TLS and HTTPS

Dimitris Mitropoulos
dimitro@di.uoa.gr

Primitives

- Συμμετρική Κρυπτογραφία:

  C = E(K, P), **P = D(K, C)**

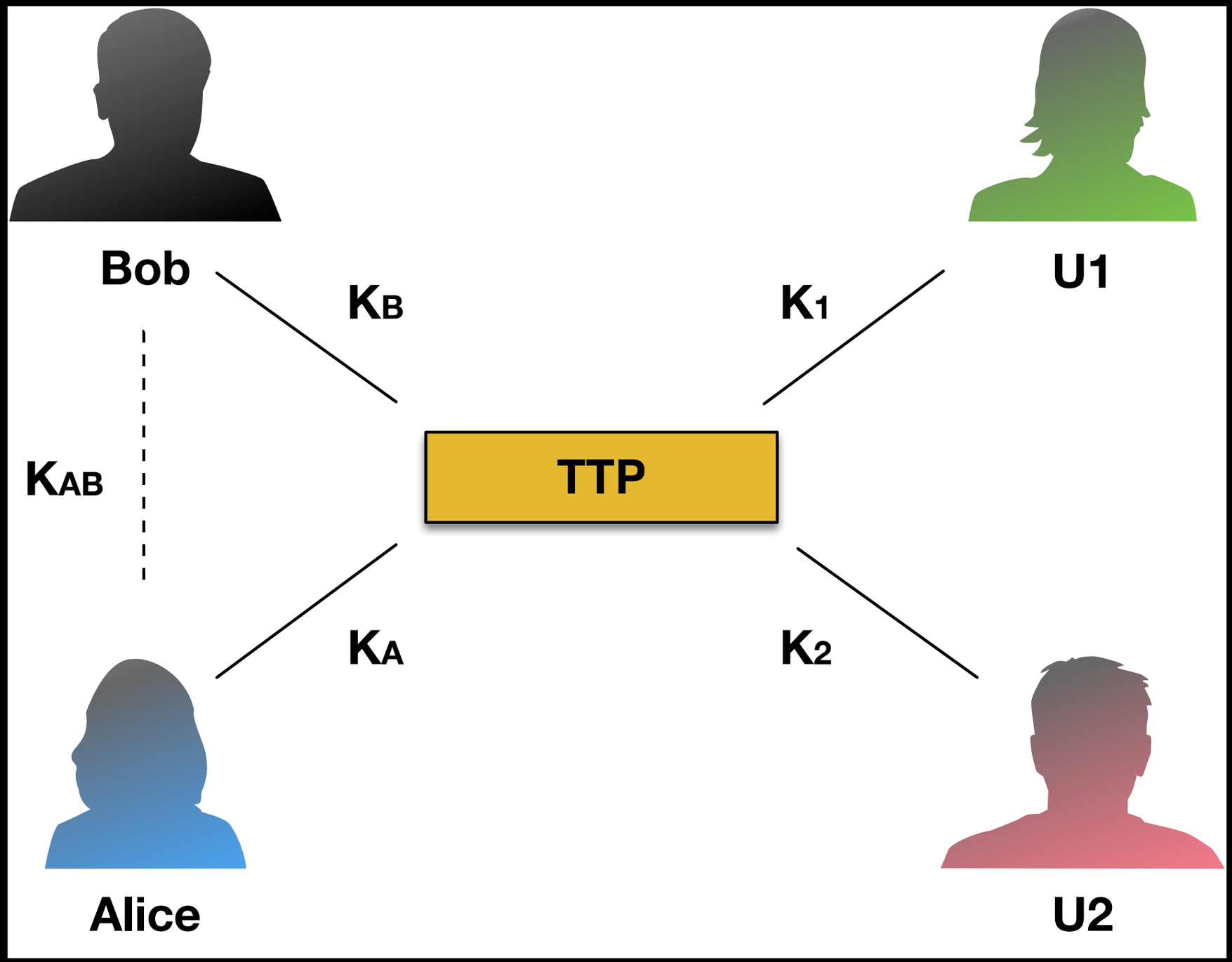
- Κρυπτογραφία Δημοσίου Κλειδιού:

  C = E(PK, P), **P = D(SK, C)**

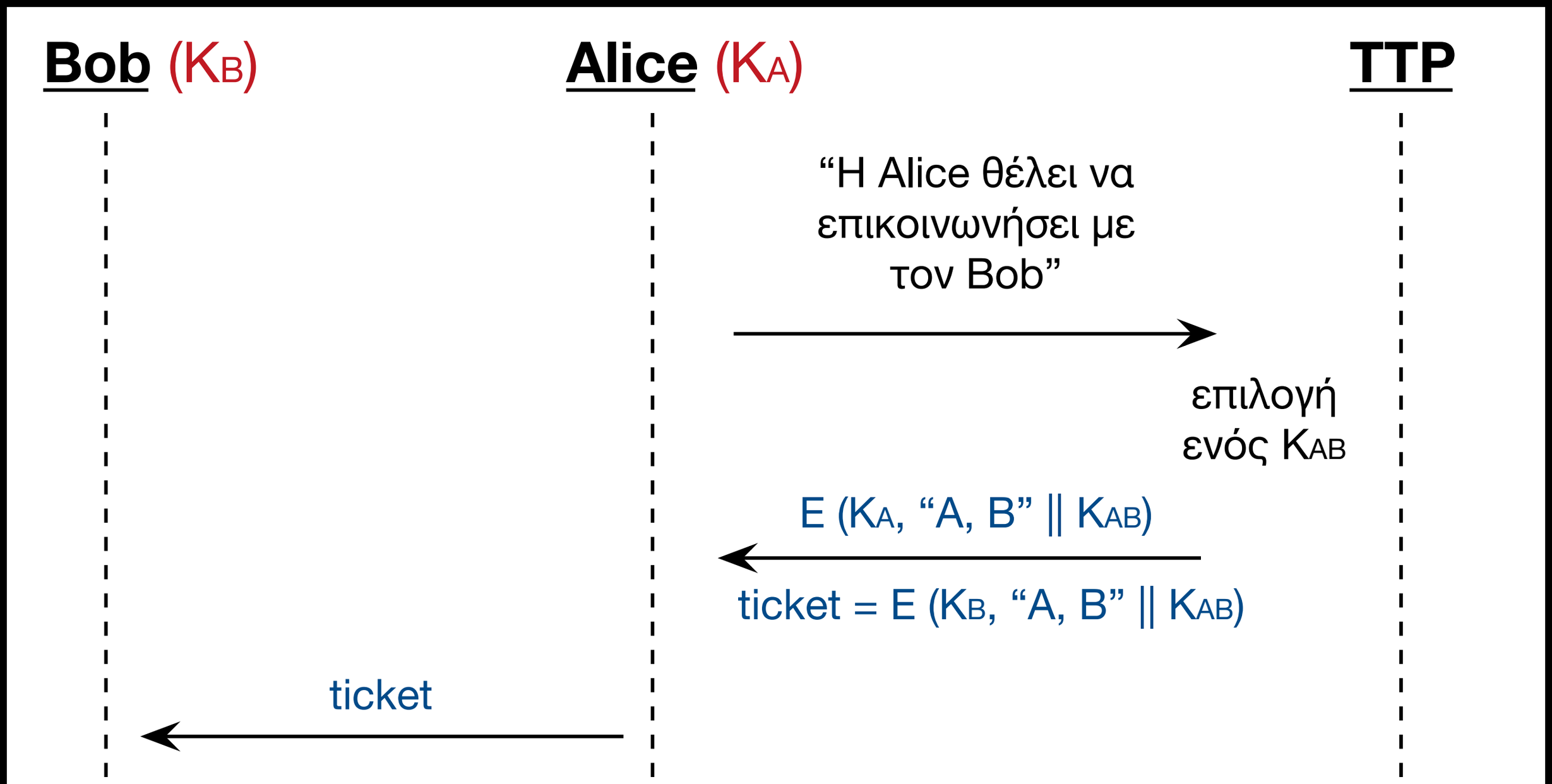
- Ψηφιακές Υπογραφές:

  S = Sign(SK, M), **Verify(PK, M, S) = ‘yes’?**

Θυμηθείτε
(TTP)



TTP
Δημιουργία Κλειδιού



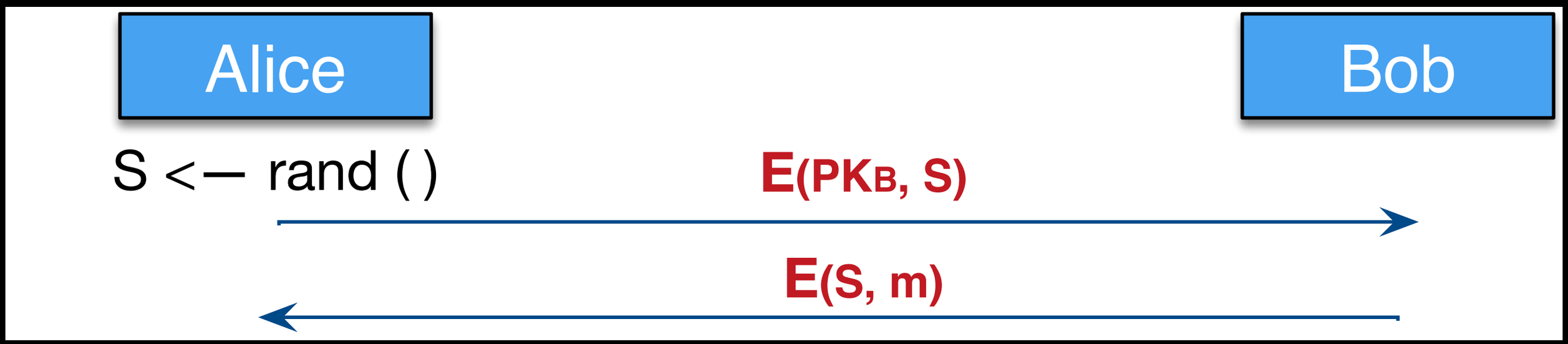
Θα μπορούσε αυτή η προσέγγιση να εφαρμοστεί στο διαδίκτυο;

Προβλήματα που θα υπήρχαν:

1. Θα πρέπει να εμπιστεύονται όλοι το TTP.
2. Δύσκολη διαχείριση των κλειδιών.
3. Όλοι πρέπει να έχουν κλειδί και να υπάρχουν στην βάση του TTP.
4. Κακή κλιμάκωση.
5. Θα πρέπει πάντα να είναι online.

Λύση (;)

Χρησιμοποίηση κρυπτογράφησης δημοσίου κλειδιού (λ.χ. ξέρω όλα τα public keys των file server του ΟΠΑ);



Τι πιθανά προβλήματα μπορεί να υπάρχουν εδώ;

Replay Attack (;)

Ο Bob όμως μπορεί να δημιουργήσει μια τυχαία τιμή (nonce). Έτσι θα έχουμε:

S’ <— H(S ll nonce)

Ταυτοποίηση (;)

Η Alice γνωρίζει τον Bob, αλλά το αντίθετο δεν ισχύει.

Λύση

που βρίσκονται τα

public keys;

Certificate Authority
(CA - Αρχή Πιστοποίησης)

Principle	Public Key
name_a	key_1ze34
…	…

έχουμε πολλά “TTPs”
πλεον που μπορούμε να
εμπιστευθούμε

CA

Χρειάζεται να είναι πάντα online;

Πιστοποιητικό
(Certificate)

Sign (SK$_{CA}$, { name_1**,** key_1ze34 **})**

Certificate

Κλιμάκωση

Χρειάζεται ο client (browser) να έχει certificate;

Chicken and Egg Problem

Που βρίσκονται τα public keys των CAs;

Hardcoded μέσα σε εφαρμογές (λ.χ. browsers).

Certificate
Προβλήματα

- Τι θα συμβεί εαν μια CA εκδόσει ένα certificate για ένα λάθος όνομα;
- Τι θα γίνει εαν χάσει ή δημοσιοποιήσει κατα λάθος το SK του ένα website που έχει certificate από μια αρχή;
- Τι θα συμβεί αν το SK μιας CA βρεθεί στα χέρια ενός αντιπάλου;

Certificate
Ανάκληση

Δυο (+1) εναλλακτικές:

1. Certificate Revocation List (CRL): Λίστα με λάθη.
   - Περιοδικά, οι εφαρμογές θα πρέπει να ελέγχουν τις λίστες αυτές.
   - Οι περισσότερες CA δίνουν άδειες λίστες (!).
2. Online Certificate Status Protocol (OCSP): Μας πηγαίνει σε μια λύση κοντά στην αρχική ιδέα **ενός** TTP.

3: (πάλι) hardcoded μέσα σε εφαρμογές (λ.χ. browsers).

Στον browser

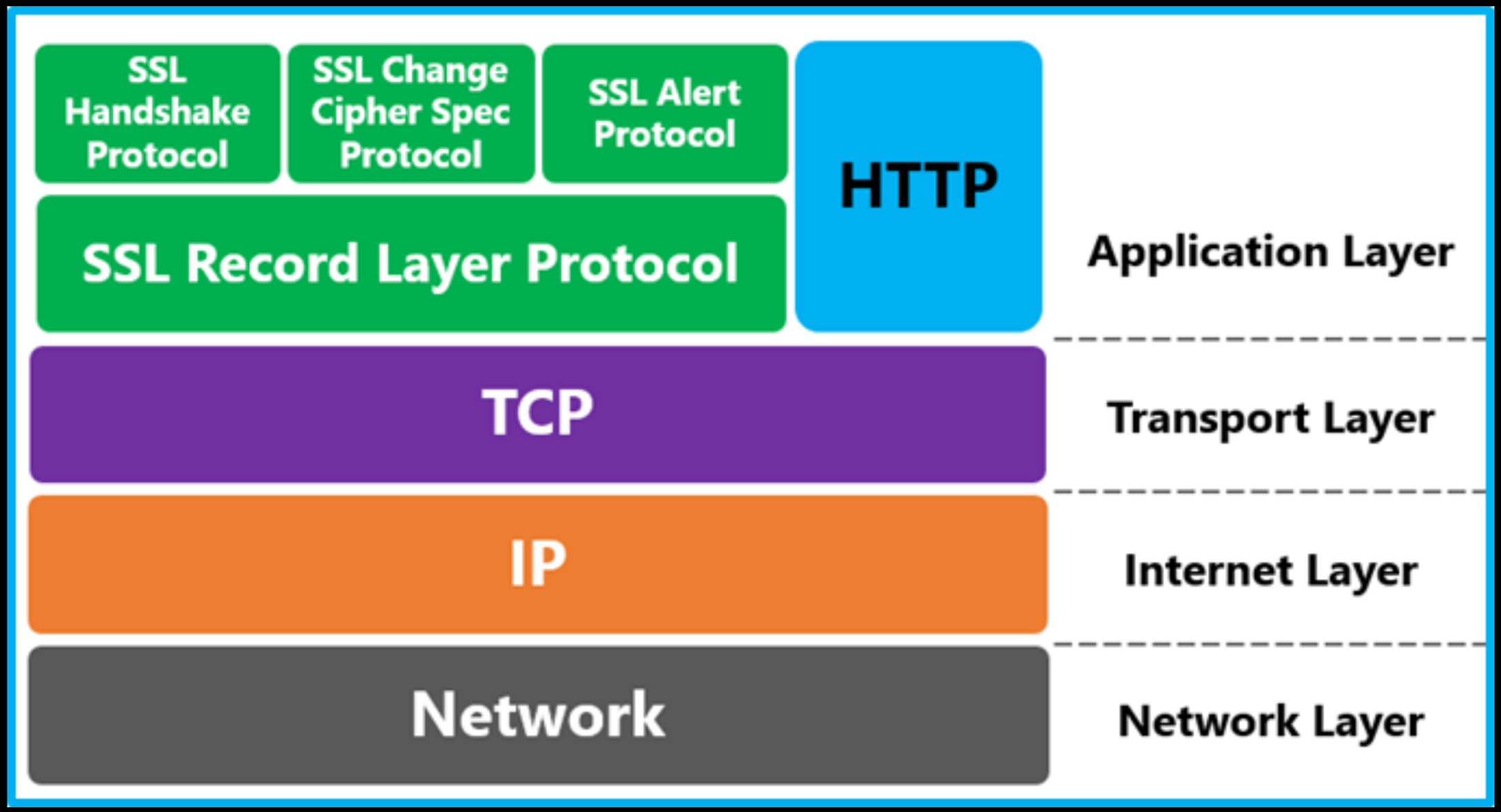
Τι θα πρέπει να προσέξουμε:

1. Δεδομένα που μεταφέρονται μέσω δικτύου (**TLS**).
2. Κώδικας, δεδομένα στον browser (**HTTPS**).
3. Το user interface (…).

Secure Sockets Layer

- Ο προκάτοχός του TLS, το **SSL**, αναπτύχθηκε από την Netscape.
- Το 1996 κυκλοφόρησε η 3η και τελευταία έκδοση του SSL.
- Αντικαταστάθηκε από το TLS το 1999.

SSL
(layering)



Πηγή εικόνας: https://blogs.msdn.microsoft.com

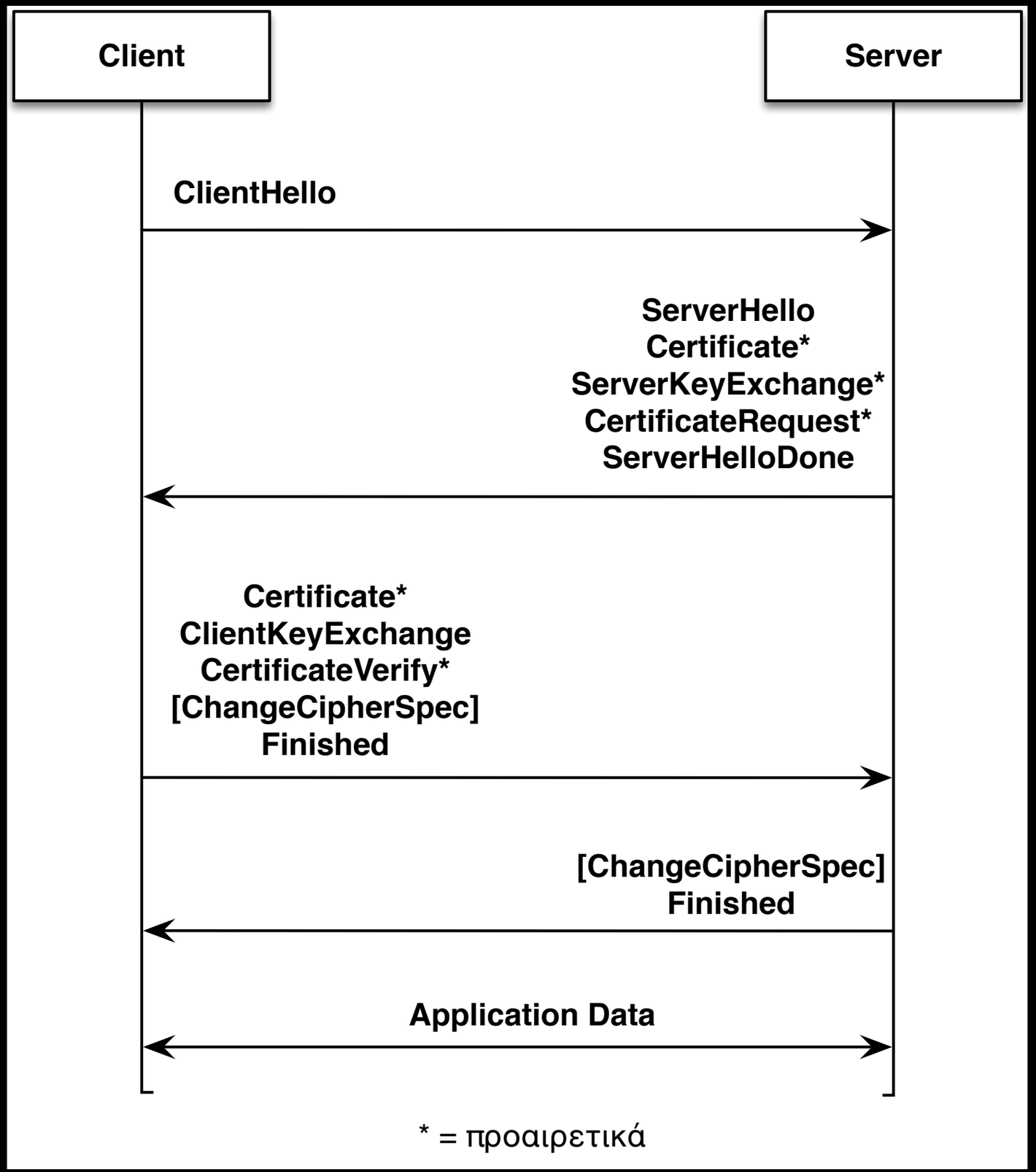
Transport Layer Security
(TLS)

- **Handshake Protocol**: Ταυτοποίηση και εγκαθίδρυση του κλειδιού της συνόδου.
- **Record Protocol**: Ακεραιότητα των δεδομένων.

TLS
Handshake Protocol

- Ταυτοποίηση οντοτήτων (προαιρετική). Συνήθως ο server θα **πρέπει** να ταυτοποιηθεί.
- Το **συμμετρικό** κλειδί της συνόδου (session key) δημιουργείται χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση δημοσίου κλειδιού.

Handshake Protocol



* = προαιρετικά

ClientHello

```
struct {
        ProtocolVersion client_version;
        Random random;
        SessionID session_id;
        CipherSuite cipher_suites<2..2^16-1>;
        CompressionMethod compression_methods<1..2^8-1>;
        select (extensions_present) {
            case false:
                struct {};
            case true:
                Extension extensions<0..2^16-1>;
        };
} ClientHello;
```

γιατί τα extensions είναι bold;

ClientHello

παράδειγμα

ClientVersion 3,1
ClientRandom [32]
SessionID: None (new session)
Suggested Cipher Suites:
    TLS_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA
    TLS_RSA_WITH_DES_CBC_SHA
Suggested Compression Algorithm: NONE
Extensions: NONE

ServerHello

```
struct {
        ProtocolVersion client_version;
        Random random;
        SessionID session_id;
        CipherSuite cipher_suite;
        CompressionMethod compression_method;
        select (extensions_present) {
            case false:
                struct {};
            case true:
                Extension extensions<0..2^16-1>;
        };
} ServerHello;
```

ServerHello

παράδειγμα

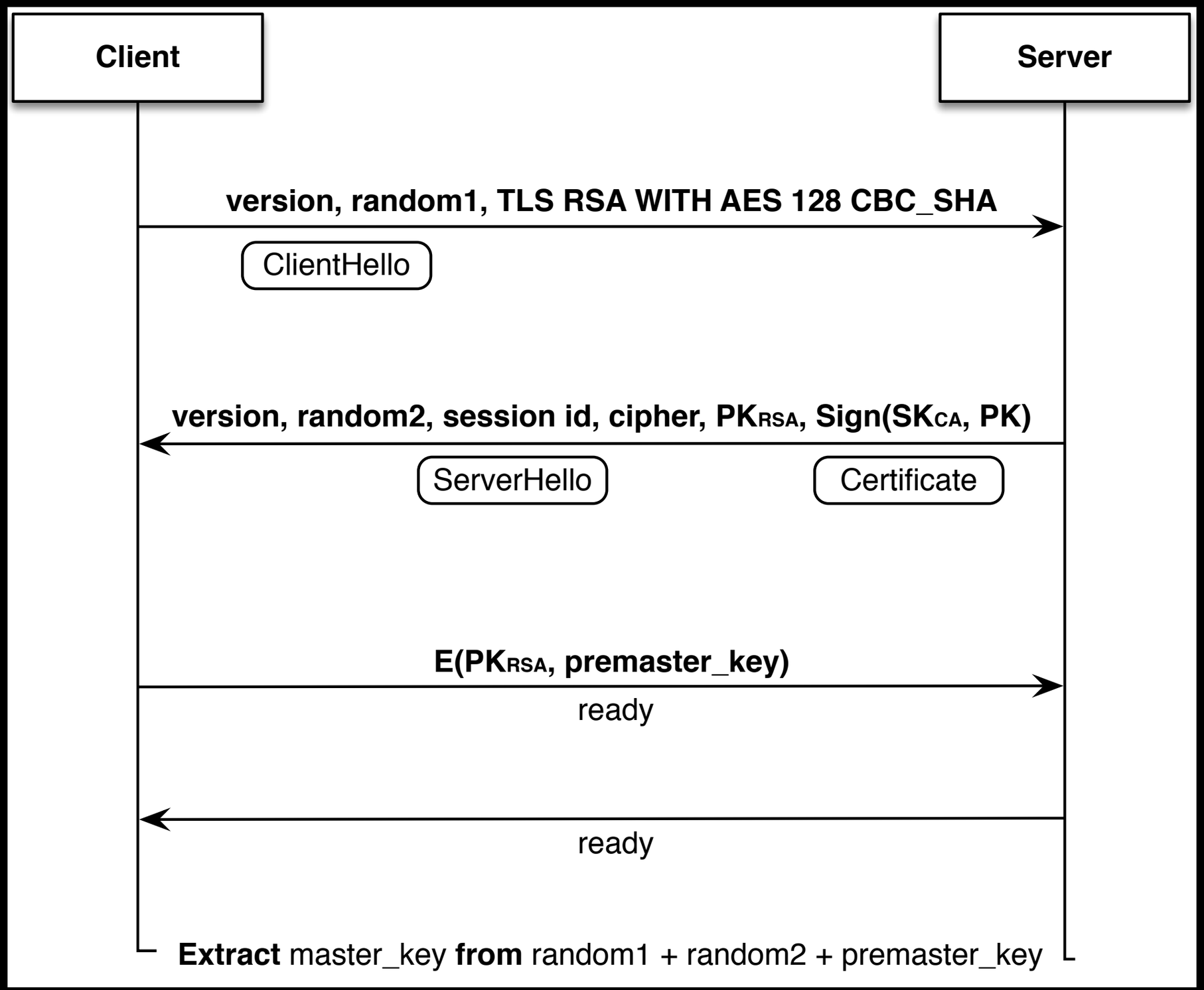
Version 3,1
ClientRandom [32]
SessionID: bd608869f0c629767ea7e3e
Suggested Cipher Suites:
TLS_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA
Suggested Compression Algorithm: NONE
Extensions: NONE

(λαμβάνει υπόψη το ClientHello)

Hanshake
Σημειώσεις

- Το μήνυμα **ServerKeyExchange** θα σταλεί εαν δεν έχει ταυτοποιηθεί πλήρως ο server (λ.χ. το certificate του είναι μονο για signing).
- Το **CertificateRequest** θα σταλεί εαν ο server θέλει να ταυτοποιήσει τον client.
- Εαν ο client διαθέτει ένα certificate που έχει signing capability, το μήνυμα **CertificateVerify** θα περιέχει όλα τα μηνύματα που έχουν σταλεί μέχρι τότε υπογεγραμμένα από τον client.
- Το μήνυμα **ClientKeyExchange** μεταφέρει ένα premaster key κρυπτογραφημένο με το PK του server.
- Το μήνυμα **Finished** περιέχει το master key μαζί με ένα digest όλων των μηνυμάτων που έχουν σταλεί μέχρι τότε.

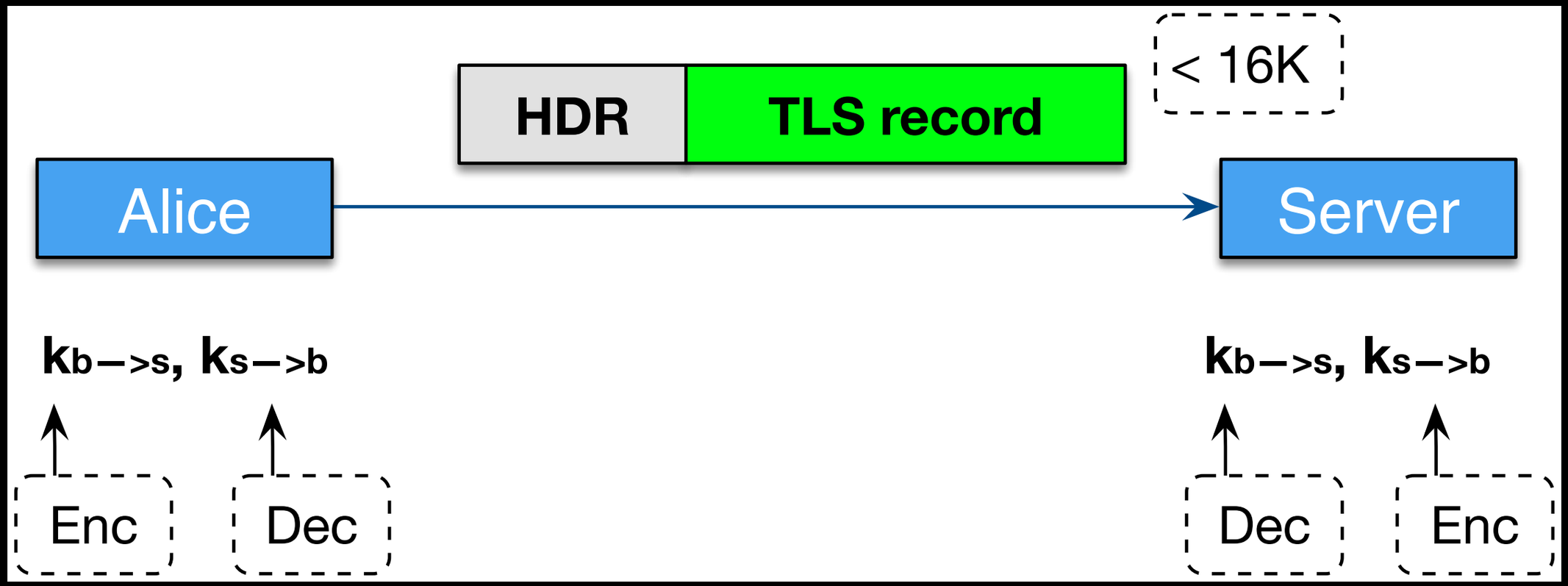
Handshake
(παράδειγμα)



TLS
Record Protocol

- Χωρίζει τα μηνύματα σε διαχειρίσιμα **blocks** και μετά την αποστολή τους τα ξαναενώνει.
- Χρησιμοποιεί **MAC** για να διασφαλίσει την ακεραιότητα των δεδομένων.
- Κρυπτογραφεί και αποκρυπτογραφεί μηνύματα (μετά τα μηνύματα περνούν στο TCP layer).
- Προαιρετικό compression των δεδομένων.

Record Protocol



- Unidirectional Keys
- Stateful Encryption
  - Κάθε πλευρά διατηρεί δυο counters: **$ctr_{b->s}$**, **$ctr_{s->b}$**
  - Οι counters μηδενίζονται όταν ξεκινάει το session (ctr++ για κάθε record).

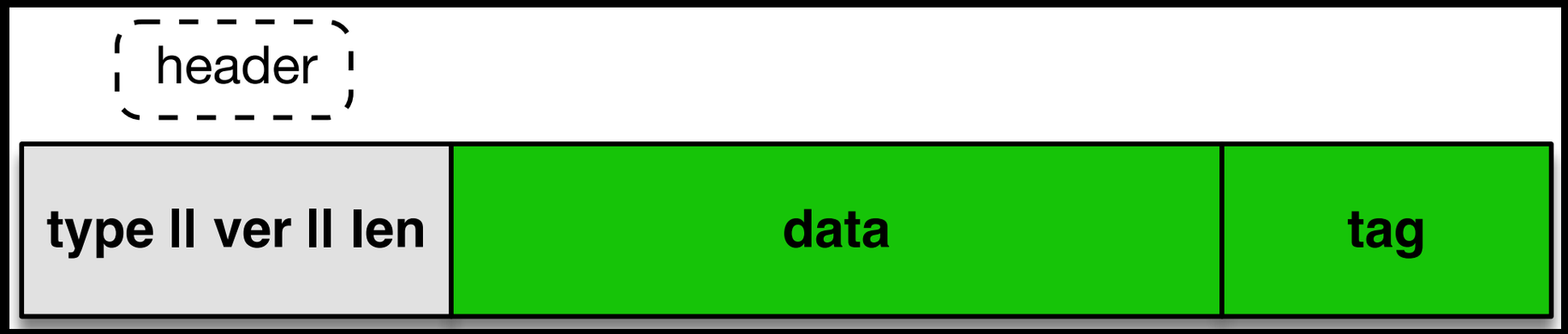
MAC
(Επανάληψη)

MAC: ένα ζεύγος αλγορίθμων (S, V) που ορίζονται από 3 σύνολα (K, M, T):

1. S(k, m) παράγει ένα T
2. V(k, m, t) δίνει ως έξοδο ‘yes’ ή ‘no’.

Record Protocol

Encryption



$k_{b—>s} = (k_{mac}, k_{enc})$

Browser Side **$E(k_{b->s}, data, ctr_{b->s},)$** :

- tag <— $S(k_{mac}, [++ctr_{b—>s} \| header \| data])$
- Κρυπτογράφηση των δεδομένων και του tag με k_{enc}.
- Prepend header.

Record Protocol

Decryption

Server Side **D($k_{b->s}$, record, $ctr_{b->s}$,)** :

- Αποκρυπτογράφηση με k_{enc}.
- Έλεγχος του tag: [++$ctr_{b->s}$ || header || data]).
- Σε περίπτωση που το validation του tag αποτύχει στέλνει πίσω : **bad_record_mac**.

X.509

Public Key Certificate Format

- Internet standard από το 1988.
- Ακολουθεί ένα ιεραρχικό μοντέλο.

X.509: Public Key Certificate Format

Δομή και Συνήθη Πεδία

Serial Number	10:e6:fc:62:b7[…]
Subject	wikipedia.org
Issuer	GlobalSign
Key Usage	Signature, Key Agreement
Period of Validity: **not before date** **not after date**	Period of Validity: Nov 21 08:00:00 2016 GMT Nov 22 07:59:59 2017 GMT
Public Key	04:c9:22:69:31[…]
Signature Algorithm	sha256WithRSAEncryption
Signature	[…]
…	…

```
</div>
  <div class="glif-promo">
  <h3>New look for sign-in coming soon</h3>
  <p>We're making it faster & easier to sign in to your Google Account</p>
  <a href="https://support.google.com/accounts?p=signin_newlook" target="_blank">Learn more</a>
  </div>
```

HTTPS

- Ένα **νέο** URL scheme.
- **Συνδυασμός** HTTP και TLS.
- “Ακούει” στο Port **443**.
- Ότι μεταδίδεται με HTTPS είναι encrypted ενώ με HTTP όχι.
- Το hostname στο HTTPS URL θα *πρέπει* να είναι το ίδιο με αυτό του certificate.

HTTPS
Misconfigurations

- Οι διαχειριστές ξεχνούν να ανανεώσουν τα certificates.
- Δεν έχουν περιλάβει όλα τα ονόματα που μπορεί να αντιστοιχούν στο site μέσα στο certificate (λ.χ. στη wikipedia, ανάμεσα σε άλλα υπάρχουν τα: DNS:*.m.wikiversity.org, DNS:*.m.wikivoyage.org, DNS:*.m.wiktionary.org, DNS:*.mediawiki.org, […])

σε τέτοιες περιπτώσεις ο browser θα ρωτήσει τον χρήστη εαν δέχεται ή όχι το certificate…

και εαν ο DNS είναι υπο τον έλεγχο ενός κακόβουλου χρηστη;

HTTPS

Τι συμβαίνει με την JavaScript;

<script src="**http**://jquery.com/…">

Ερώτηση: και αν το jquery είναι υπό τον έλεγχο ενός κακόβουλου χρήστη;

Σημείωση: πλέον τέτοιου τύπου "mixed, active content" δεν επιτρέπεται από τους browsers

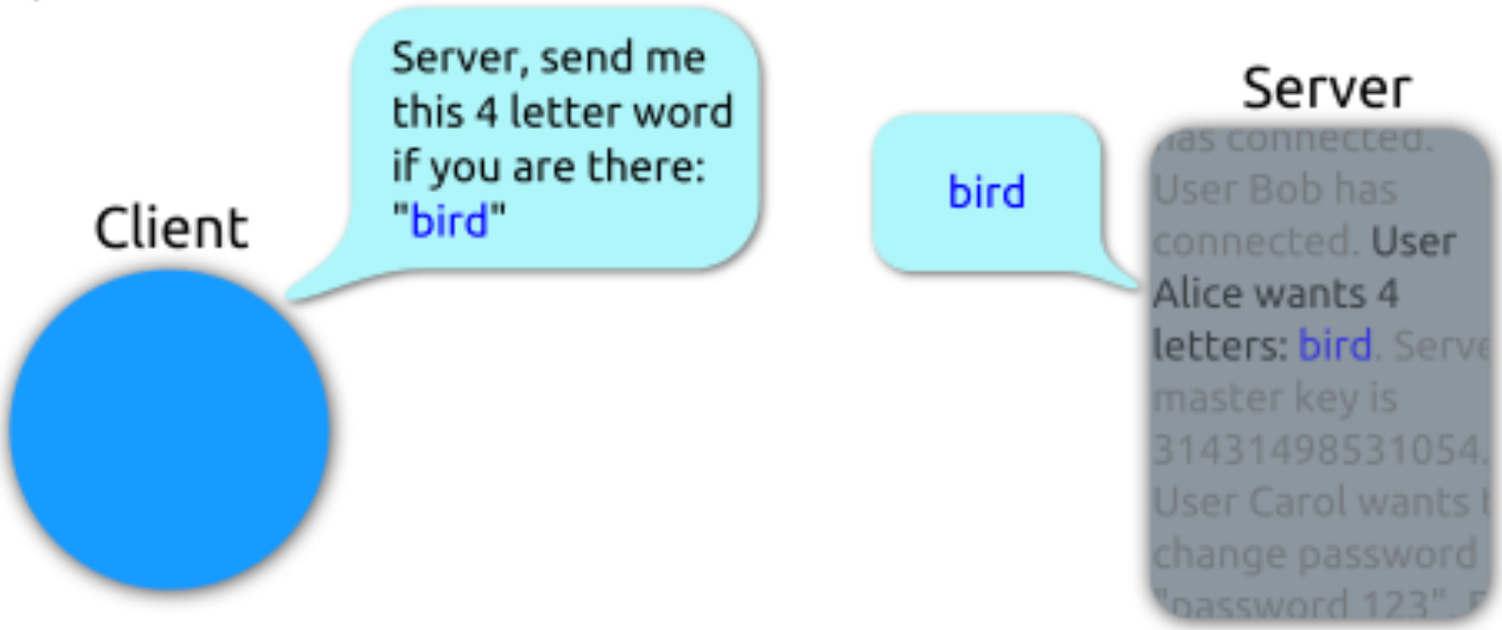
HTTPS

Τι συμβαίνει με τα cookies;

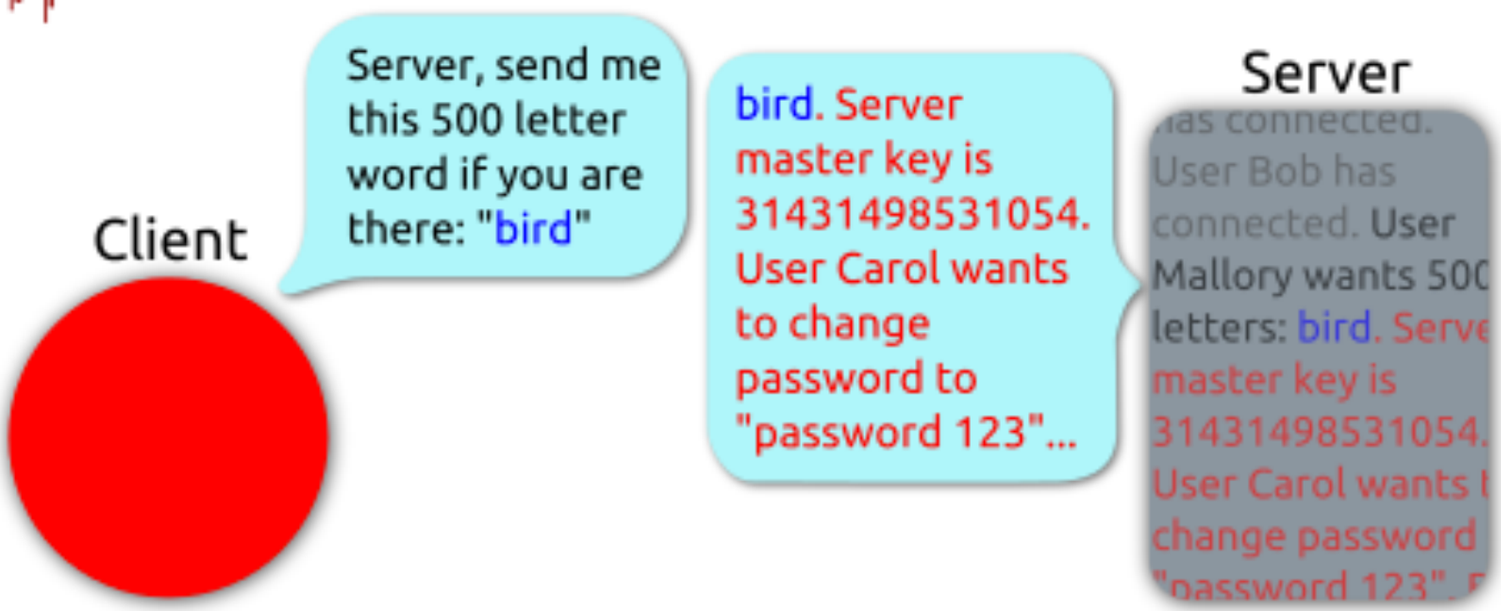
- Ένα cookie που έχει secure flag θα σταλεί μέσω HTTPS.
- Ένα cookie που **δεν** έχει secure flag μπορεί να σταλεί είτε μέσω HTTP είτε μέσω HTTPS.

Πόσο επικίνδυνο είναι αυτό;

Heartbeat – Normal usage



Heartbeat – Malicious usage



Πηγή εικόνας: https://en.wikipedia.org/wiki/Heartbleed

ssl/d1_both.c

```
int dtls1_process_heartbeat (SSL *s) {
        unsigned char *p = &s->s3->rrec.data[0], *pl;
        unsigned short hbtype;
        unsigned int payload;
        unsigned int padding = 16;  /* use minimum padding */
...
...
```

TLS Record Struct

```
typedef struct ssl3_record_st {
        int type;                       /* type of record */
        unsigned int length;            /* How many bytes available */
        unsigned int off;               /* read/write offset into 'buf' */
        unsigned char *data;            /* pointer to the record data */
        unsigned char *input;           /* where the decode bytes are */
        unsigned char *comp;            /* only used with decompression */
        unsigned long epoch;            /* epoch number, needed by DTLS1 */
        unsigned char seq_num[8];       /* sequence number, needed by DTLS1 */
} SSL3_RECORD;
```

The Bug (Part 2)

```
...
/* Read type and payload length first */
hbtype = *p++;
n2s (p, payload);
pl = p;
...
```

The Bug (Part 3)

```
unsigned char *buffer, *bp;
int r;

/* 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;
```

The Bug (Part 4)

…

```
/* Enter response type, length and copy payload */
*bp++ = TLS1_HB_RESPONSE;
s2n (payload, bp);
memcpy (bp, pl, payload);
…
```

Βιβλιογραφία

The TLS Protocol Version 1.0. January 1999 [Online]. Available: https://tools.ietf.org/html/rfc2246.

Kaushal Kumar Panday. SSL Handshake and HTTPS Bindings on IIS. August 2013 [Online]. Available: https://blogs.msdn.microsoft.com/kaushal/2013/08/02/ssl-handshake-and-https-bindings-on-iis/.

Search Results Internet Engineering Task Force (IETF). Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile [Online]. Available: https://www.ietf.org/rfc/rfc3280.txt.

C. Brubaker, S. Jana, B. Ray, S. Khurshid, and V. Shmatikov. Using Frankencerts for Automated Adversarial Testing of Certificate Validation in SSL/TLS Implementations. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy*, pages 114–129, 2014.

D. Kaminsky, M. L. Patterson, and L. Sassaman. PKI Layer Cake: New Collision Attacks Against the Global x.509 Infrastructure. In *Proceedings of the International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, pages 289–303, 2010.

Zakir Durumeric, James Kasten, David Adrian, J. Alex Halderman, Michael Bailey, Frank Li, Nicolas Weaver, Johanna Amann, Jethro Beekman, Mathias Payer, and Vern Paxson. 2014. The Matter of Heartbleed. In *Proceedings of the 2014 Conference on Internet Measurement Conference (IMC '14)*. ACM, New York, NY, USA, 475-488.

Mozilla Developer Network. Mixed content [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Security/Mixed_content.