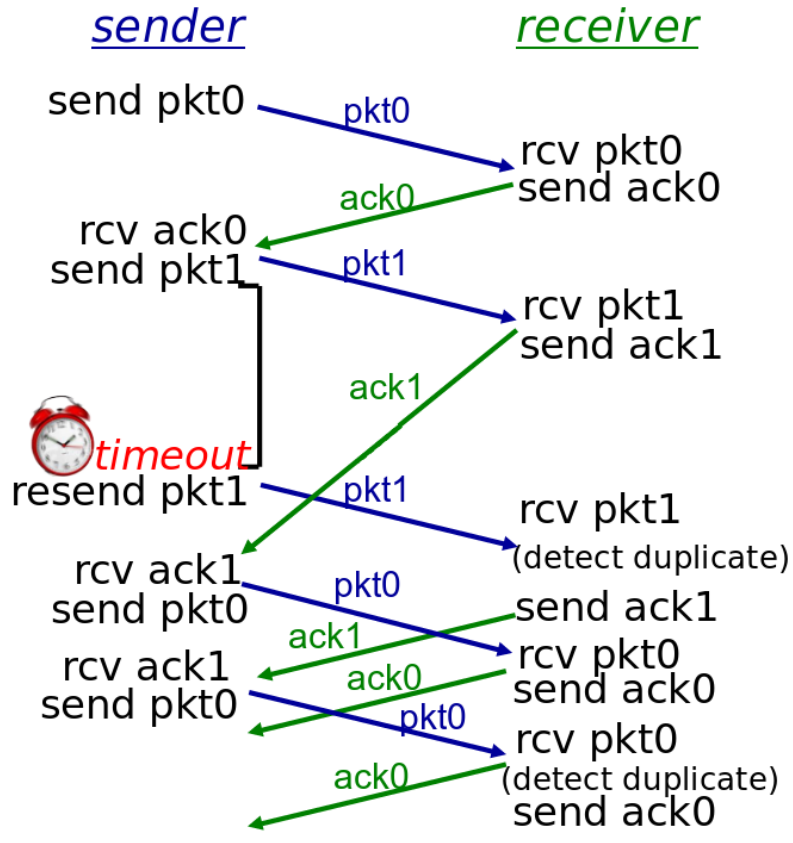



(b) packet loss

# Возможные сценарии (2)




(c) ACK loss




(d) premature timeout/ delayed ACK

# Переупорядочивание сообщений

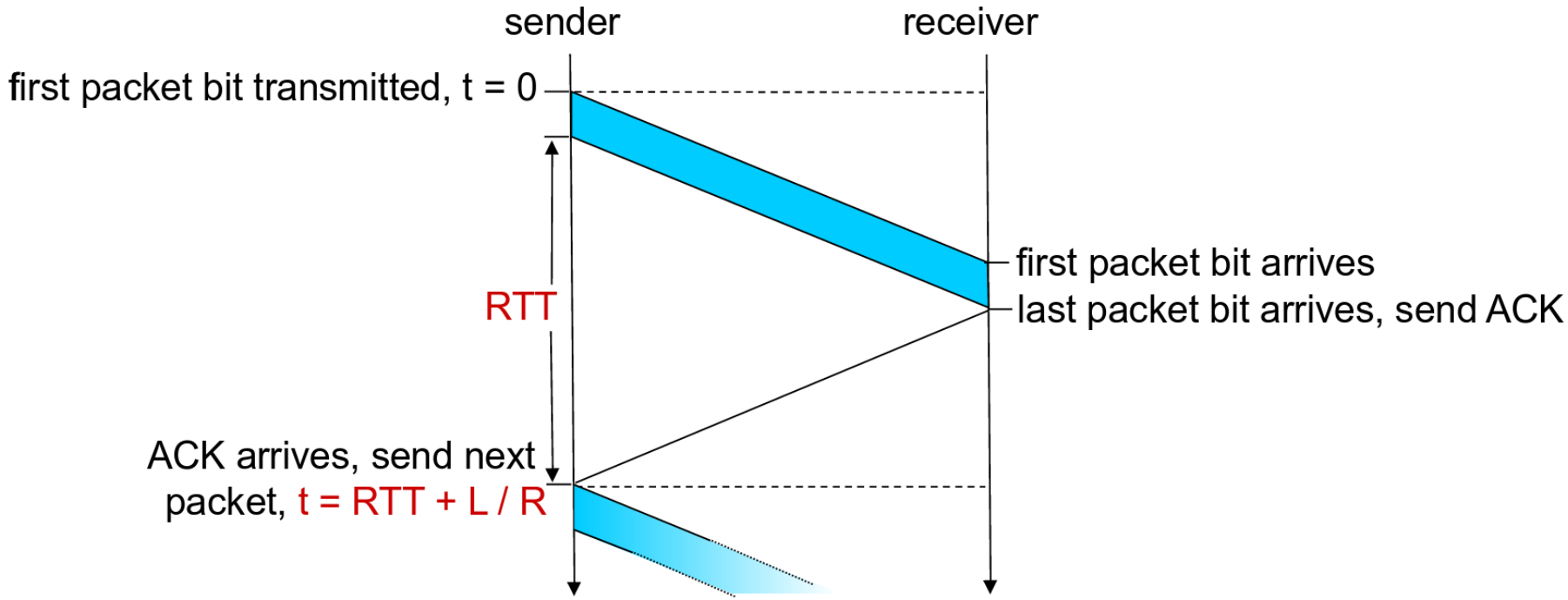
Что если канал (помимо повреждения и потерь) может также переупорядочивать сообщения в процессе передачи?

- Сломает ли это наш протокол?
- Приведите пример сценария

# Возможные гарантии транспорта

- Контроль целостности сообщений
- Доставка сообщения
  - возможно будет доставлено, возможно несколько раз (zero or more, best effort)
  - будет доставлено не более 1 раза (at most once)
  - будет доставлено как минимум 1 раз (at least once)
  - будет доставлено ровно 1 раз (exactly once)
- Порядок доставки сообщений
  - в произвольном порядке
  - в порядке их отправки

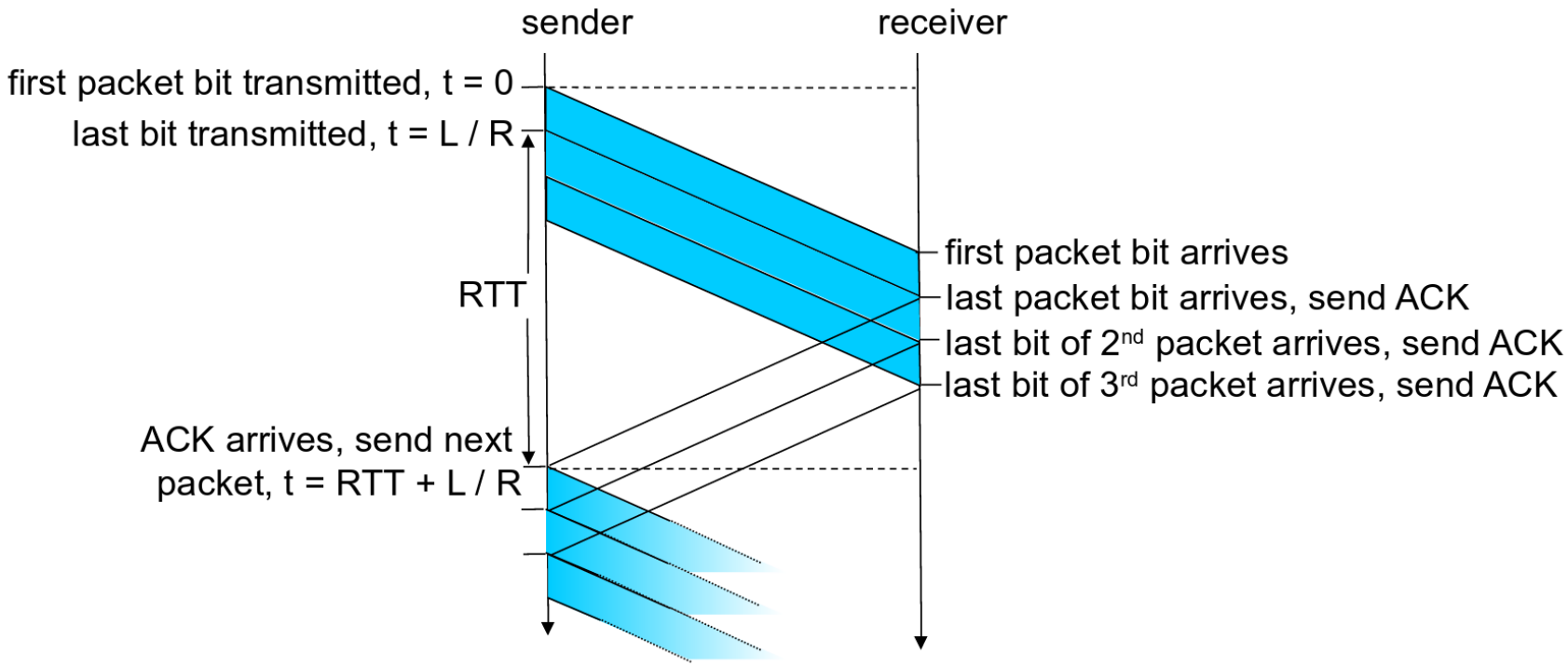
# Производительность




RTT - время передачи сигнала туда и обратно, L - размер пакета, R - пропускная способность сети

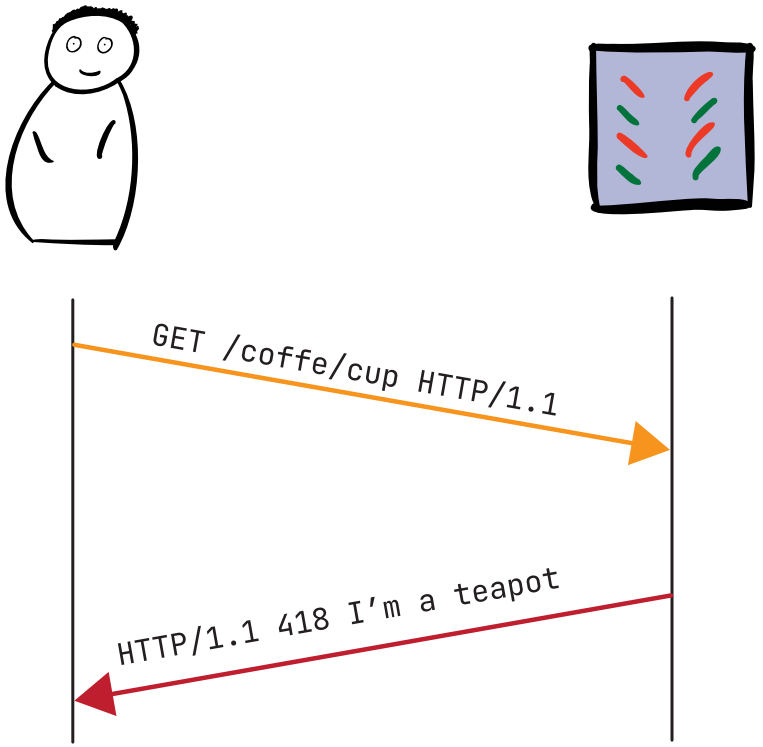
Принцип stop-and-wait приводит к низкой утилизации сети

# Pipelining

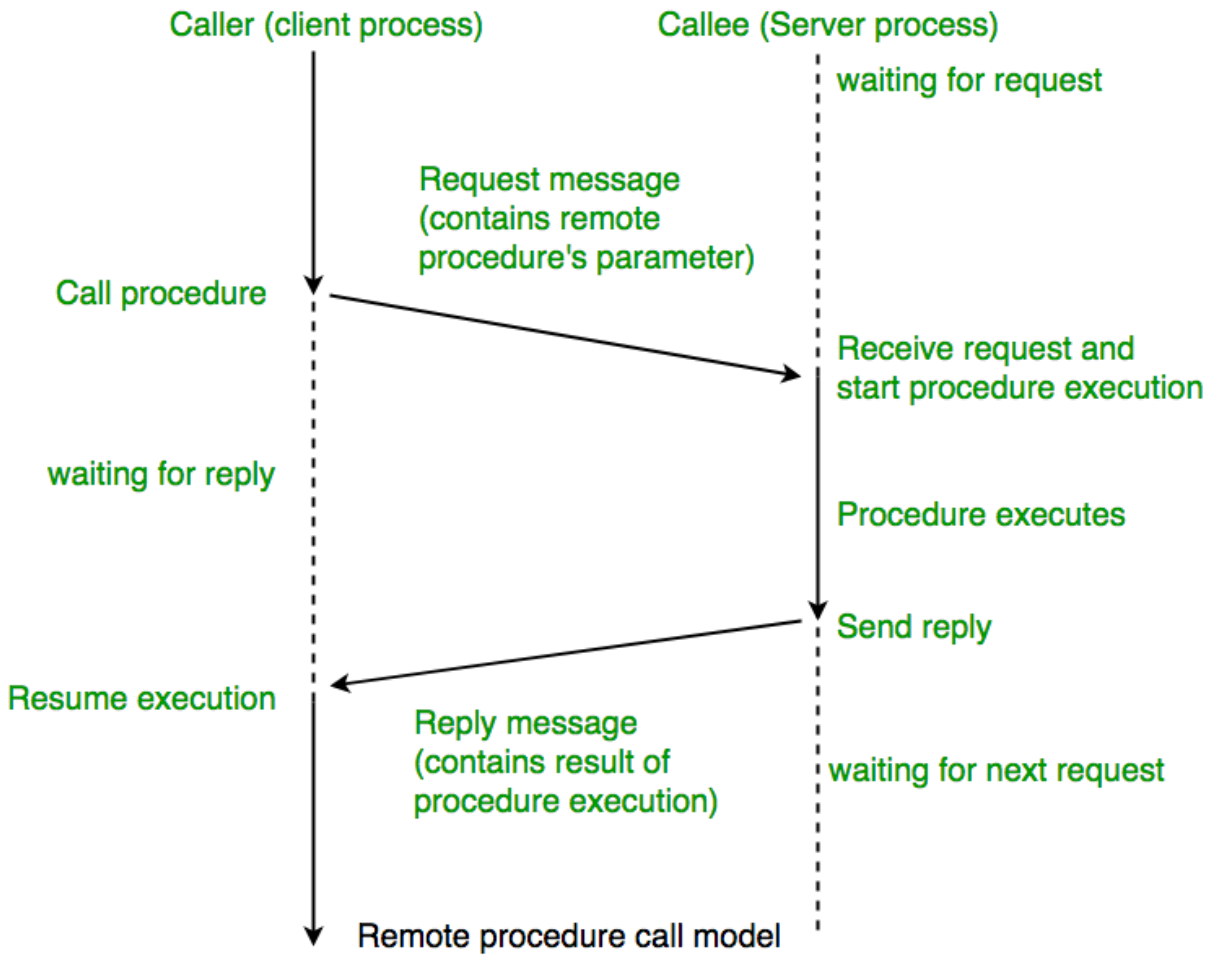



Отправка N пакетов за раз увеличивает утилизацию в N раз

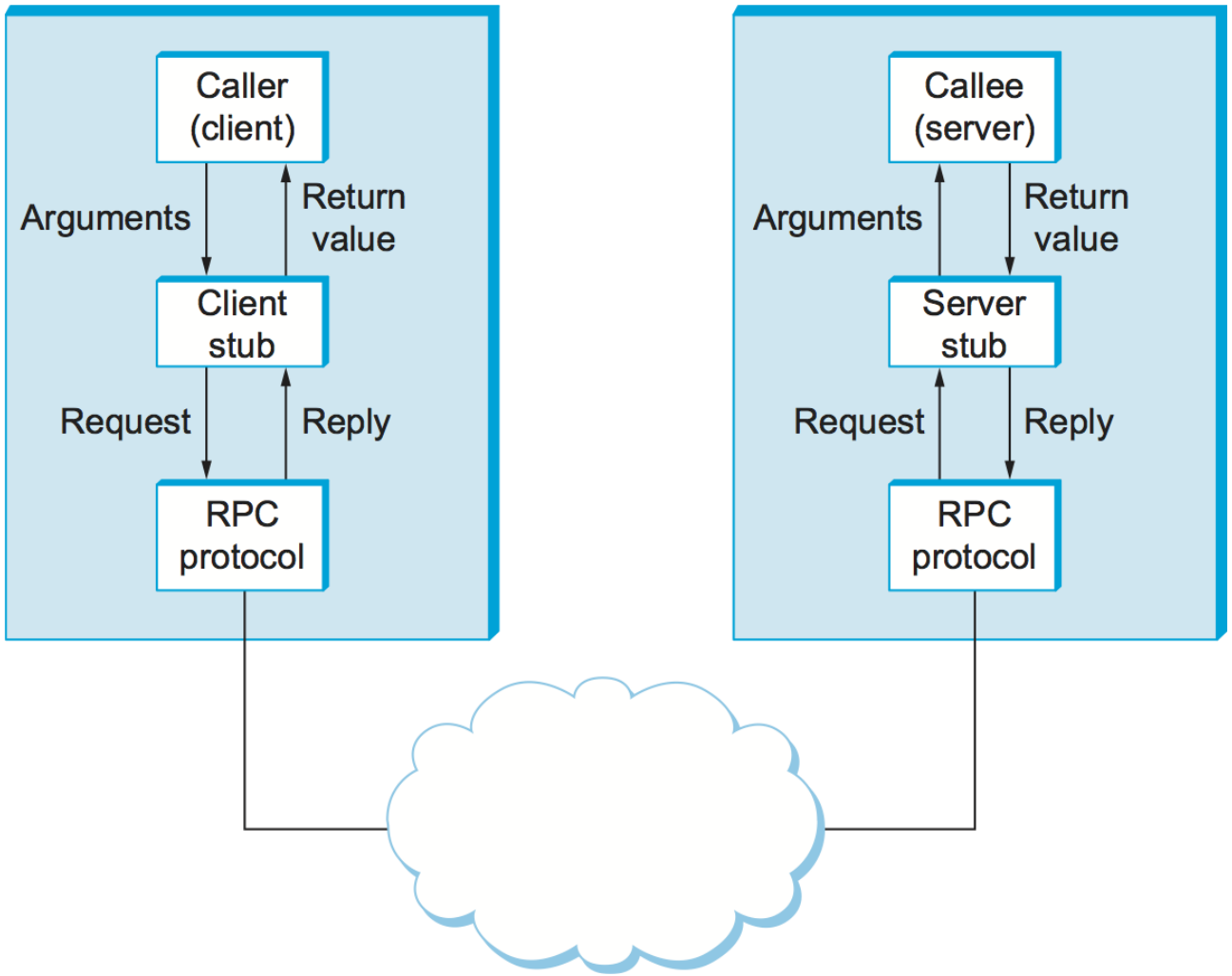
# Схема взаимодействия "запрос-ответ"



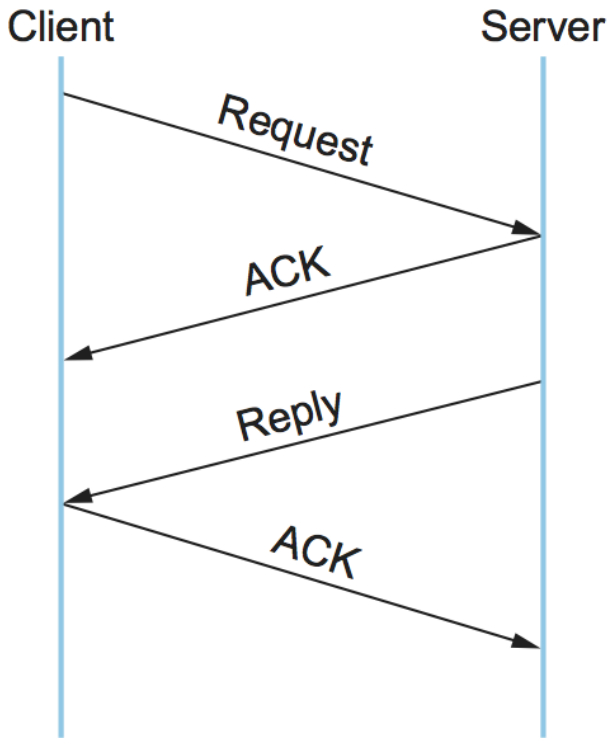
# Remote Procedure Call (RPC)

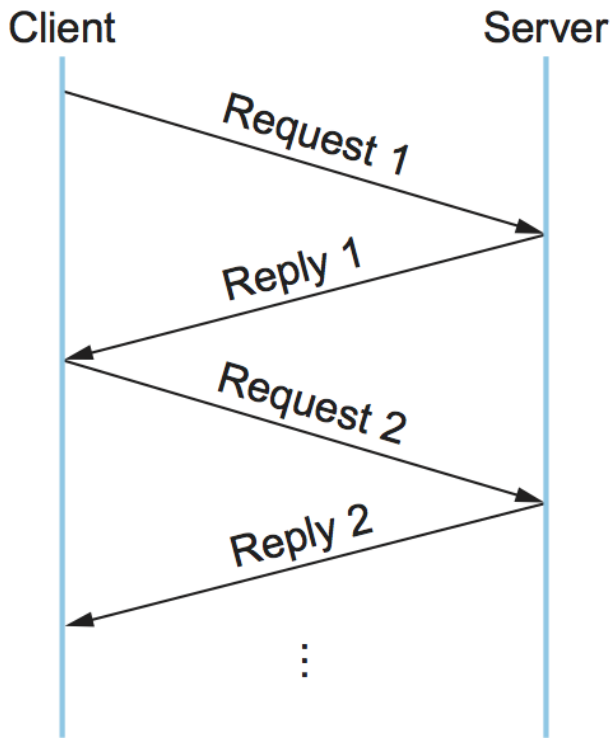


# Реализация RPC



# Обеспечение надежности



# Семантика (гарантии) RPC-вызова

- zero or more (best effort, maybe)
- at most once
- at least once
- exactly once

- ср. с семантикой локального вызова

# Идемпотентные операции

- Результат операции не изменяется при многократном её применении
  - состояние сервера не изменяется или изменяется одинаковым образом
  - многократные вызовы эквивалентны однократному
- Примеры?
- В чем преимущество использования таких операций?

# Отличия удаленных вызовов от локальных

- Производительность
- Выполняются удаленно, нет нагрузки на клиента
- Новые типы ошибок (исключений)
- Семантика вызова
- Передача параметров, адресное пространство
- Блокирующие вызовы и таймауты
- Что если сервер перезагрузился/обновил версию?
- Новые виды атак и угроз безопасности

# Литература


- van Steen M., Tanenbaum A.S. Distributed Systems: Principles and Paradigms (разделы 4.1-4.3)
- Kurose J., Ross K. Computer Networking: A Top-Down Approach (раздел 3.4)
- Peterson L., Davie B. Computer Networks: A Systems Approach (раздел 5.3)

# Дополнительно

- Birrell A.D., Nelson B.J. Implementing Remote Procedure Calls (1984)
- Tanenbaum A.S., Van Renesse R. A Critique of the Remote Procedure Call Paradigm (1988)
- Jim Waldo et al. A Note on Distributed Computing (1994)
- Henning M. Another Note on Distributed Computing (2008)
- Vinoski S. Mythbusting Remote Procedure Calls (2012)
- Meiklejohn C., McCaffrey C. A Brief History of Distributed Programming: RPC (2016)
- Kalia A. Datacenter RPCs can be General and Fast (2019)