HY-335b - Δίκτυα Υπολογιστών

Project Spring 2019

"Building & Measuring Secure Networks"

Παράδοση: **19/05/2019 | 23:59** ηλεκτρονικά (turnin)

Προφορική εξέταση: **23/05/2019**

1 . Εισαγωγή

Για την υλοποίηση της εργασίας η προτεινόμενη γλώσσα προγραμματισμού είναι η Python. Άλλες αποδέκτες γλώσσες προγραμματισμού είναι C και C++. Για τις υλοποιήσεις μπορείτε να επεκτείνετε τον κώδικα που δόθηκε στο φροντιστήριο. Η πορεία της υλοποίησής σας θα διακρίνεται σε 2 φάσεις. Για την δόκιμη της υλοποίησης σας μπορείτε να χρησιμοποιήστε είτε τον υπολογιστή σας είτε τα μηχανήματα της σχολής για να κατασκευάσετε και να αποσφαλματώσετε τον κώδικά σας με σκοπό να εξάγετε χρήσιμα συμπεράσματα.

2. Τι θα μάθετε

Μέσα από την επίλυση της συγκεκριμένης άσκησης θα αποκτήσετε εξοικείωση με τις παρακάτω θεματικές ενότητες:

- Εξοικείωση με βασικά δικτυακά εργαλεία όπως είναι το **ping** και το **traceroute**
- Εκμάθηση τεχνικών **προγραμματισμού sockets**
- Κατανόηση πρότυπου επικοινωνίας **client-server** για ανταλλαγή δεδομένων
- Εισαγωγή στις βασικές έννοιες που διέπουν τη λειτουργία ενός **overlay δικτύου**
- **Ασφαλή επικοινωνία μέσω πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης**

3. Στόχος

Στην άσκηση αυτή σας ζητείται να υλοποιήσετε το πρότυπο μιας καινοτόμου υπηρεσίας η οποία 1) θα κρύβει την "ταυτότητα" (IP διεύθυνση) του client από τον server λόγω της χρήσης ενδιάμεσου κόμβου και 2) θα βρίσκει καλύτερα μονοπάτια χρησιμοποιώντας ως κριτήρια την καθυστέρηση (round trip time) ή τον αριθμό των hops, από αυτά που δίνει το standard Internet. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση relays, όπως έχει αποδειχθεί σε προγενέστερες μελέτες δημιουργώντας ουσιαστικά ένα overlay network.

3.1 Αναλυτική περιγραφή

Η λειτουργία της εφαρμογής σας θα διαρθρώνεται στα παρακάτω στάδια:

- Αρχικά, ο client θα επεξεργάζεται τα 2 αρχεία, τα ονόματα των οποίων θα δέχεται ως input και από αυτά θα αντλεί πληροφορίες σχετικά με τους end-servers και τους relay nodes που περιέχει το δίκτυο. Ένα παράδειγμα εκτέλεσης σε python για το script client.py θα ήταν το εξής:

  >> python client.py -e end_servers.txt -r relay_nodes.txt

  Τα ορίσματα που θα δέχεται το script περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

-e <end servers filename>	**δίνετε το όνομα του αρχείου με την λίστα των end-servers**
-r <relay nodes filename>	**δίνετε το όνομα του αρχείου με την λίστα των relay nodes**

  Στο παραπάνω παράδειγμα το argument -e περιγράφει το αρχείο με τις πληροφορίες για τους end-servers που στην συγκεκριμένη περίπτωση περιέχονται στο αρχείο end_servers.txt και το όρισμα -r περιγράφει το αρχείο με τις πληροφορίες για τους relay nodes που στο συγκεκριμένο παράδειγμα περιέχονται στο αρχείο relay_nodes.txt. Για την δομή των 2 αρχείων παρέχονται οδηγίες στην επόμενη ενότητα.

- Στην συνέχεια, ο client θα ζητάει ως input από το command line το alias του end-server με τον οποίο θα πρέπει να επικοινωνήσει καθώς και το πλήθος των εκτελέσεων του δικτυακού εργαλείου ping για τον υπολογισμό των στατιστικών δεδομένων. Ο server θα πρέπει να περιέχεται μέσα στη λίστα των end-servers που έχει δοθεί αρχικά αλλιώς θα τυπώνεται σχετικό μήνυμα λάθους. Επίσης στο

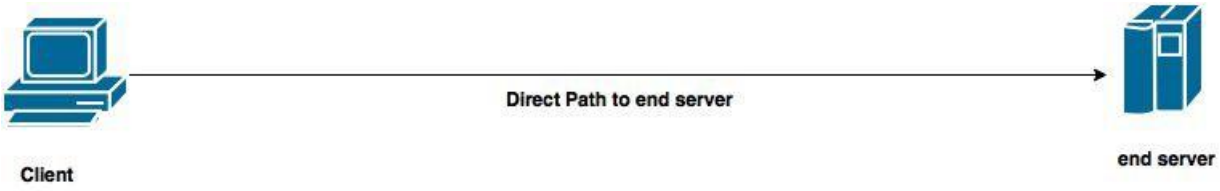
στάδιο αυτό θα εισάγεται το κριτήριο με βάση το οποίο θα επιλέγεται η κατάλληλη διαδρομή ανάμεσα σε client και end-server.

Παράδειγμα εκτέλεσης

>> endserver1 120 latency

όπου ο client αιτείται να επικοινωνήσει με τον end-server με alias endserver1, χρησιμοποιώντας 120 pings για την εξαγωγή μετρικών και η επιλογή της διαδρομής θα γίνεται χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το Round Trip Time (RTT).

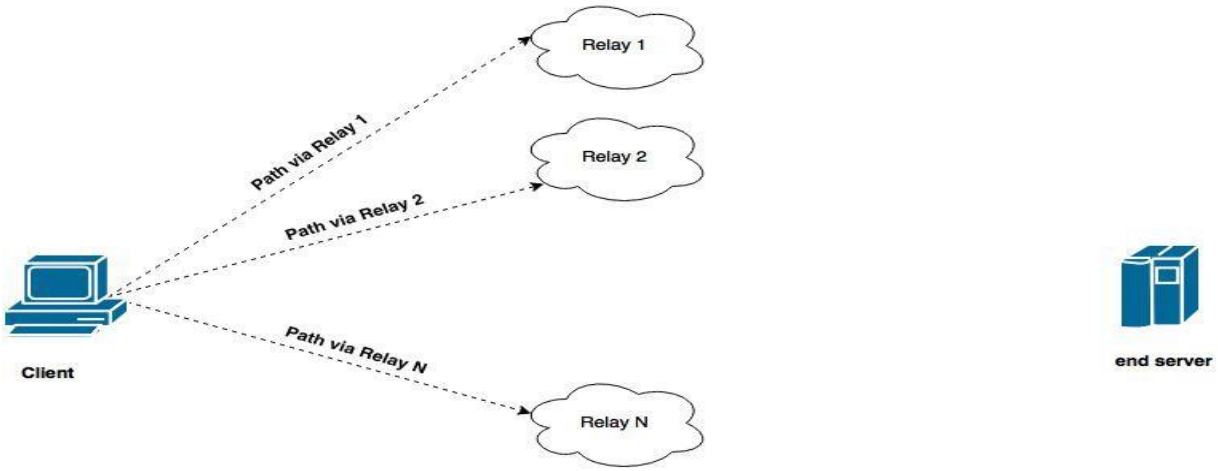
- **Direct Mode**: Σαν πρώτο είδος επικοινωνίας μεταξύ client - end-server, ο client θα κάνει ping κατευθείαν στην IP του end-server χωρίς την παρεμβολή κάποιου ενδιάμεσου κόμβου (relay node) (Σχήμα 1). Το πλήθος των pings καθορίζεται από το input που θα εισάγει ο χρήστης και με βάση τα αποτελέσματα των pings θα εξαγεται η μέση τιμή των RTT και θα περιγράφει το latency για την κατευθείαν επικοινωνία μεταξύ client και end-server. Επιπλέον, από τον client θα εκτελείται traceroute με προορισμό τον end-server ώστε να υπολογίζεται το πλήθος των ενδιάμεσων hops μέχρι τον τελικό προορισμό. Η παραπάνω πληροφορία μαζί με το μέσο RTT είναι 2 μετρικές οι οποίες χαρακτηρίζουν την κατευθείαν επικοινωνία μεταξύ των 2 πλευρών και θα κρατείται στην πλευρά του client.



Σχήμα 1

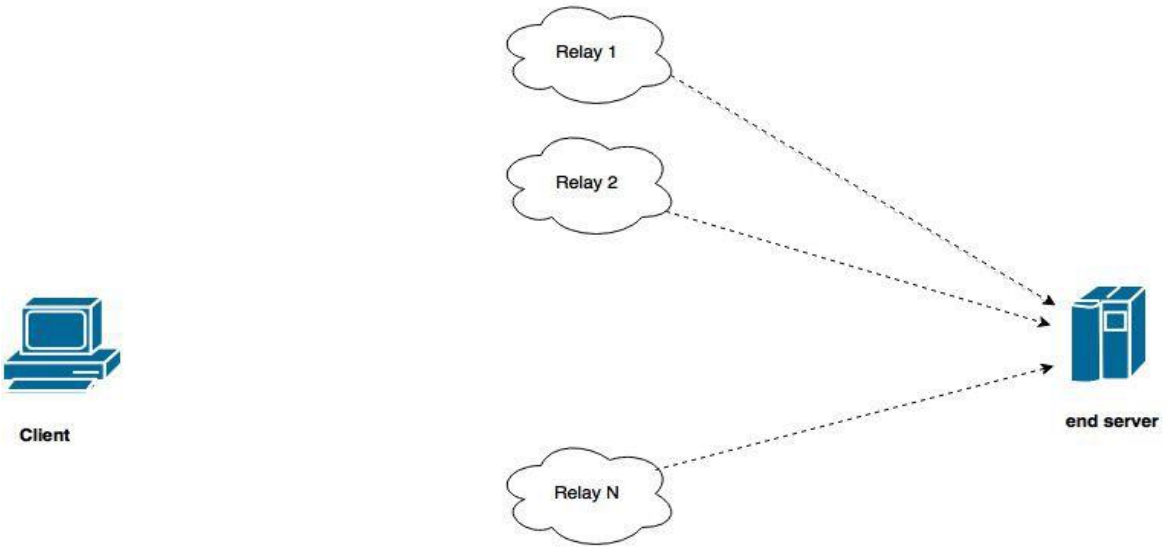
- **Relay Mode:** Σαν δεύτερος τρόπος επικοινωνίας και βασικό αντικείμενο μελέτης των overlay networks είναι η χρήση ενδιάμεσων κόμβων (relay nodes) ανάμεσα στον client και στον εκάστοτε end-server. Οι πληροφορίες σχετικά με τους relay nodes περιέχονται στο αρχείο relays_list.txt, η δομή του οποίου περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Στην λειτουργία αυτή θα εξετάζονται τα μονοπάτια από τον client προς τους relay nodes αλλά και από τους relay nodes προς τον end-user. Αναλυτικότερα:

❖ Από τον client στέλνονται pings προς όλους τους relay nodes (Σχήμα 2). Το πλήθος των pings προς κάθε ενδιάμεσο κόμβο περιγράφεται από το input του χρήστη. Από τα αποτελέσματα των pings, ο client θα υπολογίζει το μέσο RTT για την κάθε διαδρομή προς κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Στην συνέχεια θα εκτελούνται traceroutes προς κάθε ενδιάμεσο κόμβο και θα υπολογίζεται το πλήθος των ενδιάμεσων hops για κάθε διαδρομή από τον client προς όλους τους relay nodes. Η παραπάνω πληροφορία, δηλαδή το μέσο RTT και το πλήθος των hops θα κρατούνται στην μεριά του client.



Σχήμα 2

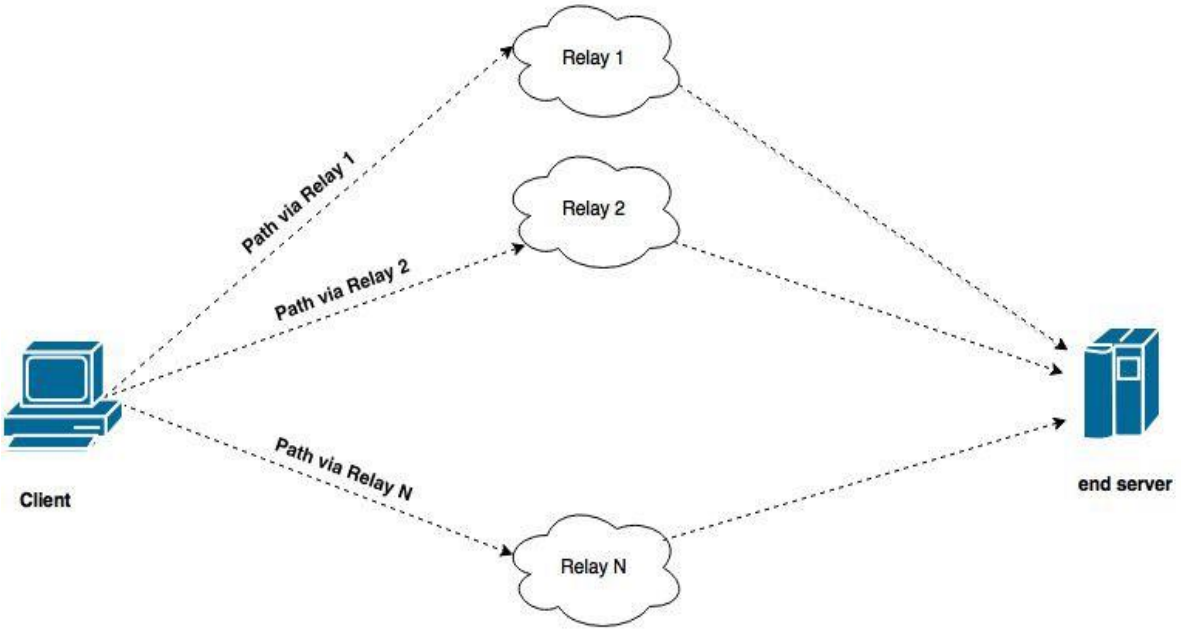
➢ Ταυτόχρονα με το προηγούμενο στάδιο, θα εκτελείται ίσος αριθμός pings από κάθε relay node προς τον end-user (Σχήμα 3). Με βάση τα αποτελέσματα των pings, θα υπολογίζεται το μέσο RTT για κάθε διαδρομή μεταξύ relay node και end-server. Όμοια με το προηγούμενο βήμα, θα εκτελείται επίσης traceroute από κάθε relay node προς τον end-server και θα εξάγετε το πλήθος των hops για κάθε διαδρομή. Η πληροφορία σχετικά με το μέσο RTT αλλά και το πλήθος των hops θα πρέπει να κρατείται στην μεριά του client.



Σχήμα 3

➢ Σαν επόμενο βήμα, ο client θα πρέπει να να συνδιάζει τα αποτελέσματα από το monitoring που έγινε στις διαδρομές μέσω των relay nodes κατά τα προηγούμενα στάδια. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπολογίσει το end-to-end (από τον client προς τον end-server) μέσο RTT και πλήθος hops κάθε διαδρομής που χρησιμοποιεί κάποιον ενδιάμεσο κόμβο (Σχήμα 4). Για παράδειγμα, αν ο client έχει υπολογίσει κατά τις προηγούμενες φάσεις για την διαδρομή client-> relay 1 μέσο χρόνο ίσο με RTT1 και πλήθος hops h1 και αντίστοιχα για την διαδρομή relay1->end-server μέσο RTT ίσο με RTT2 και πλήθος hops ίσο με h2, για την διαδρομή client->relay1->end-server (end-to-end) θα έχουμε μέσο **συνολικό** RTT ίσο με RTT1+RTT2 και **συνολικό** πλήθος από hops ίσο με h1+h2. Η προαναφερθείσα διαδικασία θα γίνει για κάθε διαδρομή από κάθε relay κόμβο. Η παραπάνω συσχέτιση, θα έχει σαν αποτέλεσμα ο client να έχει συνολικά μια εικόνα για όλες τις ενδιάμεσες διαδρομές προς τον end-server σχετικά με το latency και το number of hops.

Προσοχή: ανάμεσα στον client και τον end-server θεωρείστε ότι παρεμβάλεται **ένας μόνο** relay κόμβος.



Σχήμα 4

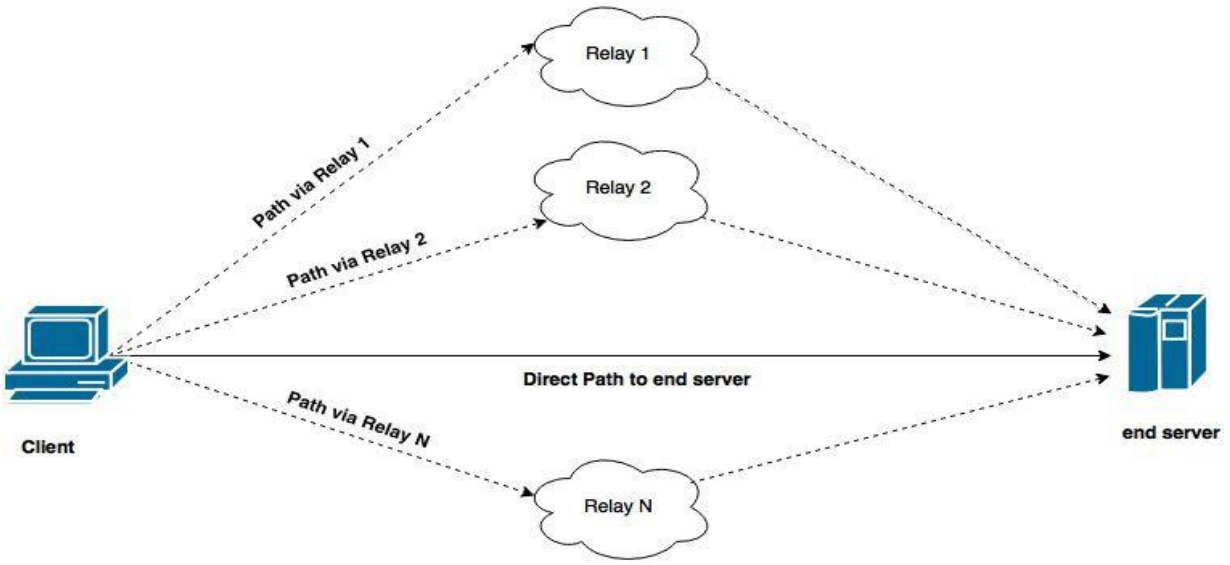
➢ Στο τελευταίο στάδιο, ο client καλείται με βάση ένα από τα 2 κριτήρια που έχει επιλέξει στο 2ο bullet, να επιλέξει το κατάλληλο μονοπάτι για την επικοινωνία του με τον end-server. Το μονοπάτι αυτό μπορεί να είναι είτε το απευθείας (Direct Mode) είτε κάποιο με χρήση ενδιάμεσου κόμβου (Relay Mode) (Σχήμα 5). Ένα μονοπάτι χαρακτηρίζεται ως καλύτερο αν ελαχιστοποιεί το κριτήριο με βάση το οποίο πρέπει να γίνει η επιλογή (latency ή number of hops). Έτσι, στην περίπτωση που υπάρχουν N ενδιάμεσοι κόμβοι, το συνολικό πλήθος διαδρομών P ισούται με N+1 και έτσι η τελική διαδρομή p* θα προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$p^* = \{p \in P: \arg\min C(p)\}$$

όπου C(p) είναι το κριτήριο (latency ή number of hops) για τη εκάστοτε διαδρομή p.

Σε περίπτωση που 2 ή περισσότερα μονοπάτια εμφανίζουν ίδια τιμή για το ένα κριτήριο, θα πρέπει να κάνετε εκ νέου σύγκριση με το άλλο κριτήριο για να λάβετε τελική απόφαση. Αν και πάλι εμφανίζονται παραπάνω από ένα κατάλληλα μονοπάτια, θα επιλέγετε τυχαία.

Με βάση το μονοπάτι που επιλέξατε, **θα πρέπει να κατεβάσετε το αρχείο target-file** όπως περιγράφεται μέσα στο αρχείο files2download.txt και θα υπολογίζετε τον χρόνο που απαιτήθηκε για να κατέβει ολόκληρο το αρχείο. Έτσι αρχικά η εφαρμογή σας θα ενημερώνει τον client για την διαδρομή που εν τέλει επιλέχθηκε προς τον συγκεκριμένο end server και στη συνέχεια θα ζητάει ως input από command line το url του αρχείου που επιθυμείτε να κατεβάσετε προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία.



Σχήμα 5

Υλοποίηση Client:

Ο client θα παίρνει ως όρισμα το όνομα ενός αρχείου που θα περιέχει τις Domain διευθύνσεις των end-servers. Το format του αρχείου θα είναι ως εξής:

Domain Address, alias

Για παράδειγμα

www.google.com, google

www.uoc.gr, uoc

.

.

.

Με άλλα λόγια θα έχετε μια λίστα με διευθύνσεις IP και ψευδόνυμα που θα περιγράφουν τους end servers με τους οποίους θα επιτρέπεται η επικοινωνία.

Το δεύτερο όρισμα που θα δέχεται το πρόγραμμα που εκτελείται στην πλευρά του client θα είναι το όνομα του αρχείου που θα περιέχει τις IP διευθύνσεις των relay κόμβων καθώς επίσης και την πόρτα που προσφέρουν για επικοινωνία με τους clients, δηλαδή το format του αρχείου θα είναι

alias, IP Address, port number

Για παράδειγμα, ένα αρχείο με όνομα relays_list.txt θα είχε την ακόλουθη μορφή:

my_relay1, 18.18.18.18 , 1025

my_relay2, 118.118.118.118 , 1026

.

.

.

Η παραπάνω σύνταξη εννοεί ότι ο relay node με όνομα my_relay1 έχει IP διεύθυνση 18.18.18.18 και επιτρέπει σε οποιονδήποτε client να συνδεθεί στην πόρτα με αριθμό 1025 κ.ο.κ.

Μετά την παραπάνω διαδικασία, το script στην πλευρά του client θα ζητάει ως input από command line το alias του end-server με τον οποίο θα υπάρξει επικοινωνία, το πλήθος των pings που θα χρησιμοποιηθούν από την εφαρμογή σας και το κριτήριο που θα χρησιμοποιηθεί για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής (number of iterations).

Η λειτουργικότητα του script περιγράφεται με σαφήνεια από την προηγούμενη ενότητα. Συνοπτικά, οι λειτουργίες του client είναι:

- Αποστολή pings προς τον end-server, ο αριθμός των οποίων προσδιορίζεται από το input από τον χρήστη και traceroute και κατόπιν εξαγωγή του μέσου RTT και number of hops που χαρακτηρίζουν την direct επικοινωνία client-end server.

- Αποστολή εντολής προς κάθε relay node, για να εκτελεστούν pings προς τον end-server ο αριθμός των οποίων προσδιορίζεται από το input του χρήστη και 1 traceroute και κατόπιν εξαγωγή του μέσου RTT και number of hops που χαρακτηρίζουν την ζεύξη relay node-end server. Τα παραπάνω αποτελέσματα πρέπει να λαμβάνονται από τον client μέσω sockets.

- Αποστολή pings προς κάθε relay node, ο αριθμός των οποίων προσδιορίζεται από το input από τον χρήστη και traceroute και κατόπιν εξαγωγή του μέσου RTT και number of hops που χαρακτηρίζουν την επικοινωνία client-relay node.

- Συνδυασμός των παραπάνω πληροφοριών και υπολογισμός του συνολικού μέσου RTT και number of hops για κάθε διαδρομή μέσα από κάθε relay node.

- Επιλογή της κατάλληλης διαδρομής με βάση το κριτήριο που ζητήθηκε.

- Αίτημα λήψης αρχείου από τον end-server και υπολογισμός χρονικού διαστήματος που απαιτήθηκε.

Να σημειωθεί ότι για την επικοινωνία μεταξύ client ↔ end-server και client ↔ relay-node θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν **TCP sockets,** όπως περιγράφονται στα φροντιστήρια του μαθήματος.

Κατά την επικοινωνία client <-> relay και αντίστροφα θα **πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης** όπως περιγράφεται εκτενώς στην **ενότητα 3.2**.

Για την **ταυτόχρονη** εκτέλεση πολλαπλών διεργασιών, **θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν threads**.

Υλοποίηση Relay-node:

Η λειτουργικότητα του script που θα εκτελείται στην πλευρά του κάθε relay node θα πρέπει να εξυπηρετεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

➔ Κάθε relay node θα ανοίγει socket στην πόρτα που επιτρέπει επικοινωνία με τον client, όπως θα περιγράφονται στο αρχείο relay_nodes.txt.

➔ Ο κάθε relay node θα είναι υπεύθυνος, μετά από υπόδειξη του client, να στέλνει αριθμό pings ίσο με number of iterations προς τον επιλεγμένο end-server και να υπολογίζει το μέσο χρόνο RTT. Επίσης εκτελώντας traceroute, θα πρέπει να υπολογίζεται το πλήθος των hops από τον relay node προς τον end-user. Οι 2 αυτές τιμές θα πρέπει να αποστέλονται με χρήση socket στον client και να αποθηκεύονται εκεί.

3.2 Υλοποίηση Κρυπτογραφημένης επικοινωνίας Client -> Relay & Relay -> Client:

Αρχικά θα πρέπει να εγκαταστήσετε το πακέτο Crypto στην python.

Για python η εντολή είναι:

pip install pycrypto --user

Client:

Ο client δημιουργεί ένα ζευγάρι public & private κλειδιών τα οποία χρησιμοποιεί για την επικοινωνία με όλους τους relay nodes. Μόλις συνδέεται ο client στον relay στέλνει το public κλειδί του στον relay μαζί με το signature του δικού του public κλειδιού.

Relay:

Από την μεριά του ο relay θα πρέπει να δημιουργήσει ένα public και ένα private κλειδί. Μόλις συνδεθεί ο relay στον client θα γίνει αποστολή του public κλειδιού του μαζί με ένα signature του κλειδιού του. Κατόπιν περιμένει από τον client να λάβει το signed public κλειδί και αφού το κάνει verify να ξεκινήσει την ασφαλή επικοινωνία.

Με την διαδικασία του signing εξασφαλίζετε πως το κάθε μέρος της σύνδεσης μπορεί να επιβεβαιώσει την ταυτότητα του αλλού καθώς και την εγκυρότητα του public κλειδιού που έλαβε.

Workflow Κρυπτογράφησης: (Μετά την αρχική ανταλλαγή κλειδιών)

1) Δημιουργεί το μήνυμα (plaintext)
2) Δημιουργεί ένα signature του μηνύματος με το private key του (δημιουργεί ένα hash του μηνύματος και το κρυπτογραφεί με το private key του)
3) Προσθέτει το signature στο μήνυμα
4) Κρυπτογραφεί το υπογεγραμμένο μήνυμα με το public key του άλλου μέρους και το αποστέλλει

Workflow Αποκρυπτογράφησης: (Μετά την αρχική ανταλλαγή κλειδιών)

1) Αποκρυπτογραφεί το μήνυμα που έλαβε με το private key του
2) Διαχωρίζει το μήνυμα από το signature (Γνωρίζουμε το format του μηνύματος)
3) Γνωρίζοντας από ποιον ήρθε το μήνυμα ξέρει ποιο public κλειδί να χρησιμοποιήσει για να κάνει verify το signature και να επιβεβαιώσει την ταυτότητα του αποστολέα και το integrity του μηνύματος.

Χρήσιμες συναρτήσεις:

SHA256 (from Crypto.Hash)
AES (from Crypto.Cipher)
RSA (from Crypto.PublicKey)
RSA.importKey
Για την ανάγνωση του signature κατά το στάδιο του verify χρησιμοποιήστε την μέθοδο eval().

Bonus:

Όταν ολοκληρωθεί η επιτυχημένη κρυπτογραφημένη επικοινωνία μέσω public & private key θα πρέπει ο client να δημιουργήσει ένα symmetric key μέσω του αλγορίθμου AES και να το αποστείλει στον relay. Η αποστολή του symmetric key θα πρέπει να γίνεται μέσω της κρυπτογράφησης public & private key που έχετε υλοποιήσει. Στην συνέχεια όλα τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ τους θα πρέπει να κρυπτογραφούνται μέσω του symmetric key..

Σημείωση: στα scripts σας φροντίστε να εκτυπώνονται ενδεικτικά μηνύματα που θα υποδηλώνουν την σωστή λειτουργία της εφαρμογής σύμφωνα με τις απαιτήσεις που σας ζητήθηκαν.

4. Παραδοτέα

4.1 Οδηγίες σχετικά με τα παραδοτέα

Μέσα στον φάκελο που θα παραδώσετε θα περιέχονται τα ακόλουθα:

- Ένα αρχείο που περιέχει την υλοποίηση της λειτουργικότητας του client με όνομα **client.py** ή **client.c** ή **client.cpp** ανάλογα με την γλώσσα προγραμματισμού που επιλέξατε.

- Ένα αρχείο που περιέχει την υλοποίηση της λειτουργικότητας του relay node με όνομα **relay_node.py** ή **relay_node.c** ή **relay_node.cpp** ανάλογα με την γλώσσα προγραμματισμού που επιλέξατε.

- Μια αναφορά σε μορφή .pdf που θα περιέχει περιγραφή της υλοποίησής σας καθώς επίσης και σχολιασμό των αποτελεσμάτων

- Ένα αρχείο με όνομα readme.txt που θα περιέχετε ένα παράδειγμα κλήσης σε καθένα από τα scripts που θα παραδώσετε.

- Το αρχείο με τις πληροφορίες για τους end-servers με όνομα end_servers.txt.

- Το αρχείο με τις πληροφορίες για τους relay nodes με όνομα relay_nodes.txt.

- Ένα αρχείο με όνομα members.txt που θα αναφέρει το ονοματεπώνυμο και το ΑΜ και των 2 μελών της ομάδας.

4.2 Οδηγίες TURNIN

Παραδίδετε το project εκτελώντας την εντολή:

turnin project2019@hy335b your_folder

Ένα μέλος από κάθε ομάδα θα πρέπει να κάνει turnin την παραδοτέα εργασία.

Εκπρόθεσμες εργασίες θα γίνονται δεκτές μέχρι την Τρίτη 21/05/2019 23:59 με μείωση κατά 25% για κάθε επιπλέον μέρα από το αρχική διορία (19/05/2019).

Όλα τα project θα ελεγχθούν για αντιγραφές με την χρήση του MOSS.

4.3 Προφορική Εξέταση

Μετά την παράδοση του project θα εξεταστείτε προφορικά πάνω στην εργασία σας. Είναι υποχρεωτικό να παρευρίσκονται όλα τα μέλη της ομάδας στην εξέταση.

4.4 Βαθμολογία

Η βαρύτητα της άσκησης είναι 20% επί του συνολικού βαθμού.

Για απορίες, ερωτήσεις και οποιαδήποτε διευκρίνιση χρησιμοποιήστε το forum από το Moodle του μαθήματος.

Καλή επιτυχία!