Безопасность в распределенных системах

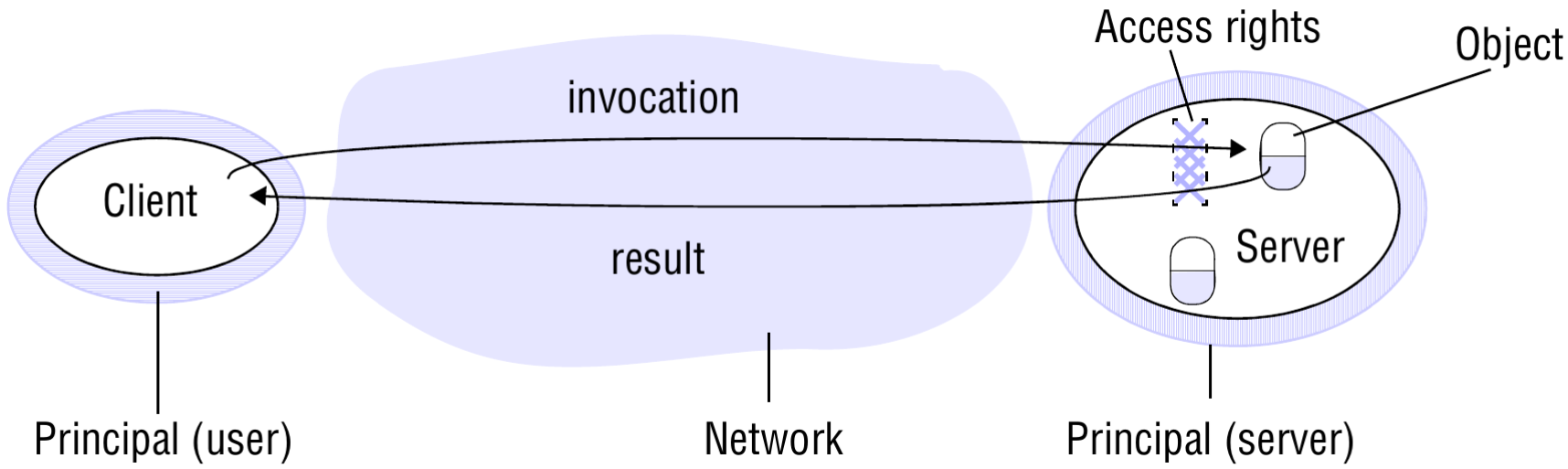
Олег Сухорослов

Распределенные системы

Факультет компьютерных наук НИУ ВШЭ

06.12.2021

Возможные угрозы?



Угрозы

- Interception
- Modification
- Fabrication
- Interruption

Атаки

- Подслушивание (eavesdropping)
- Фальсификация данных (data tampering)
- Человек посередине (man-in-the-middle)
- Подмена (masquerading, spoofing, phishing)
- Повтор (replaying)
- Отказ в обслуживании (denial-of-service)
- Вредоносное ПО (malware, вирус, сетевой червь, spyware)

Требования

- Конфиденциальность
- Целостность
- Аутентификация
- Невозможность отказа
- Авторизация
- Доступность
- Масштабируемость

Методика

- Анализ угроз
- Предотвращение угроз
- Валидация
- Аудит

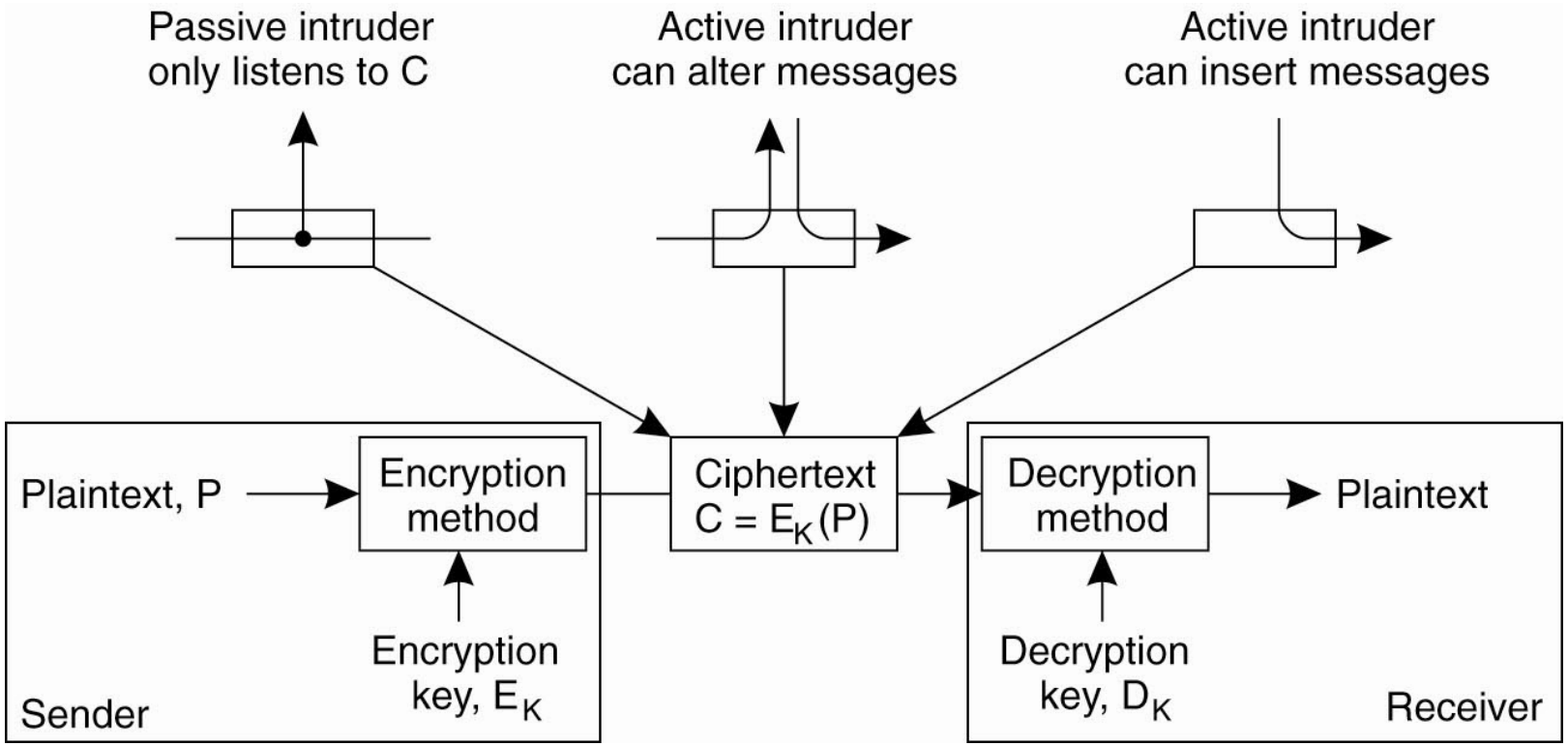
Предположения и принципы

- Интерфейсы доступны всем
- Сети не безопасны
- Время жизни и действие секретов должны быть ограничены
- Алгоритмы и код доступны атакующим
- Атакующие могут иметь доступ к большим вычислительным мощностям
- Минимизация критически важных компонентов (trusted computing base)

Базовые техники и механизмы

- Криптография (защищенный канал)
  - Конфиденциальность
  - Целостность
  - Аутентификация
  - Невозможность отказа
- Контроль доступа
  - Авторизация (ACL, capabilities, groups, roles)
  - Проверка и изолированное выполнение кода
  - Межсетевые экраны, защита от DoS-атак
- Управление безопасностью
  - Распространение ключей, цифровые сертификаты, делегирование прав...

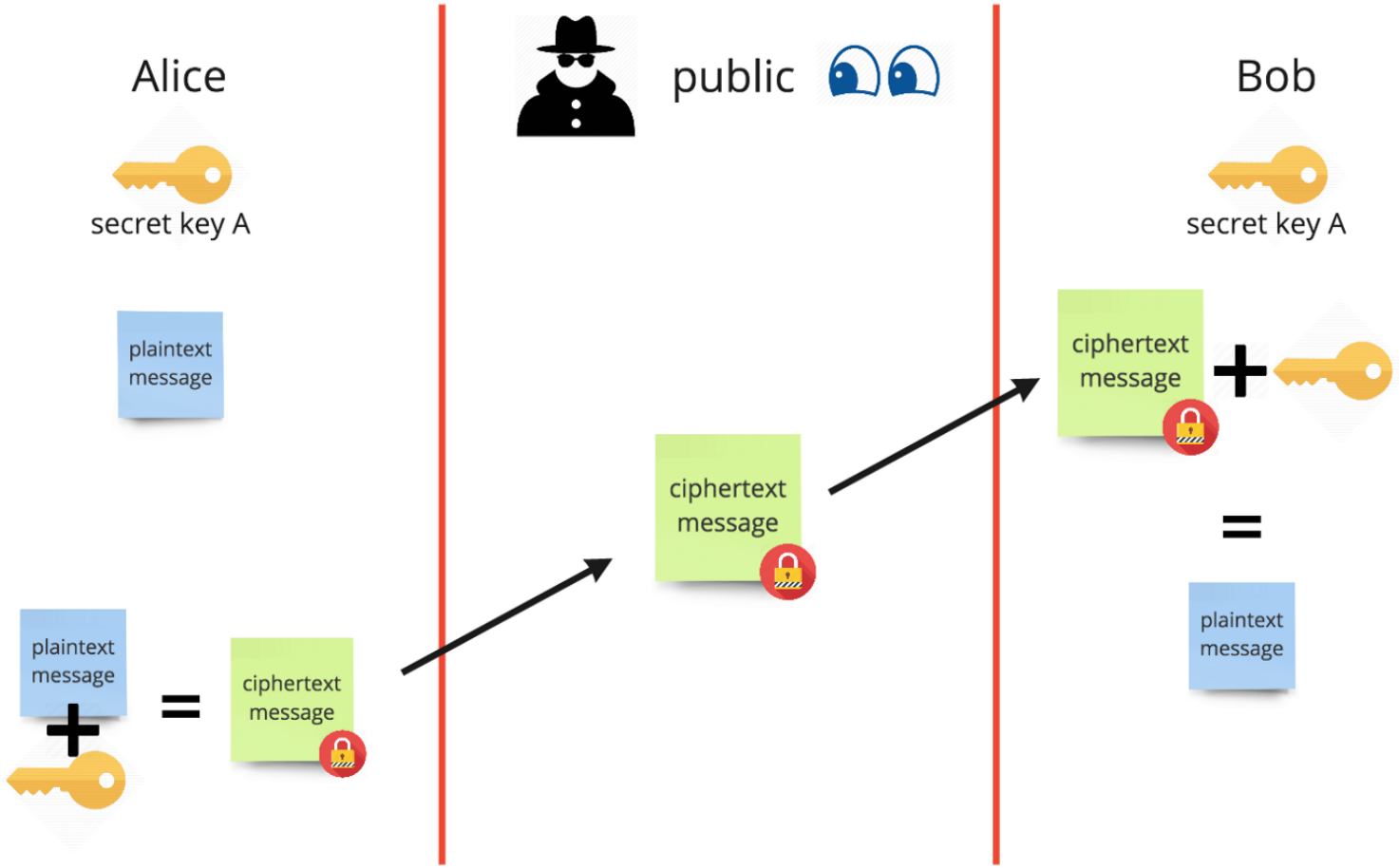
Шифрование


Passive intruder
only listens to C
Active intruder
can alter messages
Active intruder
can insert messages
Plaintext, P
Encryption
method
Encryption
key, E_K
Sender
Ciphertext
$C = E_K(P)$
Decryption
method
Plaintext
Decryption
key, D_K
Receiver

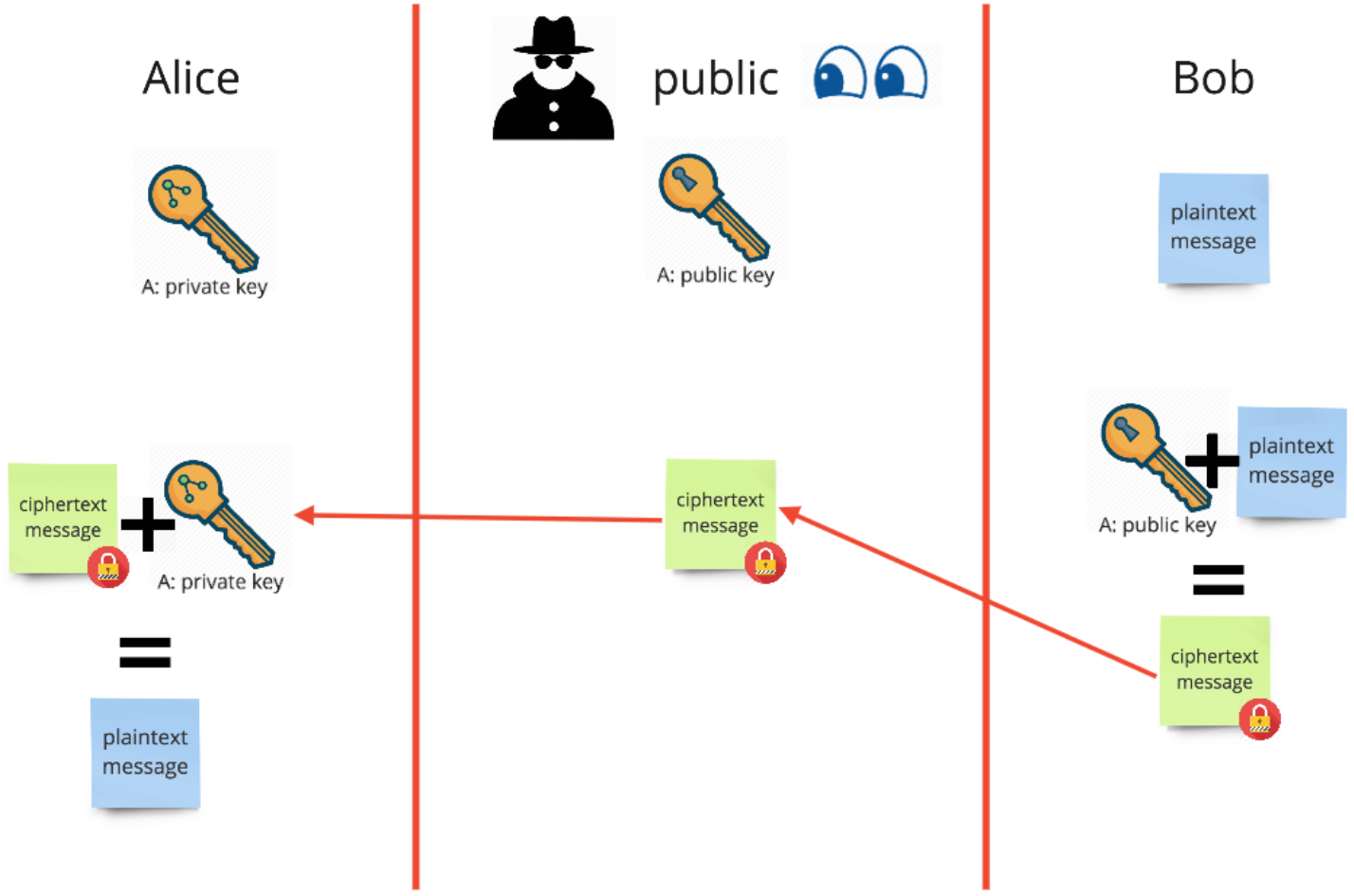
Шифрование

- Симметричное (secret-key, shared-key)
  - $P = D_K(E_K(P))$
  - $K_{A,B}$ - ключ, используемый A и B
  - Блочные шифры (DES, 3DES, TEA, IDEA, Blowfish, Twofish, AES)
  - Поточные шифры (RC4)
- Асимметричное (public-key)
  - $P = D_{K_D}(E_{K_E}(P))$
  - K_A^+ - открытый ключ A
  - K_A^- - закрытый (секретный) ключ A
  - Шифрование с открытым ключом (RSA, ElGamal, ECDSA)

Симметричное шифрование



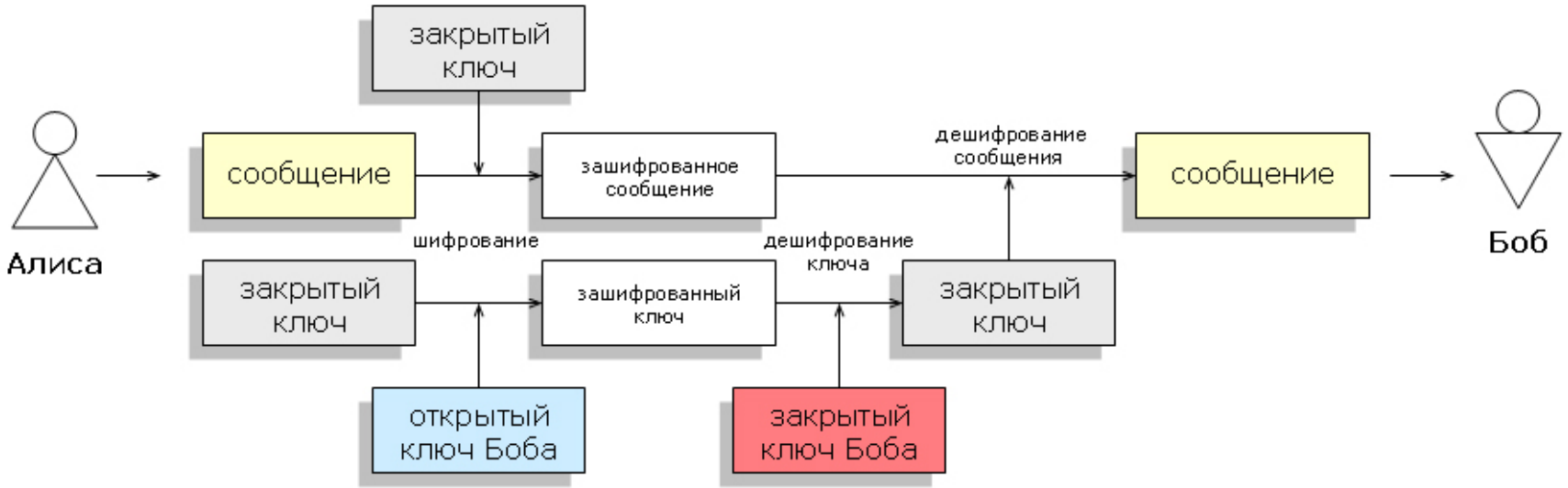
Шифрование с открытым ключом



Сравнение

- Симметричное шифрование
  - Требуется распространение ключа по защищенному каналу
  - Для каждой пары участников нужен отдельный ключ
  - В системе из N участников требуется $N(N-1)/2$ ключей
- Шифрование с открытым ключом
  - Требуется механизм распространения и проверки открытых ключей
  - В системе из N участников требуется N пар ключей
  - Более длинные ключи и большее время работы

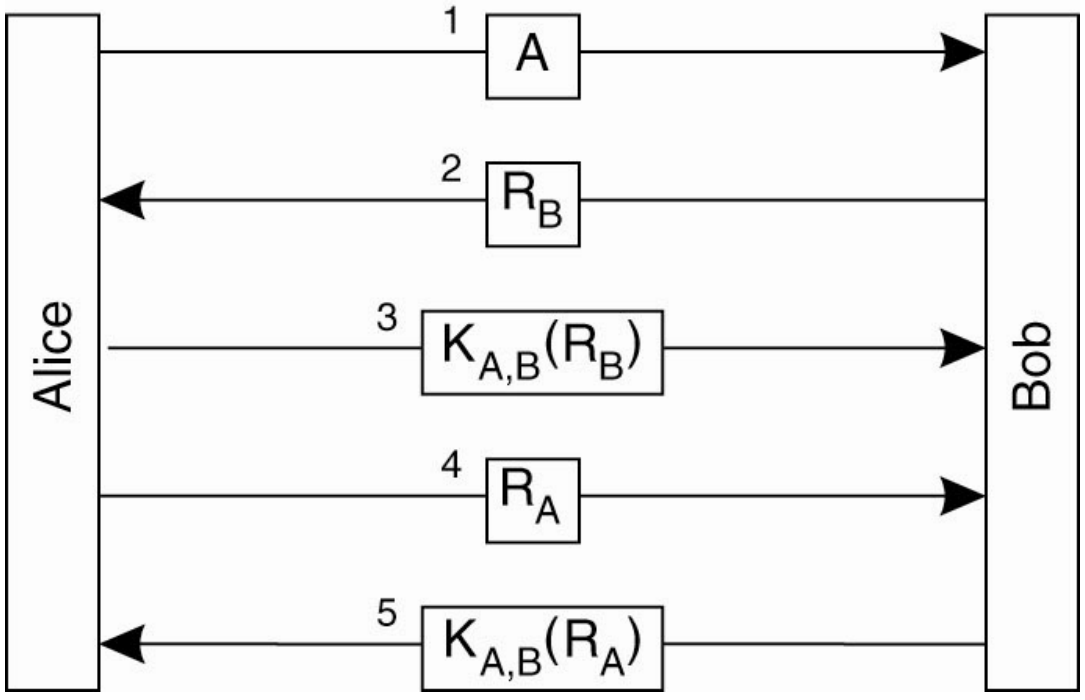
Гибридная схема



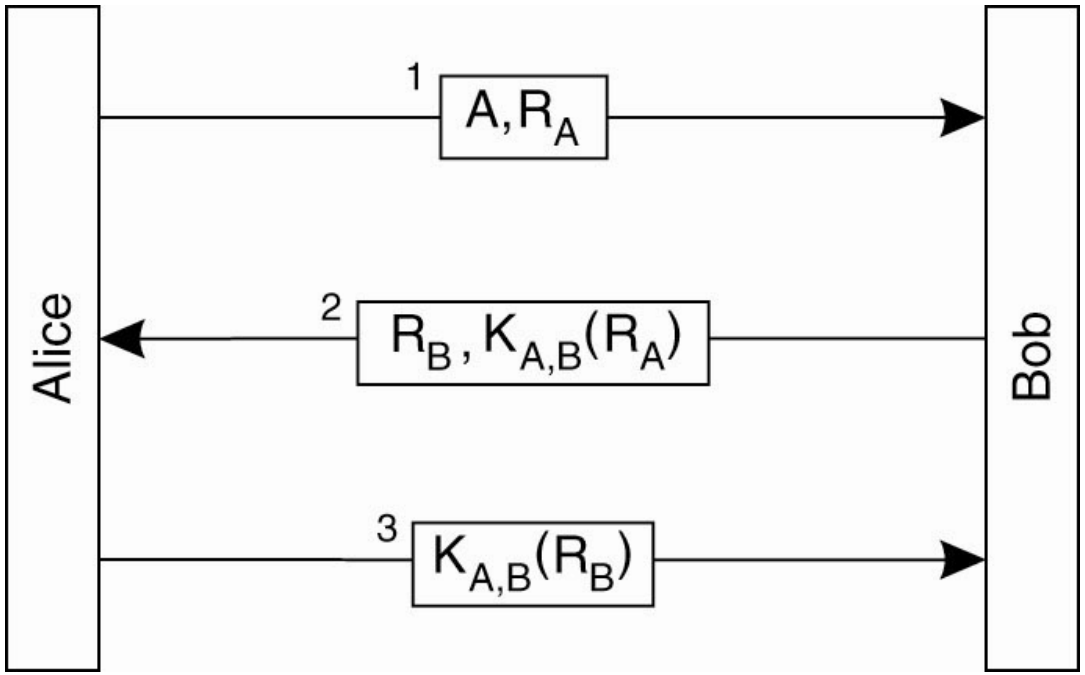
Аутентификация

- В начале взаимодействия стороны должны убедиться в подлинности друг друга
- После аутентификации между ними может быть установлен защищенный канал с использованием шифрования

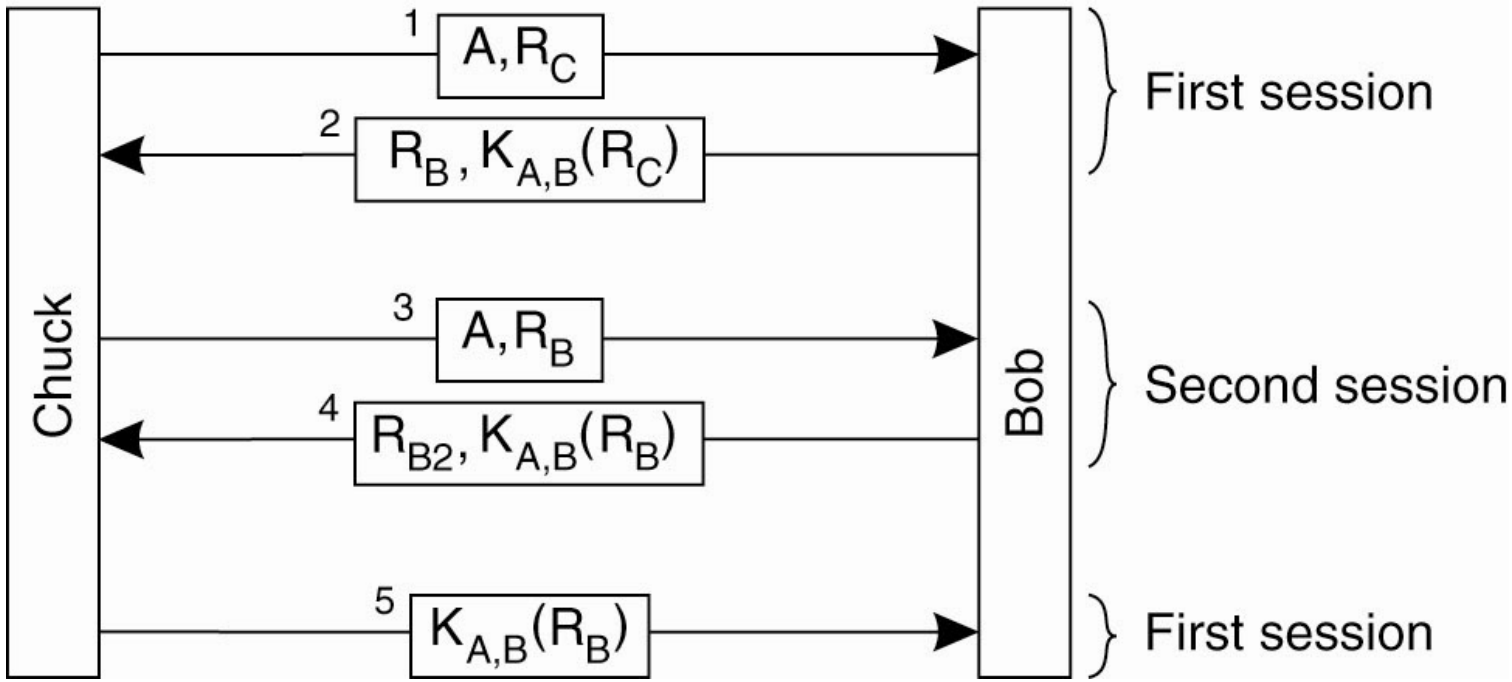
Аутентификация (shared key)



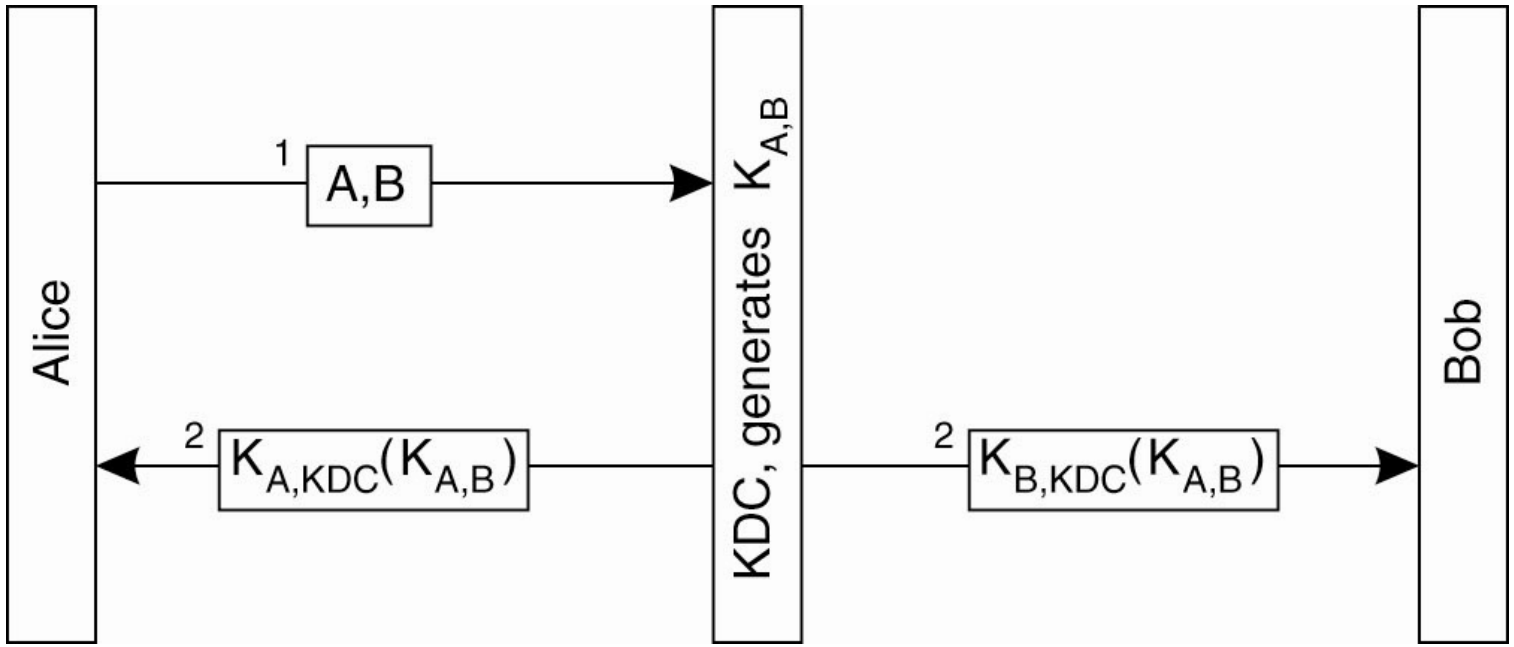
Оптимизация?



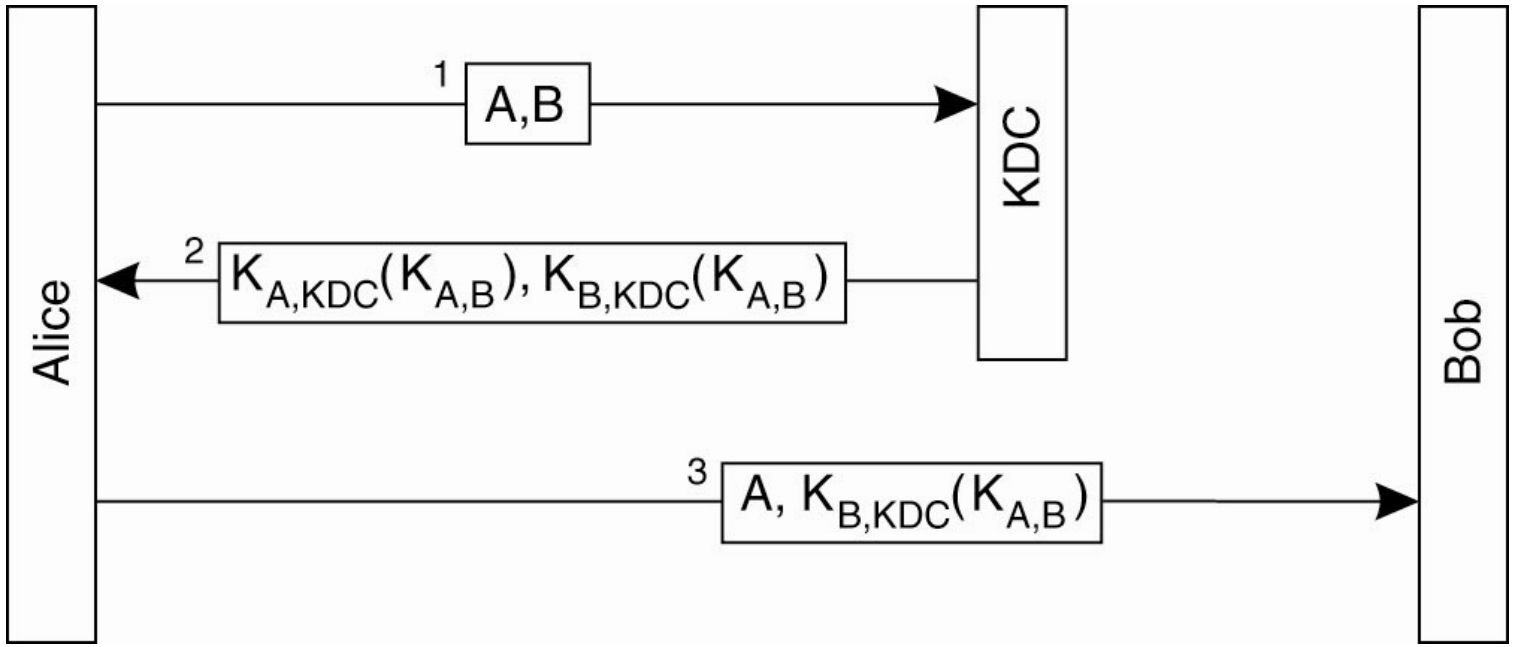
Reflection Attack



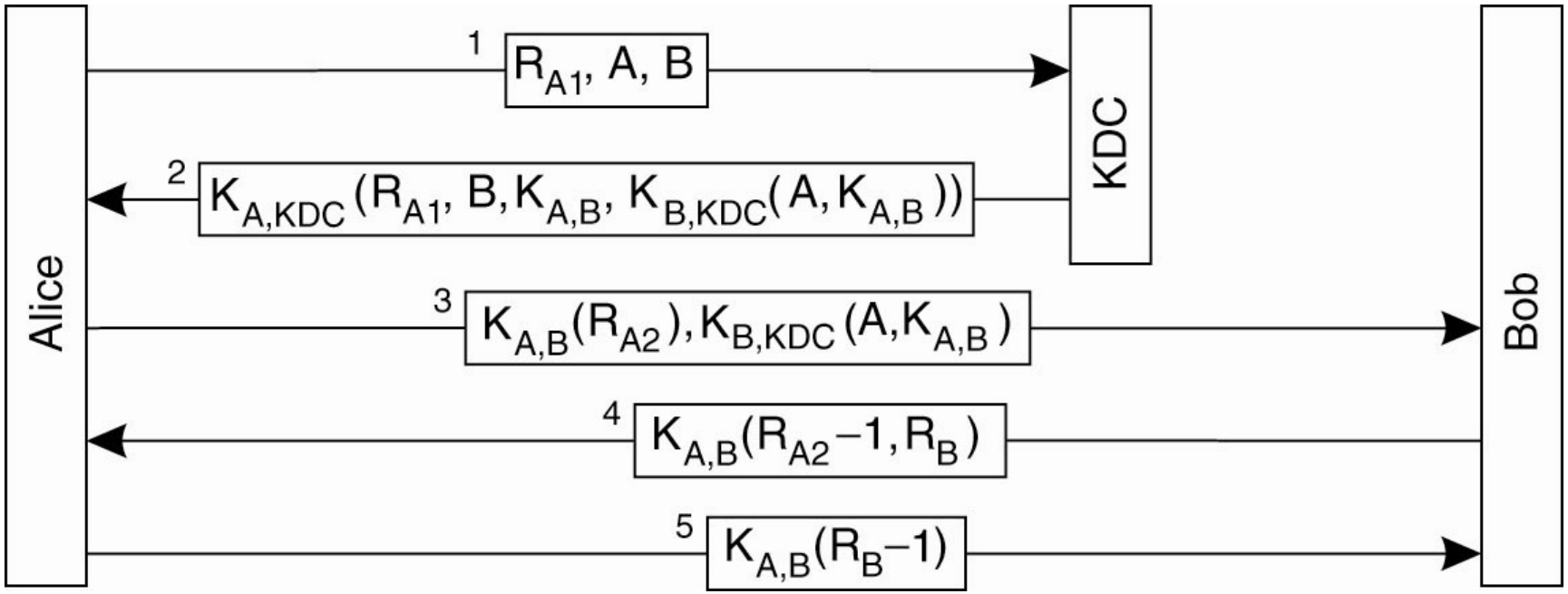
Key Distribution Center



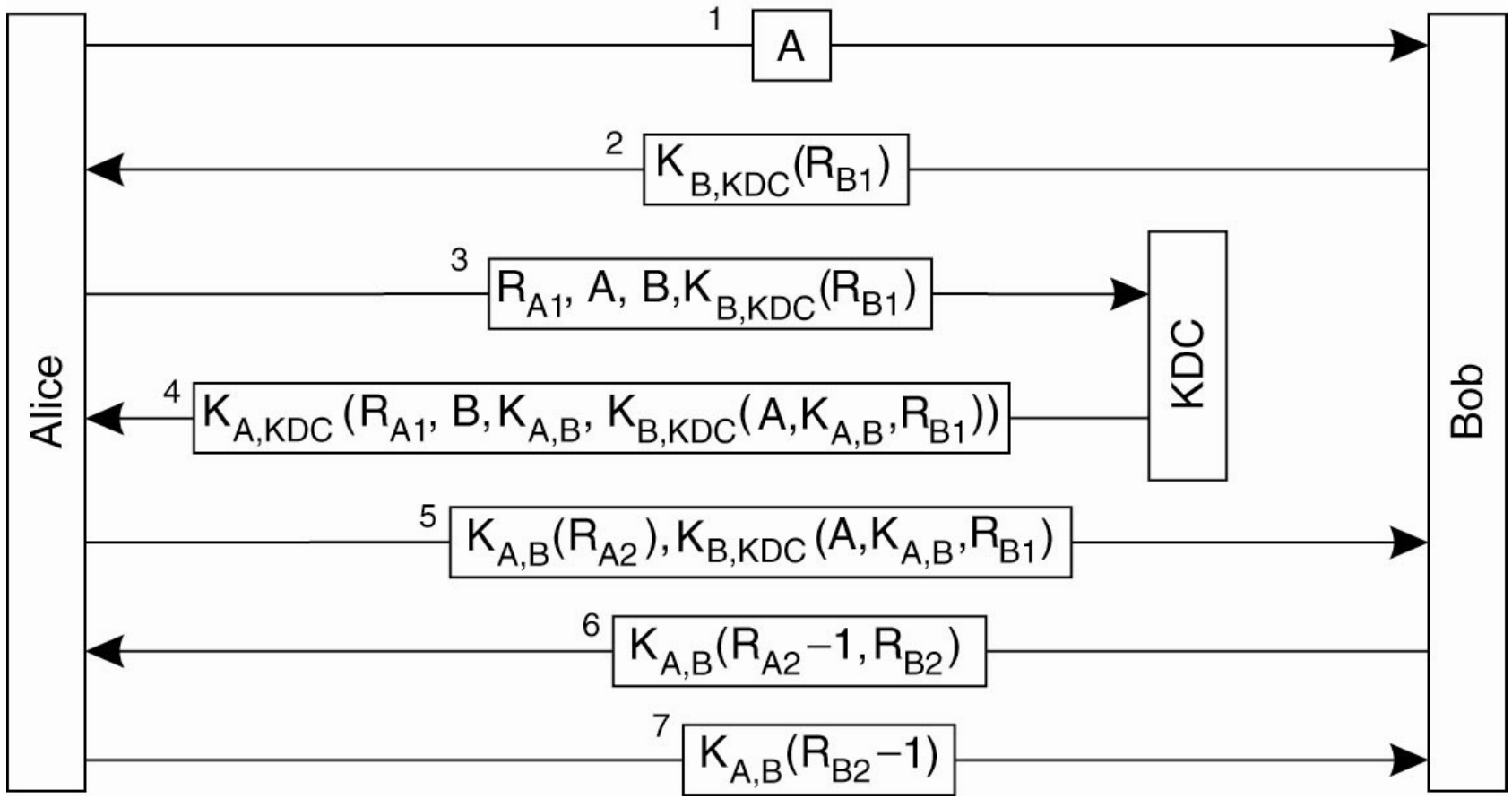
Key Distribution Center + Ticket



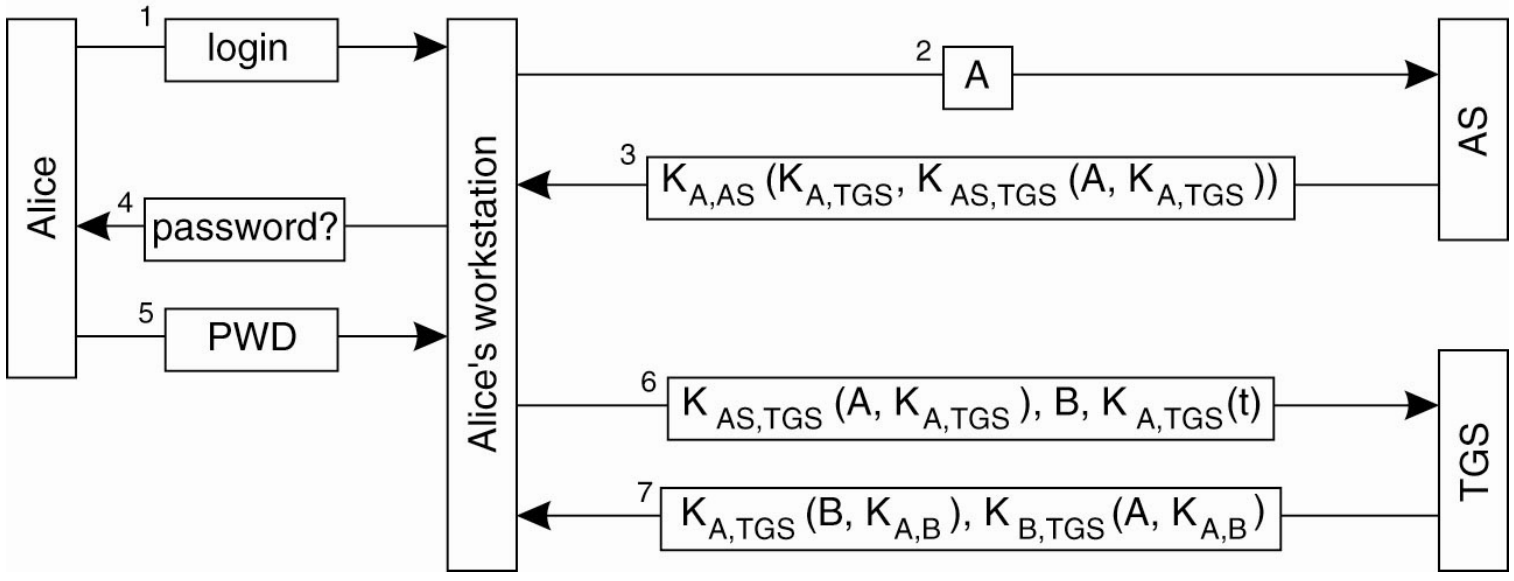
Протокол Нидхема-Шрёдера

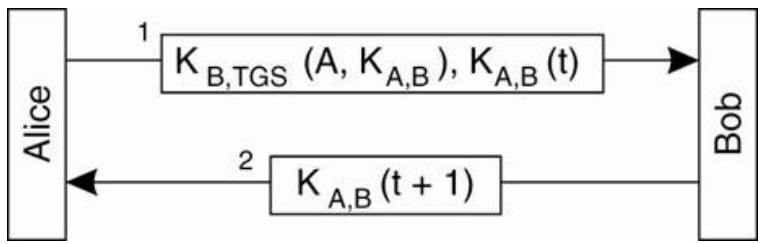


Протокол Нидхема-Шрёдера (fixed)

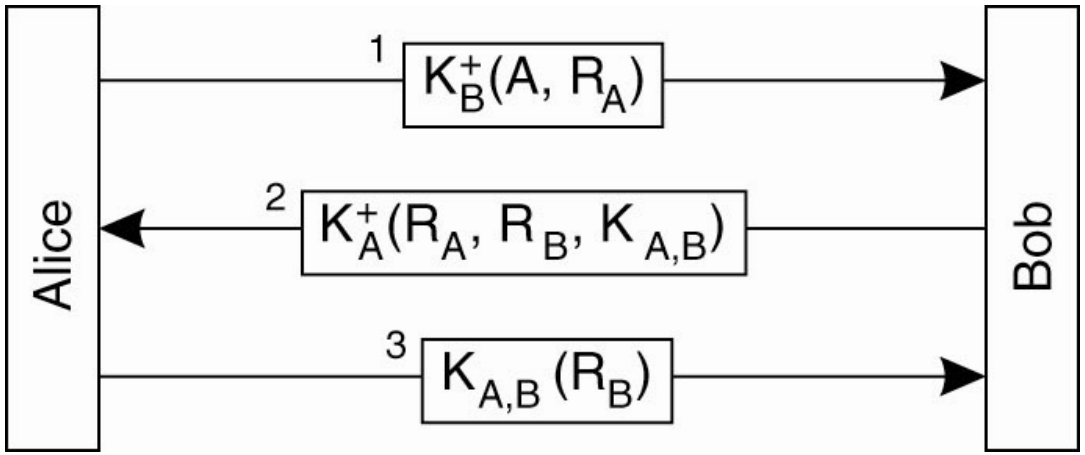


Single Sign-on (Kerberos)





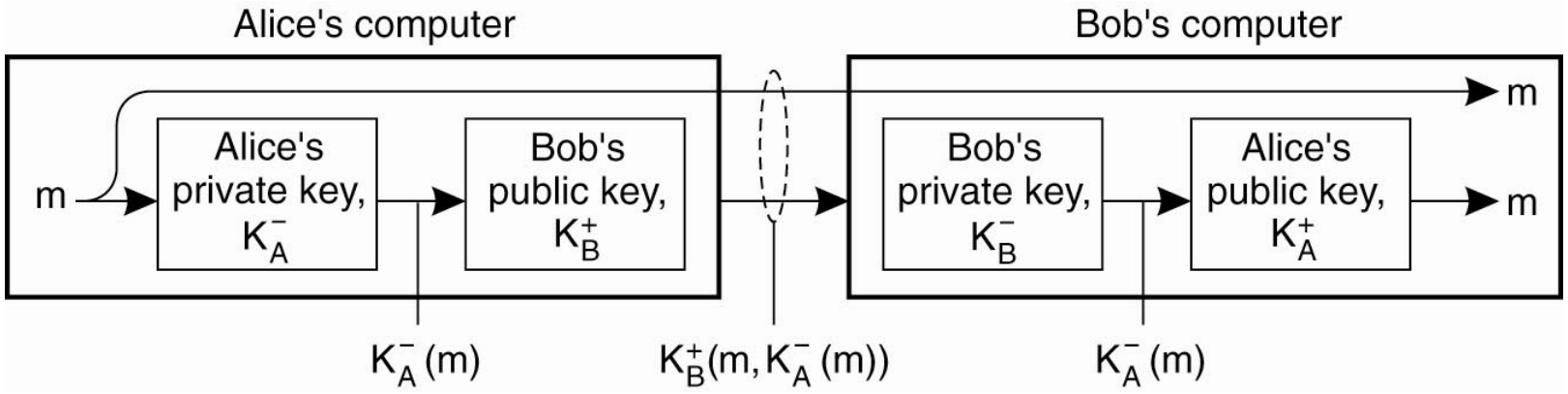
Аутентификация (public key)



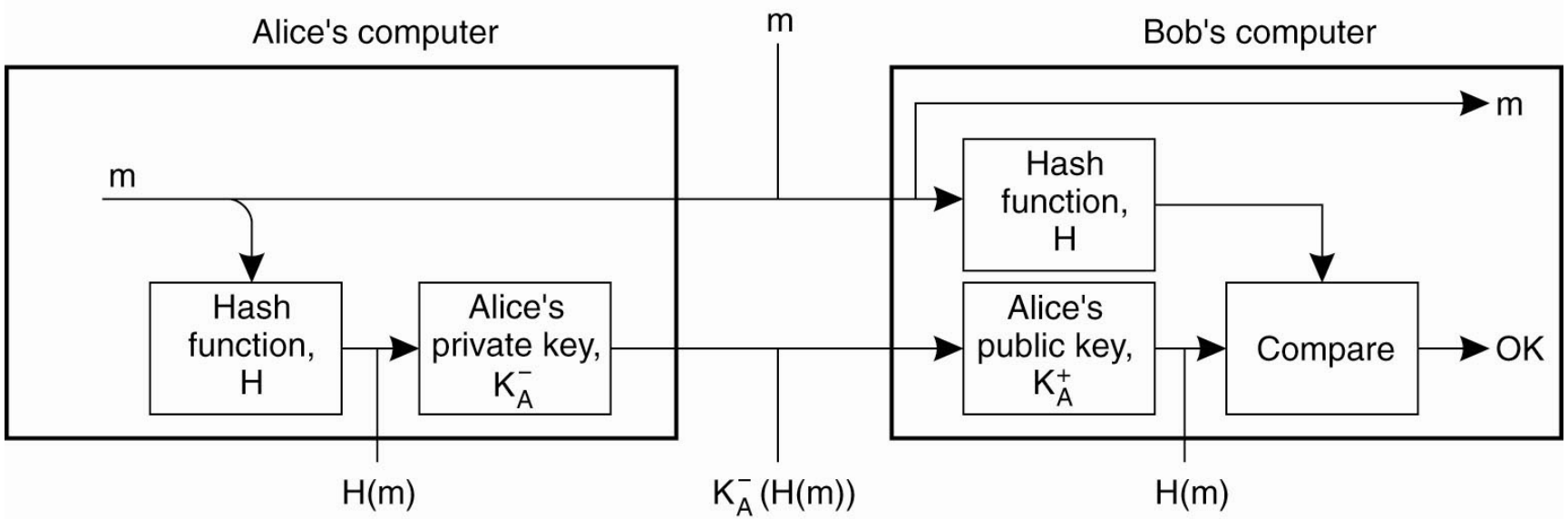
Цифровая подпись

- Как в процессе взаимодействия обеспечить
  - проверку подлинности сообщений
  - невозможность их фальсификации
  - невозможность отказа
- Для этого используются цифровые подписи

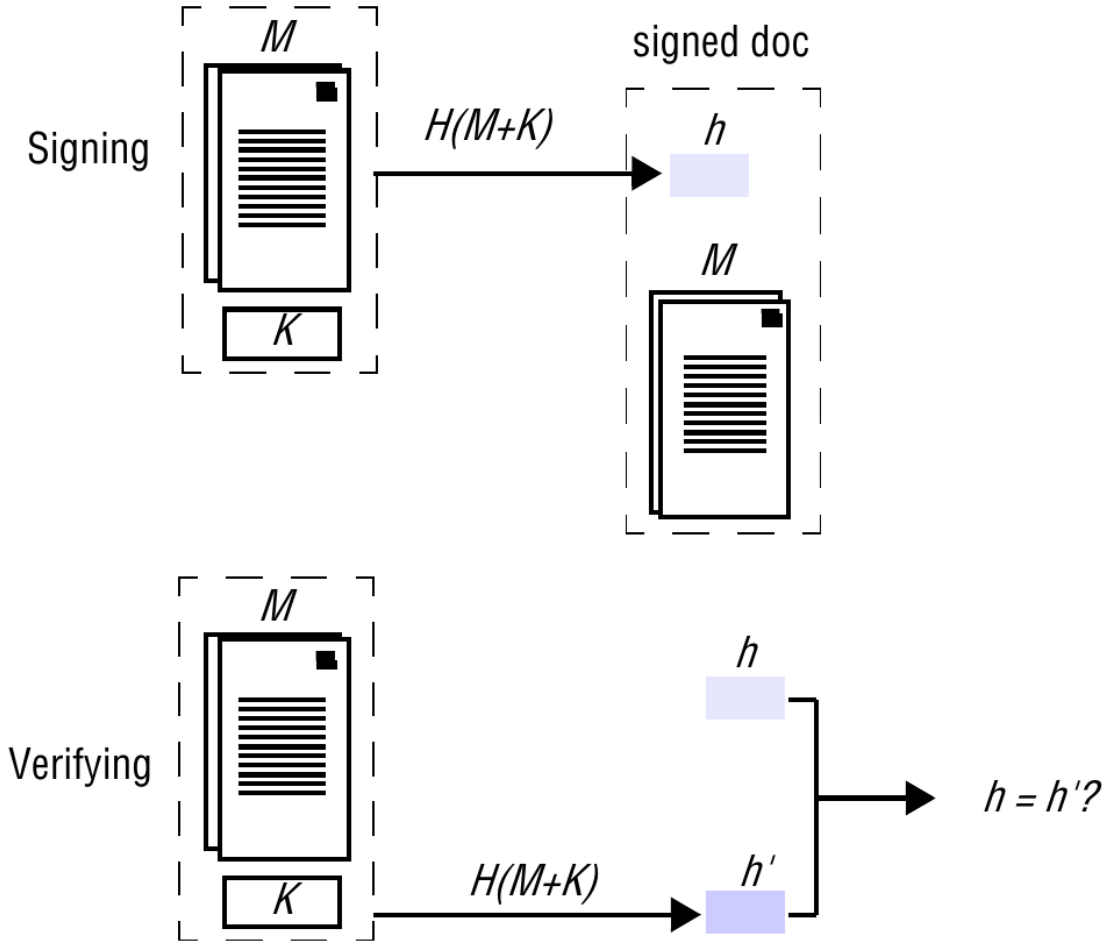
Подпись (шифр. с открытым ключом)



Подпись (message digest)



Message Authentication Code (MAC)



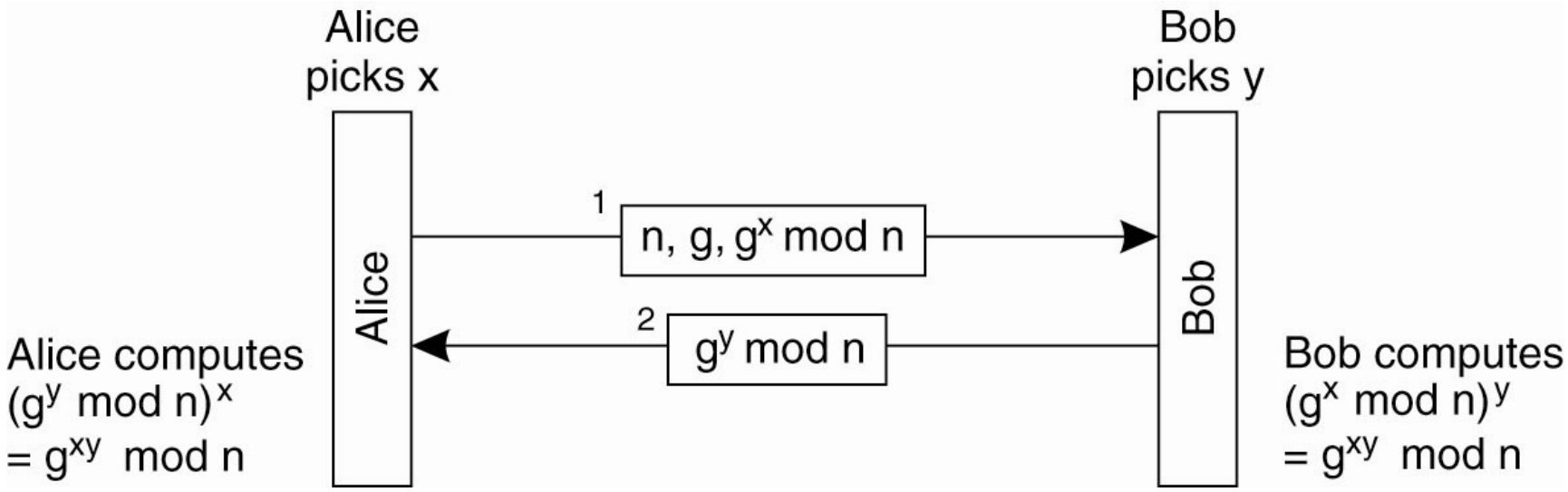
Хеширование

- Сообщение произвольной длины $\longrightarrow$ строка фиксированной длины
- Свойства криптографических хеш-функций
  - сопротивление поиску первого прообраза
  - сопротивление поиску второго прообраза
  - стойкость к коллизиям
- Примеры
  - MD5, SHA-1, bcrypt, Whirlpool, SHA-2, SHA-3

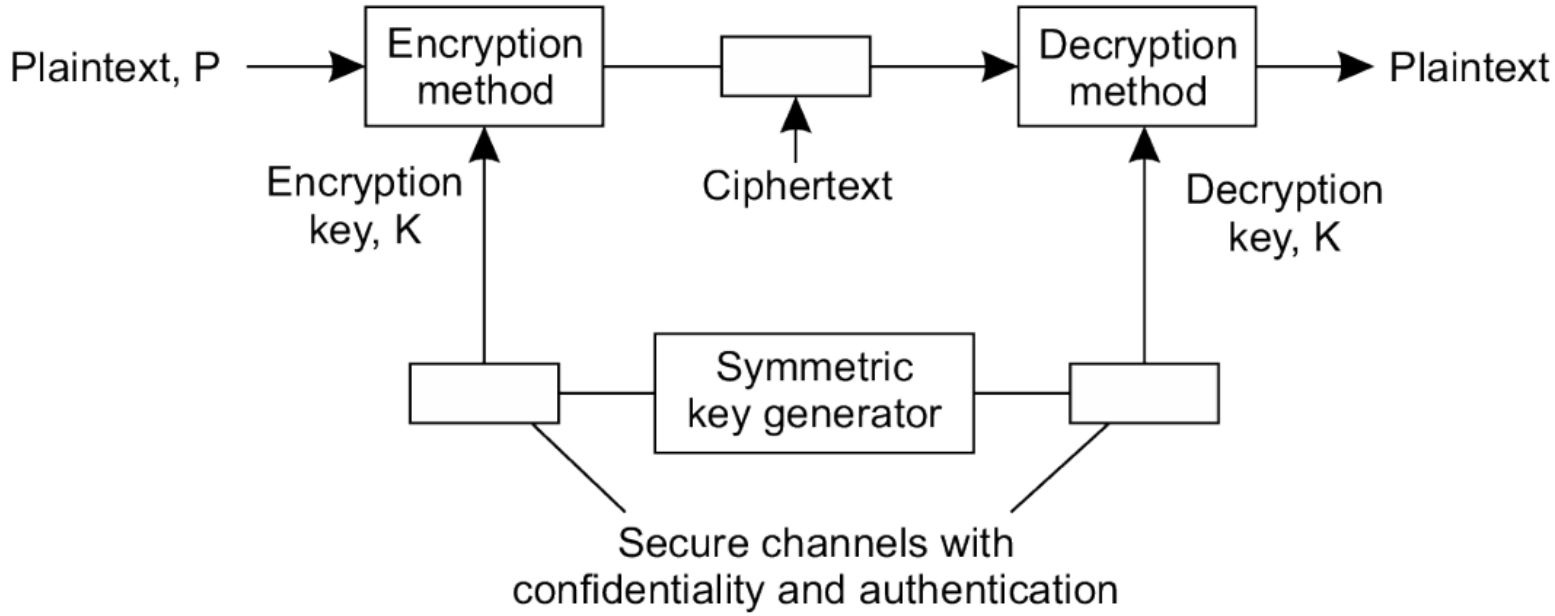
Управление ключами

- Как сторонам договориться об используемом ключе?
- Как убедиться в подлинности открытого ключа?
- Как уменьшить риски при компрометации ключа?

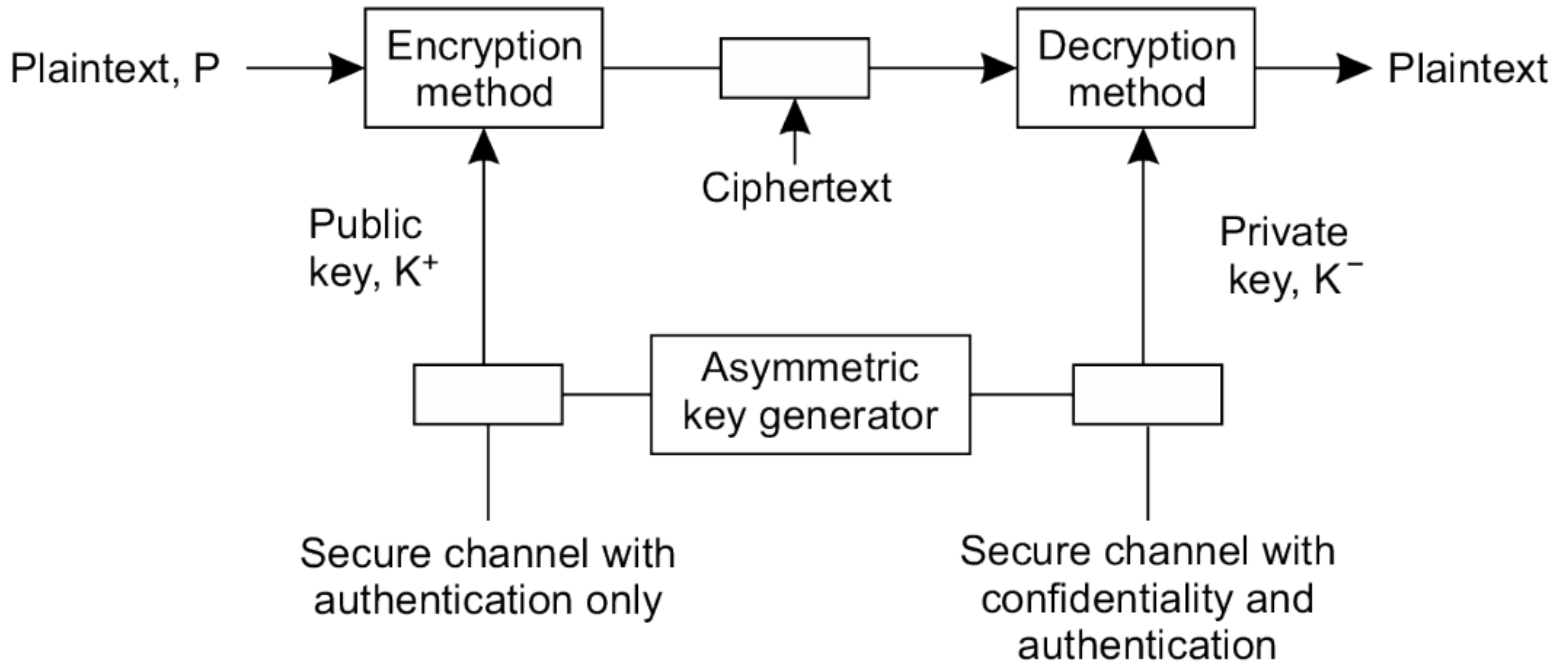
Получение общего ключа (Diffie-Hellman)



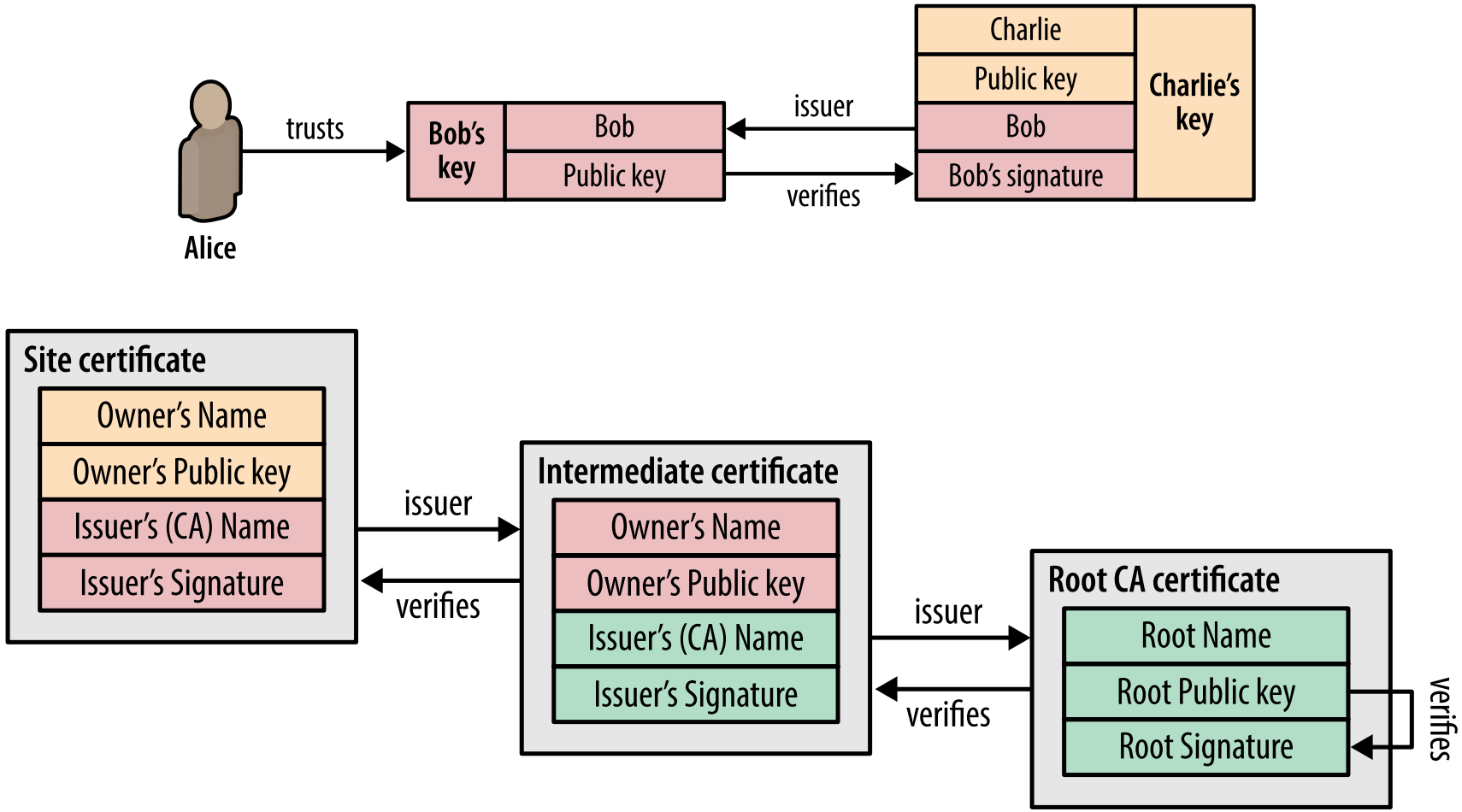
Распространение ключей (shared)



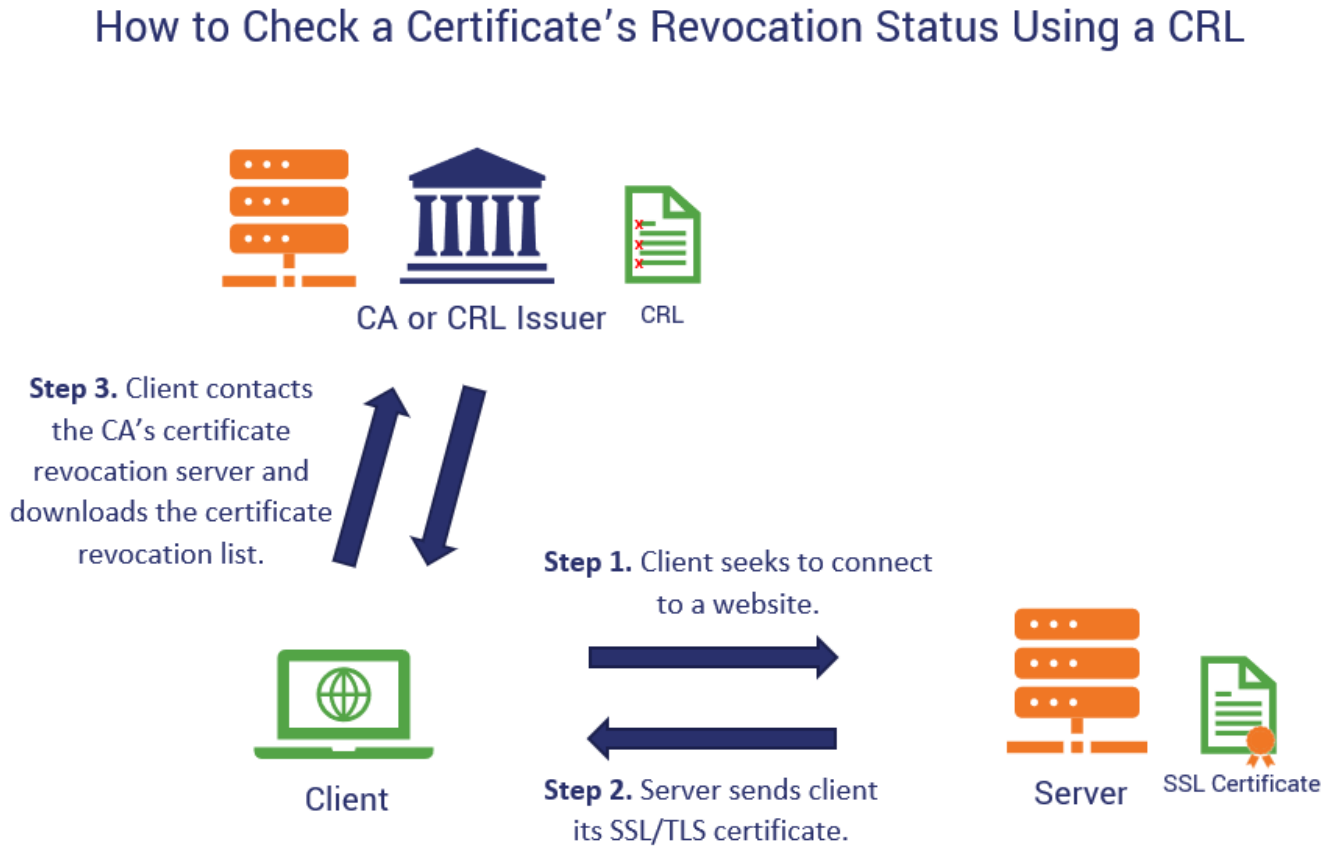
Распространение ключей (public/private)



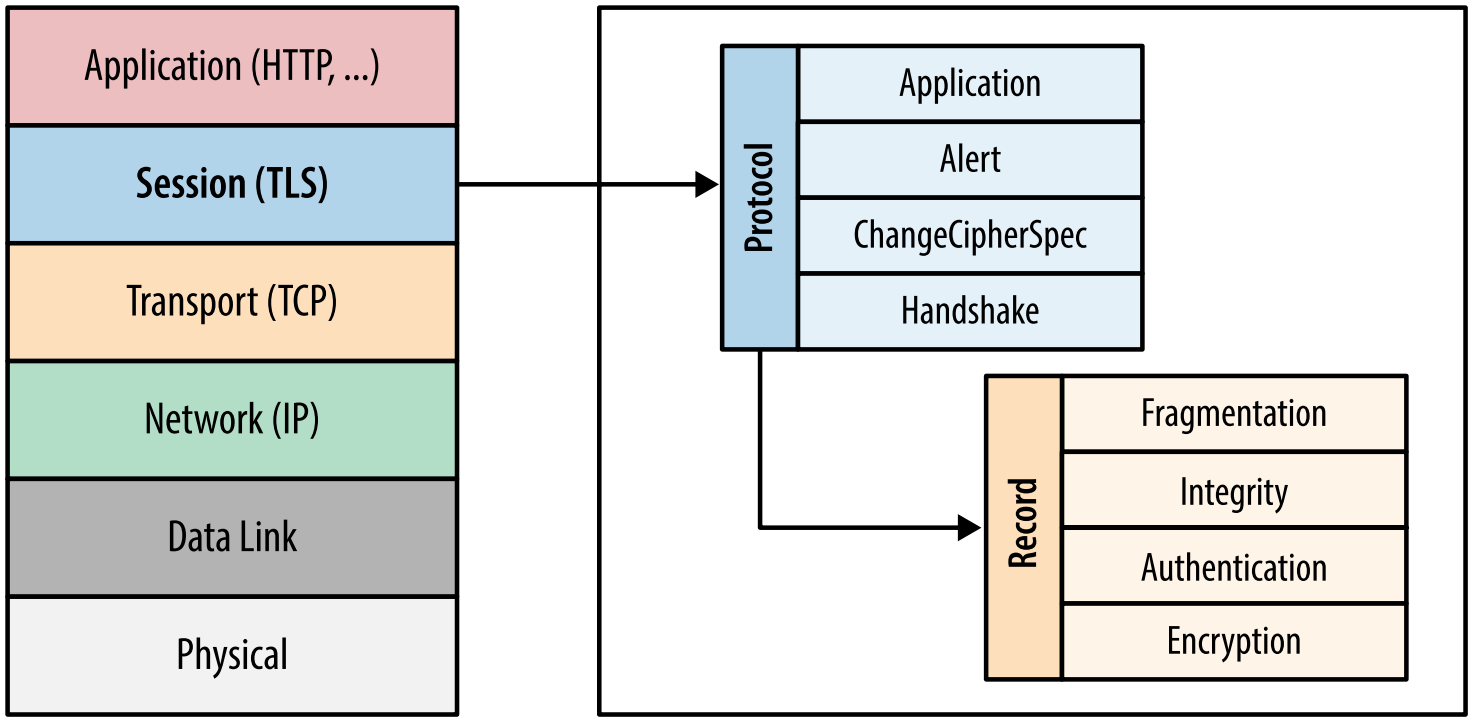
Цифровой сертификат



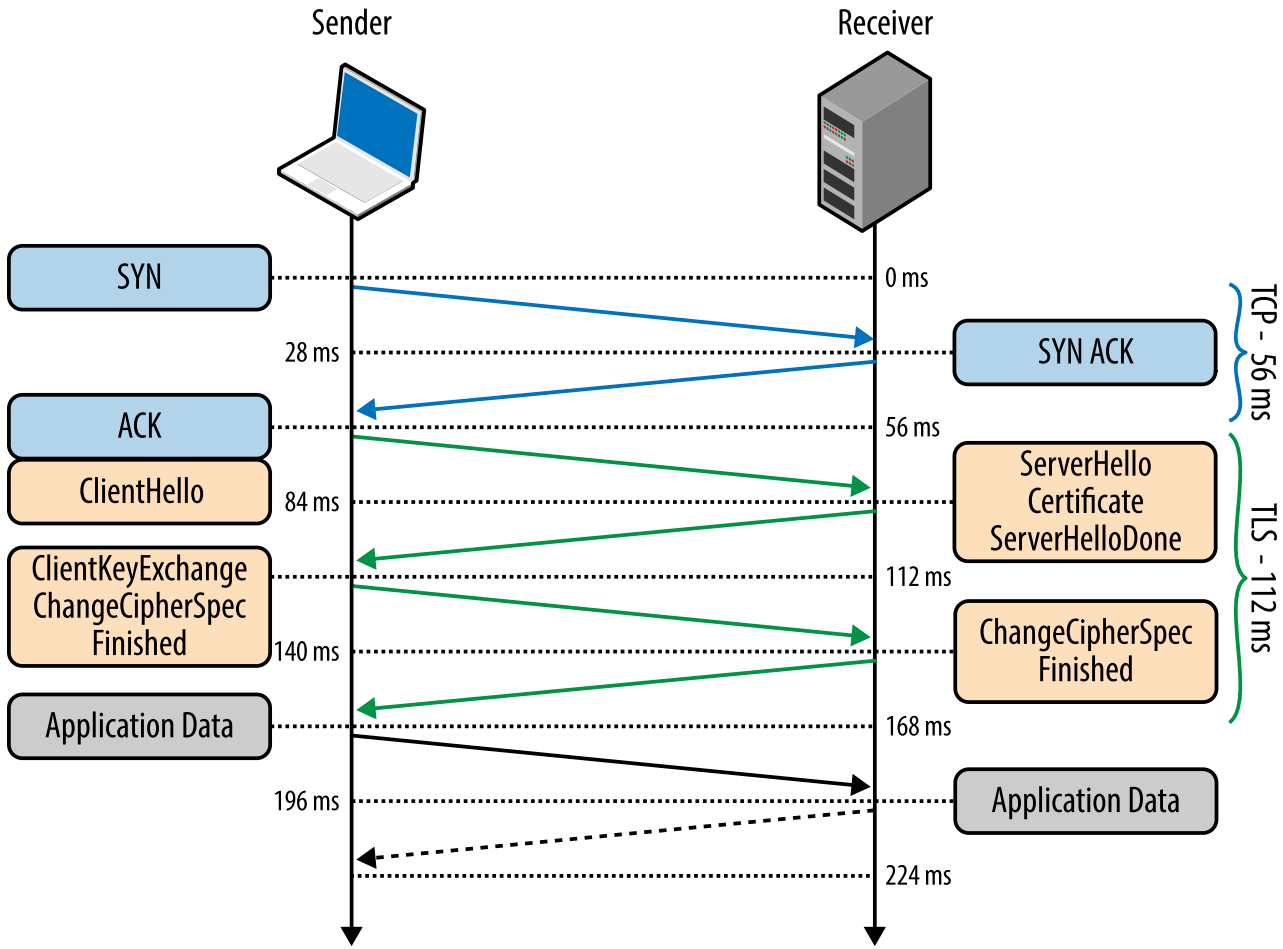
Отзыв сертификата



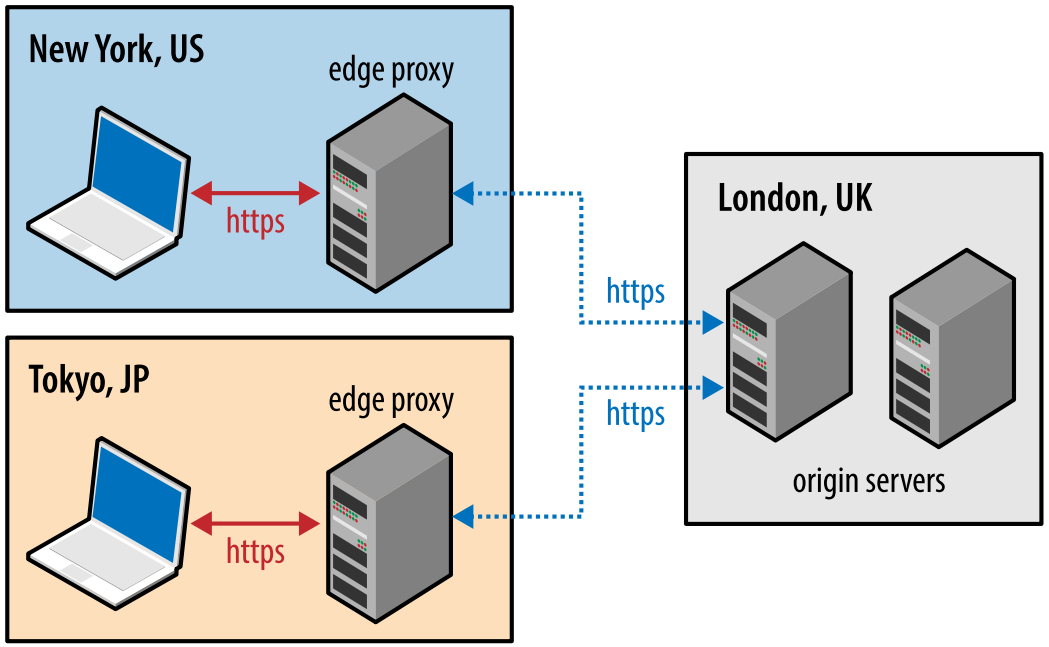
Протокол SSL/TLS



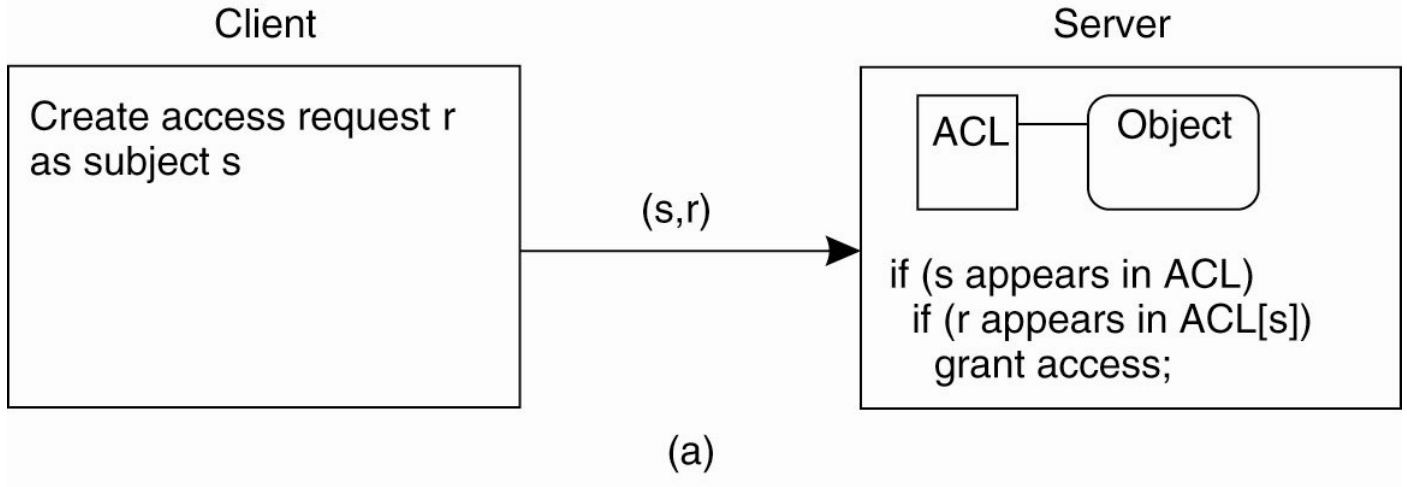
TLS Handshake



TLS Termination и CDN



Авторизация: ACL vs capabilities



Литература

- van Steen M., Tanenbaum A.S. Distributed Systems: Principles and Paradigms (глава 9)
- Coulouris G.F. et al. Distributed Systems: Concepts and Design (глава 11)
- Grigorik I. High Performance Browser Networking (глава 4)