



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Criptosistemas en aplicaciones de mensajería

**Trabajo de fin de grado Doble grado en Ingeniería
Informática y Matemáticas**

Autor

Luis Tormo Fabios

Director

Pedro A. García Sánchez

—
Granada, mes de 201

Índice general

1. Introducción:	1
1.1. Cifrado a extremo a extremo	1
2. Criptografía y Curvas Elípticas:	3
2.1. Introducción a la criptografía	3
2.1.1. Cifrado y secreto	3
2.1.2. Objetivos de la criptografía	4
2.1.3. Ataques	4
2.2. El algoritmo Rijndael AES	5
2.2.1. Cifrados de bloque	5
2.2.2. Estructura de AES	5
2.2.3. Elementos de AES	6
2.2.4. Las Rondas de AES	7
2.2.5. Cálculo de las Subclaves	9
3. Aplicaciones de Mensajería	11
3.1. Telegram (MTPROTO)	11
3.1.1. Descripción general	11
3.1.2. Resumen de los componentes	12
3.1.3. Modelo de seguridad	14
3.1.4. Funcionamiento del protocolo	14
Bibliografía	19

Capítulo 1

Introducción:

Tengo que hablar de que va a ir el TFG
Introducir al cifrado extremo a extremo
Historia del cifrado

1.1. Cifrado a extremo a extremo

El cifrado extremo a extremo es un sistema de comunicación en el cual solo pueden leer los mensajes aquellos usuarios que se están comunicando evitando incluso su decodificación por parte de proveedores de telecomunicaciones, proveedores de internet y el propio servicio de comunicación

Capítulo 2

Criptografía y Curvas Elípticas:

En este capítulo se introducirá la teoría sobre criptografía y curvas elípticas necesaria para entender la base detrás de los criptosistemas de las aplicaciones de mensajería.

2.1. Introducción a la criptografía

Mayormente la información de este apartado ha sido obtenida de [5]

2.1.1. Cifrado y secreto

- \mathcal{M} el conjunto de los mensajes, textos en claro o *plaintexts*,
- \mathcal{C} el conjunto de los criptogramas o *cyphertexts*,
- $\mathcal{K} \subseteq \mathcal{K}_p \times \mathcal{K}_s$ el espacio de clave o *key space*

Un criptosistema viene definido por dos aplicaciones

$$E : \mathcal{K}_p \times \mathcal{M} \rightarrow \mathcal{C}$$

$$\mathcal{D} : \mathcal{K}_s \times \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{M}$$

tales que para cualquier clave $k_p \in \mathcal{K}_p$, existe una clave k_s de manera que dato cualquier mensaje $m \in \mathcal{M}$,

$$\mathcal{D}(k_s, E(k_p, m)) = m.$$

Fijadas claves $k_p \in \mathcal{K}_p$ y sus correspondiente $k_s \in \mathcal{K}_s$ se definen las funciones de cifrado y descifrado como:

$$E_{k_p} : \mathcal{M} \rightarrow \mathcal{C}, [E_{k_p}(m) = E(k_p, m)]$$

$$D_{k_s} : \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{M}, [D_{k_s}(c) = D(k_s, c)]$$

En la criptografía clásica, también llamada simétrica, se tiene que $\mathcal{K}_p = \mathcal{K}_s$ y $k_s = k_p = k \in \mathcal{K}$, o al menos hay métodos eficientes para conocer k_s a partir de k_p y viceversa. En la criptografía asimétrica, no se conocen métodos eficientes para conocer k_s a partir de k_p .

2.1.2. Objetivos de la criptografía

- **Confidencialidad:** La información solo puede ser accesible por las entidades autorizadas.
- **Integridad:** La información no ha sido alterada en el envío.
- **Autenticidad:** La información proviene de quién afirma haberla enviado
- **No repudio:** El emisor de una información no puede a posteriori negar que se realizó tal envío.

2.1.3. Ataques

Se sigue el principio de Kerckhoffs el cual establece que el adversario conoce todos los detalles del criptosistema excepto la clave empleada. Los posibles ataques son:

- **Criptograma** El adversario conoce el criptograma.
- **Mensaje Conocido** El atacante conoce parejas mensaje/criptograma cifradas con una misma clave
- **Mensaje escogido** El atacante puede generar criptogramas para mensajes de su elección. Una vez obtenidas dichas parejas, trata de averiguar el mensaje correspondiente a un criptograma desconocido.
- **Mensaje escogido-adaptativo** El atacante no solo puede generar parejas mensaje/criptograma a su elección, sino que puede hacerlo tantas veces como quiera realizando los análisis que considere oportunos
- **Criptograma escogido y escogido-adaptativo** Similar a los anteriores pero partiendo del criptograma, teniendo acceso a descifrar los criptogramas que desee, inicialmente o a lo largo del proceso. Lo que se busca en este ataque es la clave.

2.2. El algoritmo Rijndael AES

El algoritmo Rijndael llamado así en honor a sus dos autores Joan Daemen y Vicent Rijmen, es un algoritmo de cifrado por bloques que fue adoptado en octubre de 2000 por el NIST (*National Institute for Standards and Technology*) para su empleo en aplicaciones criptográficas no militares en sustitución del algoritmo *DES* después de un proceso de más tres años en los que se buscaba un algoritmo que fuera potente, eficiente y fácil de implementar.

Está diseñado para manejar longitudes de clave y de bloque variables entre los 128 y los 256 bits y aunque estos sean variables, en el estándar adoptado por el Gobierno de Estados Unidos en 2001 [3] establece una longitud fija de bloque de 128 bits y una longitud de clave a escoger entre 128, 192 y 256 bits.

La información para los siguientes apartados de AES la he obtenido de [6].

2.2.1. Cifrados de bloque

Son criptosistemas de clave simétrica en los que la longitud de los bloques y claves es fija.

Este criptosistema se define

$$E : \mathbb{B}^K \times \mathbb{B}^N \rightarrow \mathbb{B}^N,$$

$$D : \mathbb{B}^K \times \mathbb{B}^N \rightarrow \mathbb{B}^N,$$

Donde N es el tamaño del bloque y K es el tamaño de la clave.

2.2.2. Estructura de AES

En el algoritmo AES se define cada ronda como una composición de cuatro funciones invertibles diferentes, formando tres *capas*. Estas funciones tienen un propósito específico:

- **Capa de mezcla lineal:** Formada por las funciones *DesplazarFila* y *MezclarColumnas* y permite obtener un alto nivel de difusión a lo largo de varias rondas.
- **Capa no lineal:** Formada por la función *ByteSub* y es la aplicación paralela de s -cajas con propiedades óptimas de no linealidad.
- **Capa de adición de clave:** Es un simple *or-exclusivo* entre el estado intermedio y la subclave correspondiente a cada ronda.

2.2.3. Elementos de AES

AES es un algoritmo que se basa en aplicar un número determinado de rodas a un valor intermedio denominado *estado* que puede ser representado por una matriz rectangular que posee cuatro filas y N_b columnas. Análogamente la clave tiene la misma estructura, una matriz de cuatro filas y N_k . El bloque ha cifrar o descifrar se traslada directamente byte a byte sobre la matriz de estado de columna en columna ($a_{0,0}, a_{1,0}, a_{2,0}, a_{3,0}, a_{0,1} \dots$)

$a_{0,0}$	$a_{0,1}$	$a_{0,2}$	$a_{0,3}$
$a_{1,0}$	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$
$a_{2,0}$	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$
$a_{3,0}$	$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$

Cuadro 2.1: Ejemplo de matriz de estado con $N_b = 4$ (128 bits).

$k_{0,0}$	$k_{0,1}$	$k_{0,2}$	$k_{0,3}$
$k_{1,0}$	$k_{1,1}$	$k_{1,2}$	$k_{1,3}$
$k_{2,0}$	$k_{2,1}$	$k_{2,2}$	$k_{2,3}$
$k_{3,0}$	$k_{3,1}$	$k_{3,2}$	$k_{3,3}$

Cuadro 2.2: Ejemplo de clave con $N_k = 4$ (128 bits).

En otros casos el bloque y la clave pueden ser representados como vectores de registro de 32 bits donde cada registro esta compuesto por los bytes de la columna correspondiente ordenados en orden descendiente.

Siendo B el bloque que queremos cifrar y S la matriz de estado, el algoritmo AES con n quedaría:

1. Calcular K_0, K_1, \dots, K_n subclaves a partir de la clave K .
2. $S \leftarrow B \oplus K_0$
3. Para $i = 1$ hasta n hacer

Aplicar la roda i -ésima del algoritmo con la subclave K_i

Como las funciones usadas en cada ronda son invertibles, para descifrar aplicaremos las funciones inversas de las funciones usadas para cifrar en el orden opuesto.

	$N_b = 4(128 \text{ bits})$	$N_b = 6(192 \text{ bits})$	$N_b = 8(256 \text{ bits})$
$N_b = 4(128 \text{ bits})$	10	12	14
$N_b = 6(128 \text{ bits})$	12	12	14
$N_b = 8(128 \text{ bits})$	14	14	14

Cuadro 2.3: Número de rodas en función del tamaño de la clave y bloque

2.2.4. Las Rondas de AES

Dado que el algoritmo AES puede aplicarse para longitudes diferentes de bloque y clave, el número de rondas es variables, como se ha visto en 2.3. Siendo S la matriz de estado y K_i la subclave correspondiente a la ronda i -ésima, cada ronda posee esta estructura:

1. $S \leftarrow \text{ByteSub}(S)$
2. $S \leftarrow \text{DesplazarFila}(S)$
3. $S \leftarrow \text{MezclarColumnas}(S)$
4. $S \leftarrow K_i \oplus S$

En la última ronda se hacen solo los tres primeros pasos del algoritmo.

ByteSub

La función *ByteSub* es una sustitución no lineal que se aplica a cada byte de la matriz de estado mediante una s-caja 8×8 . Se obtiene componiendo dos transformaciones:

1. Cada byte se considera como un elemento del $GF(2^8)$ generado por el polinomio irreducible $m(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$ y es sustituido por su inversa multiplicativa quedando el valor cero inalterado.
2. A continuación se aplica la siguiente transformación afín en $GF(2)$ siendo x_0, x_1, \dots, x_7 los bits del byte correspondiente e y_0, y_1, \dots, y_7 los del resultado:

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La función inversa de *ByteSub* es la aplicación inversa de la s-caja de cada byte de la matriz de estado.

DesplazarFila

Esta función desplaza a la izquierda de manera cíclica las filas de la matriz de estado. Cada fila f_i se desplaza un número de posiciones c_i diferente. Mientras que c_0 siempre es igual a cero, el resto de valores viene en función de N_b como se puede ver en 2.4.

La función inversa será el desplazamiento de las filas de la matriz el mismo número de posiciones pero en el sentido contrario.

N_b	c_1	c_2	c_3
4	1	2	3
6	1	2	3
8	1	3	4

Cuadro 2.4: Valores de c_i según el tamaño de bloque N_b

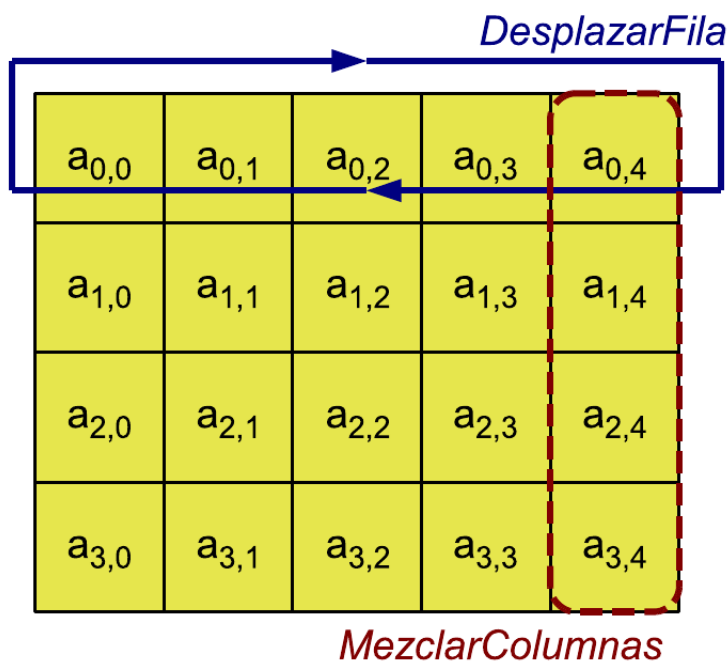


Figura 2.1: Esquema de las funciones *MezclarColumnas* y *DesplazarFila*

MezclarColumnas

Durante la aplicación de esta función se considera cada columna del vector de estado se considera un polinomio cuyos coeficientes pertenecen a $GF(2^8)$ y se multiplica módulo $x^4 + 1$ por: $c(x) = 03x^3 + 01x^2 +$

$01x + 02$ donde 03 es el valor hexadecimal que se obtiene concatenado los coeficientes binarios del polinomio correspondiente en $GF(2^8)$, en este caso sería 00000011 y por tanto $x + 1$ análogamente se haría con los demás.

La inversa de *MezclarColumns* se obtiene multiplicando cada columna de la matriz de estado por el polinomio: $d(x) = 0Bx^3 + 0Dx^2 + 09x + 0E$

2.2.5. Cálculo de las Subclaves

Las subclaves K_i se obtienen de la clave principal K mediante el uso de dos funciones: una de expansión y otra de selección. Siendo n el número de rondas que se van a aplicar, la función de expansión obtiene a partir del valor de K una secuencia de $4(n + 1)N_b$ bytes.

La función de selección toma consecutivamente de la secuencia obtenida bloques del mismo tamaño que la matriz de estado y los asigna a cada K_i .

Sea $K(i)$ un vector de bytes de tamaño $4N_k$ conteniendo la clave y sea $W(i)$ un vector de $N_b(n + 1)$ registros de 4 bytes, siendo n el número de rondas. La función de expansión tiene dos versiones según el valor de N_k :

- Si $N_k \leq 6$:

Para i desde 0 hasta $N_k - 1$ hacer:

$$W(i) \leftarrow (K(4i), K(4i + 1), K(4i + 2), K(4i + 3))$$

Para i desde N_k hasta $N_b(n + 1)$ hacer:

$$tmp \leftarrow W(i - 1)$$

$$\text{Si } i \bmod N_k == 0$$

$$tmp \leftarrow Sub(Rot(tmp)) \oplus Rc(i/N_k)$$

$$W(i) \leftarrow W(i - N_k) \oplus tmp$$

- Si $N_k > 6$:

Para i desde 0 hasta $N_k - 1$ hacer:

$$W(i) \leftarrow (K(4i), K(4i + 1), K(4i + 2), K(4i + 3))$$

Para i desde N_k hasta $N_b(n + 1)$ hacer:

$$tmp \leftarrow W(i - 1)$$

$$\text{Si } i \bmod N_k == 0$$

$$tmp \leftarrow Sub(Rot(tmp)) \oplus Rc(i/N_k)$$

$$\text{Si } i \bmod N_k == 4$$

$$tmp \leftarrow Sub(tmp)$$

$$W(i) \leftarrow W(i - N_k) \oplus tmp$$

La función *Sub* devuelve el resultado de aplicar la s-caja de AES a cada uno de los bytes del registro de cuatro que se le pasa como parámetro, la función *Rot* desplaza a la izquierda los bytes del registro y *RC(j)* es una constante que se define como:

- $Rc(j) = (R(j), 0, 0, 0)$
- Cada $R(i)$ es el elemento de $GF(2^8)$ correspondiente al valor x^{i-1} módulo $x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$

Capítulo 3

Aplicaciones de Mensajería

Me voy a centrar en Telegram, Whatsapp y Facebook Chat, Signal y la de apple.

3.1. Telegram (MTProto)

Referencias: [7] [2]

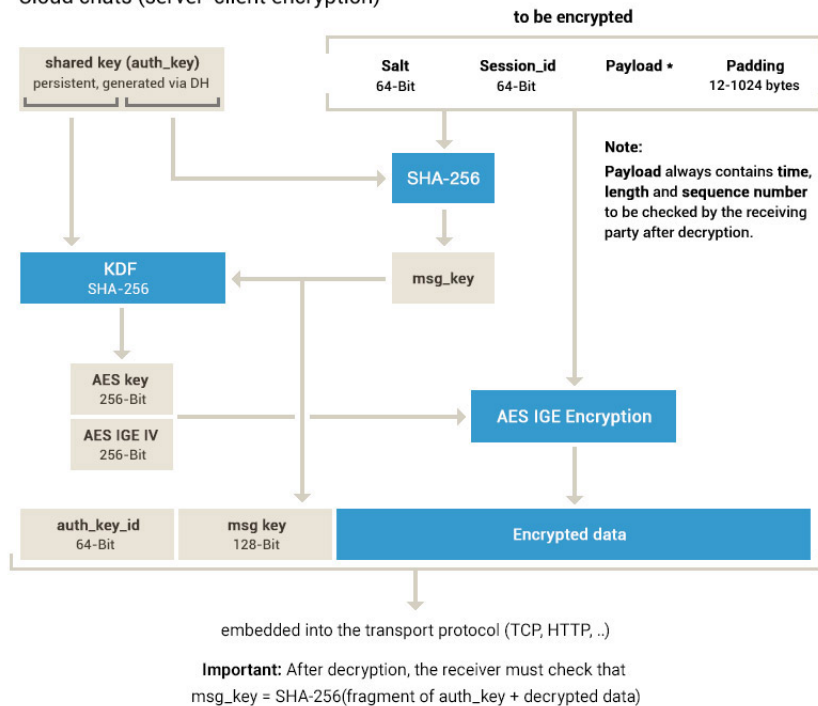
3.1.1. Descripción general

MTProto 2.0 es una suite de protocolos criptográficos diseñados para implementar de manera rápida, escalable y segura intercambio de mensajes sin depositar esa responsabilidad en la seguridad del transporte debajo de dicho protocolo. El protocolo esta subdividido en tres componentes virtuales independientes:

- **Componente de alto nivel:** Define el método por el cual las consultas de la API y las respuestas se convierten en mensajes binarios.
- **Capa criptográfica(autorización):** Define el método por el cual los mensajes están cifrados antes de ser enviados a través del protocolo de transporte.
- **Componente de transporte:** Define el método por el cual el cliente y el servidor para transmitir los mensajes sobre otro protocolo de red como HTTP, HTTPS, WS, WSS, TCP o UDP.

MTPROTO 2.0, part I

Cloud chats (server-client encryption)

**3.1.2. Resumen de los componentes****Componentes de alto nivel(Lenguajes de consulta/API RPC):**

Desde el punto de vista del componente de alto nivel, el cliente y el servidor intercambian mensajes dentro de una sesión.

La sesión se adjunta al cliente en lugar de una conexión *websocket/http/https/tcp*. Además, cada sesión tiene asociada a clave ID de usuario mediante la cual se logra la autorización.

Pueden estar abiertas varias conexiones a un servidor, los mensajes pueden ser enviados en cualquier dirección a través de cualquiera de las conexiones. Cuando se usa el protocolo UDP, una respuesta puede ser devuelta por una dirección de IP distinta.

Hay diferentes tipos de mensajes:

- **LLamadas RPC(cliente-servidor):** LLamadas a los métodos de la API.
- **Respuestas RPC(servidor-cliente):** Resultados de las llamadas RPC.
- **Notificación del estado de los mensajes**
- **Consultas de estado de mensaje**

■ Mensaje multiparte o contenedor

Desde el punto de vista de protocolos de bajo nivel, un mensaje es un flujo de datos alineados con 4 o 16 bytes de límite. Los primeros campos en un mensaje están fijos y son usados por el sistema criptográfico o de autorización.

Cada mensaje, consiste en un *Message Identifier* de 64 bits, *número de secuencia del mensaje dentro de una sesión*, *longitud* de 32 bits y *cuerpo del mensaje* de cualquier tamaño siempre y cuando sea múltiplo de 4. Además cuando un contenedor o un mensaje simple se envían, una *cabecera interna* se añade al principio del mensaje, luego el mensaje es cifrado y se le añade una *cabecera externa* la cual será una *clave de identificación* de 64 bits y una *clave del mensaje* de 128 bits.

El *cuerpo* del mensaje normalmente consiste en un *tipo mensaje* de 32 bits seguido de los *parámetros dependientes del tipo*.

Los números están escritos en *little endian*. Sin embargo los números muy grandes(2048 bits) usados en **RSA** y **DH** están escritos en *big endian* porque es lo que hace la biblioteca **OpenSSL**.

Autorización y Cifrado: Antes de que un mensaje sea transmitido por la red usando un protocolo de transporte, este es cifrado añadiendo una cabecera externa la cual es insertada al principio del mensaje y contiene:

- *Key Identifier* de 64 bits
- *Message Key* de 128 bits

Una clave de usuario junto con una clave de mensaje definen una clave de 256 bits la cual es la que cifra el mensaje usando un cifrado *AES-256*. La primera parte del mensaje cifrado contiene datos variables(sesión, id del mensaje, número de secuencia) los cuales influyen en la clave del mensaje. La clave del mensaje es definida como los 128 bits iniciales del mensaje cifrado con *SHA-256*, además los mensajes en varias partes están cifrados como un solo mensaje.

Lo primero que tiene que hacer la aplicación cliente es crear una clave de autorización que se genera normalmente la primera vez que se ejecuta la aplicación y por lo general nunca cambia.

Para prevenir potenciales ataques debido a la apropiación de la clave de autorización MTPProto soporta *Perfect Forward Secrecy* tanto en los chats en la nube como en los chats secretos.

Sincronización de la hora: Si la hora de un cliente difiere de la hora del servidor, el servidor podría empezar a ignorar los mensajes de este y recíprocamente el cliente a los mensajes del servidor debido a que el mensaje tenga un indentificador inválido del mensaje.

Bajo estas circunstancias, el servidor enviará un mensaje especial al cliente el cual contendrá la hora correcta, este mensaje será el primero en el caso de que también se envíe un grupo de mensajes.

Habiendo recibido el mensaje, el cliente primero ejecutará una sincronización de la hora y después verificará la *Message Key* para ver si es correcto.

En caso de que no sea correcto, el cliente deberá generar una nueva sesión para asegurar la monotonía de los *Message Keys*.

3.1.3. Modelo de seguridad

Los protocolos de Telegram se modelan en ProVerif [4], que es un verificador criptográfico simbólico. Los protocolos y propiedades de seguridad están especificadas en una variante del π -cálculo que es una notación desarrollada por Robin Milner, Joachim Parrow y David Walker, como un avance sobre el cálculo de sistemas comunicantes con el fin de proveer movilidad al modelado concurrente para representar procesos criptográficos y traducirlos en una teoría de Horn.

MTPROTO 2.0 sigue la siguiente regla de reducción

Listing 3.1: Regla Reducción 1

```

1 func senc(Bitstring, SharedKey, Nonce): Bitstring
2   reduc forall m: Bitstring, k: SharedKey, n: Nonce;
3     sdec(sec(m, k, n), k) = m

```

3.1.4. Funcionamiento del protocolo

La descripción del funcionamiento del protocolo la he obtenido de [1]. Previamente a explicar el funcionamiento de MTPROTO 2.0 voy a introducir las definiciones de los elementos más importantes que entrarán en juego durante el funcionamiento de este.

Authorization Key (auth_key)

Es una clave de 2048 bit compartida por el dispositivo del cliente y el servidor, se crea durante el registro del usuario, se almacena en el dispositivo de este mediante el protocolo de intercambio de claves *Diffie-Hellman* y nunca se transmite a través de la red. Cada clave de autorización es única y dependiente del usuario, aunque un usuario puede tener más de una ya que Telegram permite tener sesiones persistentes en diferentes dispositivos. En caso de ser necesario estas claves pueden ser bloqueadas para siempre como por ejemplo podría pasar si un dispositivo con sesión persistente se pierde.

Server Key

Es una clave RSA de 2048 bits usada por el servidor para firmar sus mensajes durante el proceso de registro y la clave se está generando. La aplicación tiene una clave publica del servidor que puede ser utilizada para verificar la firmas pero no para firmar mensajes. La clave privada del servidor es almacenada en este y raramente cambia.

Key Identifier (auth_key_id)

Se usan los 64 bits menos significativos del hash *SHA1* de la *Authorization Key* para indicar que clave en particular se ha usado para cifrar el mensaje. Las claves tienen que ser identificadas unívocamente y en caso de colisión, la *Authorization Key* se regenera. Un identificador Zero Key significa que el cifrado no se usa y esto está permitido para muy pocos mensajes usados durante el registro para generar la clave en el intercambio *Diffie-Hellman*.

Session

Es un número de 64 bits generado aleatoriamente por el cliente para distinguir entre sesiones individuales como pueden ser diferentes instancias de la aplicación creadas con la misma *Authorization Key* donde una instancia de la aplicación es la conjunción de la *Key Identifier* y la *Session*.

Bajo ninguna circunstancia un mensaje perteneciente a una sesión puede ser enviado a otra.

Server Salt

Es un número de 64 bits generado aleatoriamente que cambia cada 30 minutos independiente de las sesiones por una petición del servidor. Una vez generado el nuevo salt todos los mensajes tienen que tenerlo aunque se aceptan los mensajes con el salt previo. Es necesario para proteger ante ciertos ataques como podría ser ajustar el reloj de la víctima en un momento futuro.

Message Identifier (msg_id)

Es un número de 64 bits dependiente del tiempo usado únicamente para identificar mensajes sin sesión. Los *Message Identifiers* son divisibles por 4, los *Message Identifiers* del servidor módulo 4 dan 1 si el mensaje es una respuesta a un mensaje del cliente y dan 3 en otro caso. Los *Message Identifiers* del cliente deben incrementarse monótonamente, igualmente con los del servidor y tienen que ser aproximadamente igual a $unixtime * 2^{32}$, donde *unixtime* es un sistema para la descripción de instantes de tiempo definida como la cantidad de segundos transcurridos desde la medianoche UTC del 1 de enero de 1970. De esta manera, el *Message Identifier* señala el momento aproximado en el que el mensaje fue creado siendo rechazado alrededor de 300

segundos después o 30 segundos antes de ser creado (necesario como medida de protección de ataques de repetición).

Content-related Message

Un mensaje requiere un reconocimiento explícito. Esto incluye todos los mensajes de usuario y muchos de servicio, a excepción de contenedores y otros reconocimientos.

Message Sequence Number (`msg_seqno`)

Un número de 32 bit igual o el doble del número de mensajes *content-related* creados por el remitente antes de este mensaje y posteriormente se va incrementado en uno si el mensaje es del tipo *content-related*. Cabe a destacar que como un contenedor se genera después de su contenido, su *Message Sequence Number* será siempre igual o mayor a los números de mensajes contenidos en él.

Message Key (`msg_key`)

En el protocolo **MTProto 2.0**, la *Message Key* se define como los 128 bits del medio del hash *SHA-256* del mensaje que va a ser cifrado antepuesto por un fragmento de 32 bytes de la clave de autorización. En el protocolo **MTProto 1.0**, la *Message Key* se definía como los 128 bits menos significativos del hash *SHA-1* del mensaje a ser cifrado, los bytes de relleno eran excluidos en el cálculo del hash. La *Authorization Key* no estaba involucrada en este cálculo.

Internal (cryptographic) Header

Una cabecera de 16 bytes añadida antes de que el mensaje o el contenedor sea cifrado. Consiste en el *Server Salt* de 64 bits y la *Session* de 64 bits.

External (cryptographic) Header

Una cabecera de 24 bytes que se añade antes de que el mensaje o el contenedor sea cifrado. Consiste en la *auth_key_id* de 64 bits y la *msg_key* de 128 bits.

Payload

Es el *External Header* + mensaje cifrado o contenedor.

Encrypted Message

auth_key_id int64	msg_key int128	encrypted_data bytes
-----------------------------	--------------------------	--------------------------------

Encrypted Message: *encrypted_data*

Contains the cypher text for the following data:

salt int64	session_id int64	message_id int64	seq_no int32	message_data_length int32	message_data bytes	padding 12..1024 bytes
----------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------	-------------------------------------	------------------------------	----------------------------------

Unencrypted Message

auth_key_id = 0 int64	message_id int64	message_data_length int32	message_data bytes
---------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	------------------------------

MTProto 2.0 uses 12..1024 padding bytes, instead of the 0..15 used in MTProto 1.0

Bibliografía

- [1] Mobile Protocol: Detailed Description.
- [2] MTPProto Mobile Protocol.
- [3] Federal Information Processing Standards Publication 197 Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES). 2001.
- [4] Bruno Blanchet. Modeling and Verifying Security Protocols with the Applied Pi Calculus and ProVerif. *Foundations and Trends® in Privacy and Security*, 1(1-2):1–135, 2016.
- [5] José Luis Gómez Pardo. Criptografía y curvas elípticas. *La Gaceta de la RSME*, 5(3):737–777, 2002.
- [6] Manuel José Lucena López. *Criptografía y Seguridad en Computadores*. Jaén: Escuela Politécnica Superior de España, 2011.
- [7] Marino Miculan and Nicola Vitacolonna. Automated symbolic verification of Telegram’s MTPProto 2.0. *Proceedings of the 18th International Conference on Security and Cryptography, SECRYPT 2021*, pages 185–197, 2021.