Основы построения защищенных компьютерных сетей

Лекция 7
Криптографические протоколы. TLS

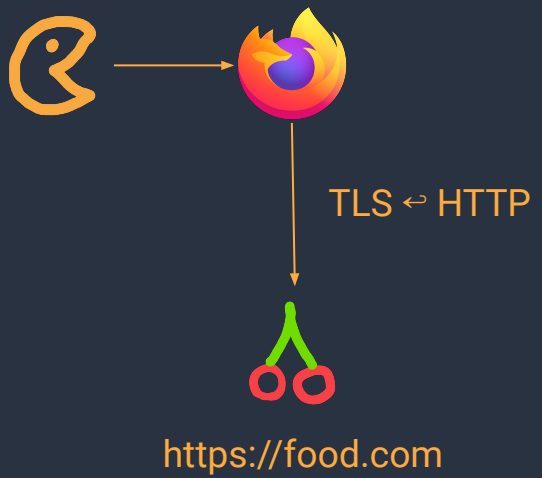
Семён Новосёлов

2021

БФУ имени И. Канта

Протокол TLS (Transport Layer Security)

- Широко используемый протокол для защищенной передачи данных между узлами
- Подключение к большинству сайтов в настоящее время осуществляется по TLS



Версии TLS/SSL

SSL (Secure Sockets Layer)

- SSLv1: взломан сразу же после появления
- SSLv2: устарел (RFC6176), имеет слабости
  - использование MD5
  - атаки MiTM с навязыванием слабых наборов шифров
- SSLv3: взломан (POODLE + атаки на RC4)

TLS (Transport Layer Security) — стандартизованная версия SSL

- TLS 1.0 / TLS 1.1: устарели (RFC8996)
- TLS 1.2: безопасность зависит от набора шифров и мер защиты у клиента
- TLS 1.3: действующая версия

Криптоалгоритмы в TLS

- Цифровые подписи для проверки подлинности сервера
- Протокол Диффи-Хеллмана для выработки общего ключа
- Симметричное шифрование с выработанным общим ключа для защиты данных
- Хэш-функции для проверки целостности сообщений

Схема работы

1. Установка соединения (handshake)
   1.1. Согласование наборов криптоалгоритмов
   1.2. Проверка подлинности сторон
   1.3. Выработка сессионного ключа
2. Передача данных
   2.1. С шифрованием данных по сессионному ключу

Установка соединения (handshake)

1. Клиент подключается к серверу и посылает список поддерживаемых криптоалгоритмов:
    1.1. цифровые подписи
    1.2. хэш-функции
    1.3. симметричные шифры
    1.4. схемы обмена ключами
2. Сервер выбирает набор криптоалгоритмов и уведомляет клиента о выбранном наборе

Пример

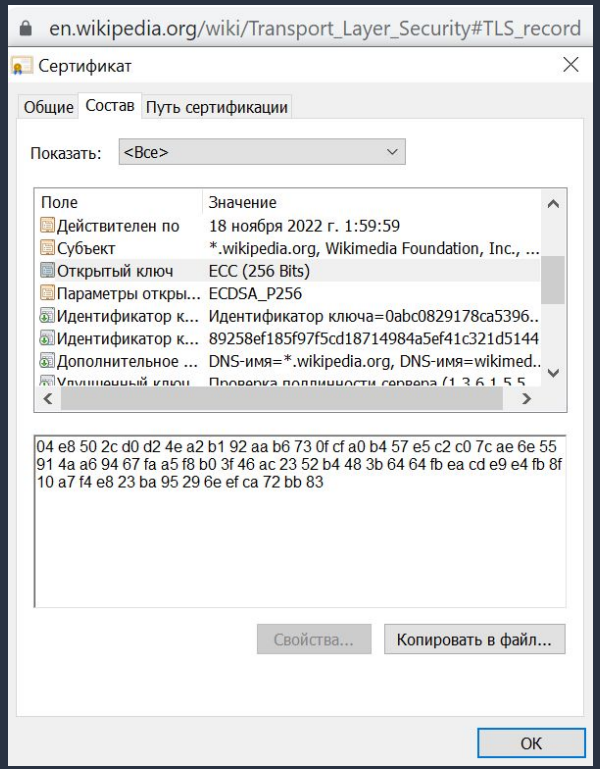
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Lengt	Info
303	18.844421	192.168.1.34	dyna.wikimedia.org	TCP	66	2052 → 443 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS
305	18.920772	dyna.wikimedia.org	192.168.1.34	TCP	66	443 → 2052 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=4234
306	18.920826	192.168.1.34	dyna.wikimedia.org	TCP	54	2052 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=132096 Le
307	18.921119	192.168.1.34	dyna.wikimedia.org	TLSv1.3	571	Client Hello
308	18.996146	dyna.wikimedia.org	192.168.1.34	TCP	54	443 → 2052 [ACK] Seq=1 Ack=518 Win=41984 L
309	18.997409	dyna.wikimedia.org	192.168.1.34	TLSv1.3	1414	Server Hello, Change Cipher Spec, Applicat
310	18.997593	dyna.wikimedia.org	192.168.1.34	TCP	1414	443 → 2052 [ACK] Seq=1361 Ack=518 Win=4249
311	18.997593	dyna.wikimedia.org	192.168.1.34	TLSv1.3	1182	Application Data, Application Data, Appli

```
    Cipher Suites Length: 32
  ▾ Cipher Suites (16 suites)
      Cipher Suite: Reserved (GREASE) (0x6a6a)
      Cipher Suite: TLS_AES_128_GCM_SHA256 (0x1301)
      Cipher Suite: TLS_AES_256_GCM_SHA384 (0x1302)
      Cipher Suite: TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256 (0x1303)
      Cipher Suite: TLS_ECDHE_ECDSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256 (0xc02b)
      Cipher Suite: TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256 (0xc02f)
      Cipher Suite: TLS_ECDHE_ECDSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384 (0xc02c)
```

Handshake. Сертификаты

3. Сервер также посылает свой сертификат:
   имя сервера + открытый ключ сервера + имя центра сертификации (CA) + подпись (CA)
4. Клиент проверяет полученный сертификат, используя встроенную базу ключей CA

Пример. Сертификат Википедии

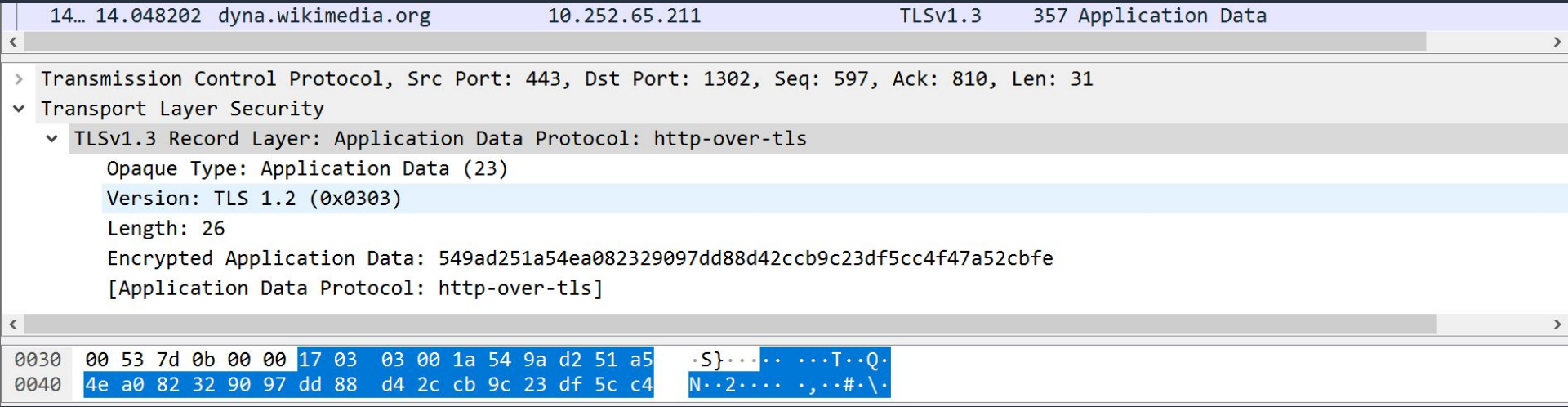


Handshake. Выработка сессионного ключа

4. Если сертификат сервера действителен ⇒ выполняется один из вариантов:
   4.1. клиент и сервер вырабатывают сессионный ключ по протоколу Диффи-Хеллмана
   4.2. клиент выбирает случайное число ⇒ шифрует его по открытому ключу сервера ⇒ посылает серверу ⇒ сессионный ключ вырабатывается на основе случайного числа

Передача данных

- После выработки общего сессионного ключа данные передаются с использованием симметричного шифрования.



Уязвимости и атаки в SSL/TLS

- POODLE (CVE-2014-3566)
- Hearbleed (CVE-2014-0160)
- Logjam (CVE-2015-4000)
- DROWN (CVE-2016-0800)
- Cloudbleed (2017)
- ...

Уязвимость Heartbleed (утечка памяти)

Где?

OpenSSL: широко распространенная библиотека

Кого затронуло?

- Yandex
- Google
- банковские сайты
- (всех)

Что утекает?

кусочки по 64 Кб из зашифрованных соединений

TLS. Расширение Heartbeat

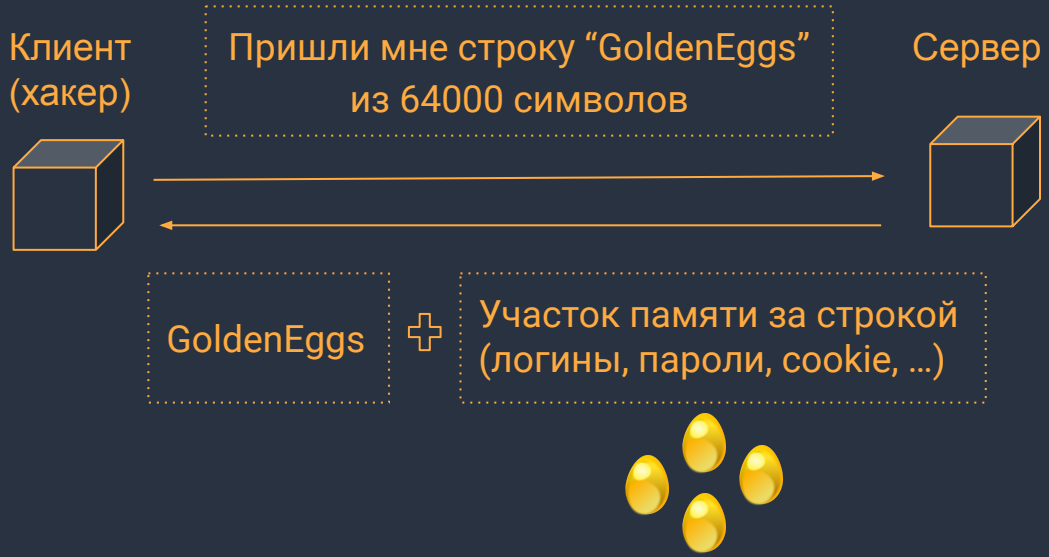
Появление: февраль 2012 года

Функция: поддержание соединения в открытом состоянии (keep-alive)

Принцип работы:

- периодически посылаются пакеты с текстовой строкой
- сервер посылает в ответ пакет с той же самой строкой

Схема уязвимости



Уязвимый код

считывание размера полезной нагрузки из пришедшего пакета

```
unsigned int payload;
unsigned int padding = 16; /* Use minimum padding */
/* Read type and payload length first */
hbtype = *p++;
n2s(p, payload);
pl = p;
//...
/* Allocate memory for the response, size is 1 byte
 * message type, plus 2 bytes payload length, plus
 * payload, plus padding */
buffer = OPENSSL_malloc(1 + 2 + payload + padding);
bp = buffer;
```

```
/* Enter response type, length and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RESPONSE;
s2n(payload, bp);
memcpy(bp, pl, payload);
bp += payload;
/* Random padding */
RAND_pseudo_bytes(bp, padding);
r = dtls1_write_bytes(s, TLS1_RT_HEARTBEAT, buffer, 3
+ payload + padding);
```

Уязвимый код

выделение памяти под ответный пакет.
Ошибка: нет проверки входных данных (payload).

```
unsigned int payload;
unsigned int padding = 16; /* Use minimum padding */
/* Read type and payload length first */
hbtype = *p++;
n2s(p, payload);
pl = p;
//...
/* Allocate memory for the response, size is 1 byte
 * message type, plus 2 bytes payload length, plus
 * payload, plus padding */
buffer = OPENSSL_malloc(1 + 2 + payload + padding);
bp = buffer;
```

```
/* Enter response type, length and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RESPONSE;
s2n(payload, bp);
memcpy(bp, pl, payload);
bp += payload;
/* Random padding */
RAND_pseudo_bytes(bp, padding);
r = dtls1_write_bytes(s, TLS1_RT_HEARTBEAT, buffer, 3
+ payload + padding);
```

Уязвимый код

копирование присланной нагрузки Heartbeat в пакет-ответ
Ошибка: если прислать меньше данных, чем указано в payload, то копируются данные в памяти, лежащие после buffer

```
unsigned int payload;
unsigned int padding = 16; /* Use minimum padding */
/* Read type and payload length first */
hbtype = *p++;
n2s(p, payload);
pl = p;
//...
/* Allocate memory for the response, size is 1 byte
 * message type, plus 2 bytes payload length, plus
 * payload, plus padding */
buffer = OPENSSL_malloc(1 + 2 + payload + padding);
bp = buffer;
```

```
/* Enter response type, length and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RESPONSE;
s2n(payload, bp);
memcpy(bp, pl, payload);
bp += payload;
/* Random padding */
RAND_pseudo_bytes(bp, padding);
r = dtls1_write_bytes(s, TLS1_RT_HEARTBEAT, buffer, 3
+ payload + padding);
```

Уязвимый код

Формирование выходного пакета для последующей отправки данных

```
unsigned int payload;
unsigned int padding = 16; /* Use minimum padding */
/* Read type and payload length first */
hbtype = *p++;
n2s(p, payload);
pl = p;
//...
/* Allocate memory for the response, size is 1 byte
 * message type, plus 2 bytes payload length, plus
 * payload, plus padding */
buffer = OPENSSL_malloc(1 + 2 + payload + padding);
bp = buffer;
```

```
/* Enter response type, length and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RESPONSE;
s2n(payload, bp);
memcpy(bp, pl, payload);
bp += payload;
/* Random padding */
RAND_pseudo_bytes(bp, padding);
r = dtls1_write_bytes(s, TLS1_RT_HEARTBEAT,
buffer, 3 + payload + padding);
```

Что может утечь?

- секретные ключи TLS
- cookies
- логины
- пароли
- куски писем
- любые другие данные, которыми обменивается сервер и его клиенты

Уязвимость двусторонняя: сервер тоже может читать данные клиента

Исправление

```
if (1 + 2 + payload + 16 > s->s3->rrec.length)
    return 0; /* silently discard per RFC 6520 sec. 4
*/
```

Добавление проверки с фактически полученным размером данных

Как избежать подобных ошибок?

Очевидно: проверять корректность всех полученных извне данных.

Выполнять аудит кода с помощью инструментов статического и динамического анализа кода.

Статический анализ

Проверка исходного кода без запуска программы.

Недостатки: Много ложных срабатываний и много времени тратится на анализ отчётов.

Инструменты:

cppcheck

Динамический анализ кода

Анализ запущенной программы.

Для нахождения ошибок может использоваться следующая связка:

Фаззеры

Valgrind (Memcheck)

Google Address/Memory Sanitizer

генерация и отправка мусорных данных на вход программы

детектирование ошибок

Литература и ссылки

- Kenny Paterson. “TLS: A Real-World Secure Channel Protocol” http://cyber.biu.ac.il/wp-content/uploads/2018/02/lecture1-3.pdf