



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή

Δίκτυα Υπολογιστών II

Θεόδωρος Κατζάλης
ΑΕΜ:9282
katzalis@auth.gr

December 1, 2020

Contents

1	Εισαγωγή	2
2	Session 1	2
2.1	Echo packets Delay: ON	2
2.1.1	Χρόνος απόκρισης	2
2.1.2	Ρυθμαπόδοση	3
2.2	Echo packets Delay: OFF	3
2.2.1	Χρόνος απόκρισης	3
2.2.2	Ρυθμαπόδοση	4
2.3	Retransmission timeout (RTO)	4
2.4	Image	4
2.5	Audio	5
2.5.1	AQ-DPCM	5
2.5.2	DPCM	6
2.5.3	Tone frequency	6
2.6	Ithakicopter - autopilot	6
2.6.1	Car vehicle diagnostics	7
3	Section 2	7
3.1	Echo Packets Delay:ON	7
3.1.1	Χρόνος απόκρισης	7
3.1.2	Ρυθμαπόδοση	8
3.2	Echo Packets Delay:OFF	8
3.2.1	Χρόνος απόκρισης	8
3.2.2	Ρυθμαπόδοση	8
3.3	Retransmission timeout RTO	8
3.4	Audio	8
3.4.1	Tone frequency	8
3.5	Car vehicle diagnostics	8
4	Ανάλυση πηγαίου κώδικα	9
4.1	User Interface	9
5	UDP	11
6	Audio streaming protocols	12
6.1	HTTP	12
6.2	SHOUTcast και Icecast	12
6.3	WebRTC	12
6.4	RTMP	12

1 Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη εργασία αποσκοπεί στην εξοικείωση εννοιών σχετικά με τα δίκτυα υπολογιστών τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Αυτό εξασφαλίζεται με την δημιουργία δικτυακών εφαρμογών χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού **java** σε συνεργασία με τον server **ithaki** του μαθήματος με IP 155.207.18.208. Αυτή λοιπόν η συνεργασία επιτρέπει **active** έλεγχο και καθορισμό ορισμένων παραμέτρων αλλά και **passive** συλλογή δεδομένων επείτα απο συγκεκριμένα request του χρήστη στον server. Προς το τέλος αυτού του report θα γίνει αναφορά για πρωτόκολλα UDP και audio streaming.

Ενδεικτικά θα σημειώσουμε τις εφαρμογές που βασιστήκαμε για να συλλέξουμε πληροφορίες απο την πλευρά του client με μια σύντομη περιγραφή τους. Η πλειοψηφία αυτών βασίζεται στο πρωτόκολλο UDP:

- **Echo.** Αποστολή μηνύματος της μορφής EXXXX και λήψη πακέτου με δεδομένα που αφορούν την τρέχουσα ημερομηνία και ώρα.
- **Image.** Αποστολή μηνύματος της μορφής MXXXX και λήψη πακέτων που περιλαμβάνουν το byte content μιας φωτογραφίας jpg. The challenge: Βρες τους delimiters, την αρχή και το τέλος της εικόνας
- **Audio.** Αποστολή μηνύματος της μορφής AXXXX και λήψη πακέτων ήχου κωδικοποιημένα σε DPCM και AQ-DPCM. The challenge: Κατανόηση της κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης και βελτίωση της ποιότητας του ήχου.
- **Ithakicopter.** Συλλογή τηλεμετρίας απο custom κατασκευή προσομοίωσης ελικοπτέρου. The challenge: Autopilot
- **Car vehicle diagnostics.** Συλλογή διαγνωστικών στοιχείων απο μια βάση δεδομένων σχετικά με κάποια στοιχεία λειτουργίας ενός αυτοκινήτου. The challenge: Υλοποίηση υπολογισμού δεδομένων και εισαγωγή στο πρωτόκολλο TCP και τα streams.

Όσον αφορά τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στα session1.pdf και session2.pdf, για λόγους πληρότητας, θα αναφέρουμε ότι τα ιστογράμματα έγιναν με την χρήση του λογισμικού στατιστικής SPSS και όλα τα υπόλοιπα με την χρήση της βιβλιοθήκης matplotlib της γλώσσας προγραμματισμού python!

Ακόμη στα πλαίσια του **statement of originality**, έχουμε παραθέσει βιβλιογραφία για τις πηγές στις οποίες βασιστήκαμε για να φέρουμε εις πέρας αυτήν την εργασία. Στο κομμάτι του κώδικα, αρχικός κόμβος ερεθισμάτων αποτέλεσε η αναφορά του ίδιου του μαθήματος. Οπότε θα την παραθέσουμε και πρώτη[25].

2 Session 1

Σχετικά με την χρονοκαθυστέρηση και την ρυθμαπόδοση των echo packets έχουμε να αναφέρουμε τα εξής:

2.1 Echo packets Delay: ON

2.1.1 Χρόνος απόκρισης

- Μέση τιμή: 1815 milliseconds και τυπική απόκλιση: 557 milliseconds
- Αρκετά υψηλή η δεύτερη σε σύγκριση με την πρώτη το οποίο υποδηλώνει ότι τα δείγματα μεταξύ τους δεν είναι "συμπυκνωμένα" και αποκλίνουν σημαντικό βαθμό απο την μέση τιμή.

- Δεν φαίνεται με ξεκάθαρο τρόπο ποια κατανομή ακολουθούν τα δεδομένα μας, ωστόσο με κάποια επιφύλαξη θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι ακολουθούν bimodal κατανομή. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε από την τάση να σχηματιστούν δύο καμπάνες.

2.1.2 Ρυθμαπόδοση

- Μέση τιμή: 109 bits/sec και τυπική απόκλιση: 30.04 bits/sec
- Ομοίως με την μελέτη της χρονικής απόκρισης, η τυπική απόκλιση είναι αρκετά υψηλή, περίπου το 30% της μέσης τιμής.
- Σχετικά με την κατανομή θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι είναι μια right skew κατανομή μιας και παρουσιάζει μια ασυμμετρία γύρω από την μέγιστη τιμή.

Παρατηρώντας το διάγραμμα της **ρυθμαπόδοσης** (throughput) διακρίνουμε ότι το εύρος τιμών κυμαίνεται περίπου από 70 μέχρι 180 bits/second. Αξίζει να σημειωθούν κάποιες σχεδιαστικές αποφάσεις οι οποίες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια υλοποίησης του αλγορίθμου της ρυθμαπόδοσης:

Σύμφωνα με την περιγραφή της άσκησης, ο υπολογισμός έπρεπε να γίνει με την τεχνική του κινούμενου μέσου όρου. Επιλέξαμε τα 8 δευτερόλεπτα ως το χρονικό πλαίσιο λήψης δεδομένων για κάθε δείγμα ρυθμαπόδοσης το οποίο υπολογίζεται για κάθε δευτερόλεπτο σε μήκος 4 συνεχόμενων λεπτών λήψης echo packets. Συνεπώς για τα τελευταία 8 δευτερόλεπτα από τα 4 λεπτά της συνολικής μέτρησης δεν έχουν υπολογιστεί δείγματα ρυθμαπόδοσης.

Η ύπαρξη των spikes στο διάγραμμα ερμηνεύεται από το αν πρόλαβε κάποιο πακέτο στο πλαίσιο των 8 δευτερολέπτων να συμπεριληφθεί στο ένα δείγμα και όχι στο άλλο. Για παράδειγμα, αν έρθει ένα πακέτο την χρονική στιγμή $t_1 = t + 6.5 \text{ second}$, και το επόμενο έρθει την χρονική στιγμή $t_2 = t + 8.1$, τότε το δείγμα της ρυθμαπόδοσης που μετρούσε στο εύρος $[t, t + 8]$ δεν θα λάβει υπόψη το πακέτο που έφτασε στα $t + 8.1$. Ωστόσο στο δείγμα της ρυθμαπόδοσης με εύρος μέτρησης $[t+8, t+16]$ θα συμπεριληφθεί η τιμή του. Συγκεκριμένα, η τιμή αυτή είναι $32 \times 8 \text{ bits}$, αφού το κάθε echo packet response περιέχει 32 bytes¹ δεδομένα. Για αυτό μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα spikes διαφέρουν από τα υπόλοιπα δείγματα πολλαπλάσια του 32. Σε μια zoom out έκδοση του γραφήματος θα φαινόταν σίγουρα μια πιο ομαλή καμπύλη.

2.2 Echo packets Delay: OFF

2.2.1 Χρόνος απόκρισης

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η χρονοκαθυστέρηση των δειγμάτων μειώνεται αισθητά σε χαμηλότερες τιμές milliseconds με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε αρκετά περισσότερα δείγματα συγκριτικά με την προηγούμενη περίπτωση. Συνεπώς για λόγους ευκρίνειας² παραθέτουμε μια zoom in έκδοχή του διαγράμματος του χρόνου απόκρισης με εύρος ενδεικτικά 100-200 packets. Σε γενικές γραμμές το εύρος της χρονοκαθυστέρησης κυμαίνεται από 230-260 milliseconds. Πιο συγκεκριμένα έχουμε:

- Μέση τιμή: 237 milliseconds και τυπική απόκλιση: 7 milliseconds
- Συγκριτικά με Delay: ON, βλέπουμε ότι η τυπική απόκλιση είναι αρκετά μικρή σε σχέση με την μέση τιμή, επομένως τα δείγματα δεν έχουν την τάση να είναι "αραιωμένα".
- Σχετικά με την κατανομή μπορούμε να διακρίνουμε την δημιουργία δύο στενών καμπανών γύρω από τις τιμές 232 και 246. Συνεπώς θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε για μια ακόμη φορά bimodal distribution.

¹Ο τρόπος με τον οποίο διαπιστώσαμε το μέγεθος των δεδομένων έγινε με την βοήθεια του wireshark

²engineering appreciation όπως έχει ειπωθεί και στο μάθημα

2.2.2 Ρυθμαπόδοση

Για τις σχεδιαστικές αποφάσεις καθώς και την ερμηνεία των spikes, έχει γίνει ήδη αναφορά στην προηγούμενη ανάλυση (Delay: ON).

Όπως έχει αναφερθεί, ο αριθμός των πακέτων που φτάνουν στον δέκτη είναι πολύ μεγαλύτερος με μικρότερη χρονοκαθυστέρηση μεταξύ των πακέτων, συνεπώς η ρυθμαπόδοση αυξάνεται αισθητά.

- Μέση τιμή: 1040 bits/sec και τυπική απόκλιση: 18 bits/sec.
- Εξίσου μικρή η τυπική απόκλιση συγκριτικά με την μέση τιμή.
- Σχετικά με τη κατανομή μιας και οι τιμές συγκεντρώνεται στο αριστερό κομμάτι του γραφήματος θα μπορούσαμε να υποθέσουμε λογαριθμική κατανομή.

Όσα έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής αφορούν τον σχολιασμό των διαγραμμάτων G1-G8.

2.3 Retransmission timeout (RTO)

Για λόγους γρήγορης και αξιόπιστης επικοινωνίας σχετικά με το πρωτόκολλο TCP, υπάρχει η ανάγκη πρόβλεψης και επαναπροσδιορίσης των παραμέτρων timeout σε ένα σύστημα επικοινωνίας. Πόσο πρέπει να περιμένει ο sender αν δεν λάβει ACK απο τον receiver για να ξαναστείλει την πληροφορία; Ο προσδιορισμός των timers είναι λοιπόν πολύ σημαντικός διότι αν δεν ρυθμιστεί σωστά, υπάρχει η πιθανότητα να ξανασταλθεί πακέτο πολύ γρήγορα προτού ο δέκτης να προλάβει να στείλει ACK ή το ανάποδο, δηλαδή να περιμένει πολύ να ξαναστείλει ένα πακέτο[4, 9].

Υπάρχουν κάποιες μαθηματικές σχέσεις οι οποίες υπολογίζουν τον retransmission timer και υπάρχουν συγκεκριμένα 3 σταθερές α , β και γ . Εμείς επιλέξαμε αρχικά σταθερά τα α και β με τιμές $1 - 1/8 = 0.875$ και $1 - 1/4 = 0.750$. Εσκεμμένα γράψαμε με αυτήν την μορφή τις εξισώσεις προκειμένου να είμαστε συμβατοί με το notation των εξισώσεων που μας δίνονται στα πλαίσια του μαθήματος, μιας και οι αναφορές[14], τα δικά μας α και β , τα συμβολίζουν ως $(1-\alpha)$ και $(1-\beta)$. Για την επιλογή του γ (k σύμφωνα με RFC) δοκιμάσαμε στην αρχή την προτεινόμενη τιμή 4. Στη συνέχεια παρατηρώντας το γράφημα R1 προσπαθήσαμε να φτάσουμε την γραμμή RTO να αγκαλιάζει το RTT, δηλαδή να μην είναι πολύ πάνω αλλά και ούτε απο κάτω του RTT. Τελικά επιλέξαμε την τιμή 1,8 και βλέπουμε ότι ικανοποιητικά η γραμμή RTO ακολουθεί σωστά το RTT.

2.4 Image

Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της εφαρμογής της εικόνας, στην προσπάθειά μας να δημιουργήσουμε real-time video, αλλάξαμε το μέγεθος των πακέτων απο 128 σε 1024 bytes χρησιμοποιώντας το κατάλληλο request code και καταφέραμε λαμβάνοντας 100 δείγματα να δημιουργήσουμε ένα βίντεο 40 δευτερολέπτων κάνοντας merge τα δείγματα αυτά. Το video μπορείτε να το δείτε [εδώ](#). Αξίζει να σημειωθεί ότι για το βίντεο χρησιμοποιήσαμε την κάμερα FIX. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιούσαμε την PTZ για να είχαμε πιο πιστευτή πραγματική αναπαράσταση μιας και ο χρόνος λήψης της εικόνας είναι πιο μικρός εξαιτίας της μικρότερης ανάλυσης της.

Σχετικά με τον χρόνο που αποτυπώνουν οι εικόνες, παρατηρήσαμε ότι στην FIX η ημερομηνία και η ώρα είναι ακριβής, ενώ στην PTZ υπάρχει μια καθυστέρηση της τάξης των 4 λεπτών περίπου. Φυσικά με κατάλληλες εντολές DIR=X, υπάρχει και η δυνατότητα απεικόνισης του πύργου του ΟΤΕ (session 2)!

Σχετικά με την υλοποίηση της λήψης της εικόνας, ελέγχουμε σε κάθε πακέτο που λαμβάνουμε αν υπάρχει ο delimiter 0xFF D9. Αυτή η πληροφορία θα σηματοδοτούσε το τέλος της εικόνας

και έπειτα γράφοντας τα δεδομένα σε ένα αρχείο jpg, υπάρχει η δυνατότητα προβολής. Ωστόσο, αξίζει να αναφέρουμε ότι εξαιτίας ενδεχομένως θορύβου κβάντισης και καναλιού, αυτός ο delimiter μπορεί να μην εντοπιστεί. Βέβαια σε πρώιμες υλοποιήσεις, στις οποίες δεν ελέγχσαμε αν υπήρχαν delimiters, αποθηκεύαμε όλη την πληροφορία και υπήρχε εξίσου η δυνατότητα προβολής (ακόμα και αν υπήρχαν περισσότερα bytes στο τέλος της εικόνας μετά τον delimiter 0xFF D9). Μιας και δεν ειπώθηκε κάτι για τα bytes που σηματοδοτούν την έναρξη της εικόνας, παρατηρήσαμε απο το wireshark ότι η πρώτη πληροφορία που λαμβάνουμε είναι το 0xFF D8 (start of image).

2.5 Audio

Σχετικά με τον ήχο χρησιμοποιήσαμε τους κωδικούς L11 (second clip AQ-DPCM) και L22 για τα ζητούμενα της εργασίας:

- L11: René Aubry³, Après la pluie II
- L22: Edward Maya & Vika Jigulina, Stereo Love

Όσον αφορά τα γραφήματα του ήχου μπορούμε να παρατηρήσουμε το λεγόμενο **clipping effect**. Εξαιτίας της αναδρομικής σχέσης στην αποκωδικοποίηση DPCM και AQ-DPCM για την λήψη των πραγματικών δειγμάτων, υπάρχει περίπτωση οι τιμές των samples να υπερβούν τις μέγιστες και τις ελάχιστες των 8 και 16 bits προσημασμένου ακεραίου που χρησιμοποιήθηκαν για την κβάντιση τους. Οπότε προκειμένου να αποφύγουμε το ενδεχόμενο να γίνει roll back απο την μεγαλύτερη τιμή στην μικρότερη, κάθε φορά που ο integer (32 bits) ξεπερνούσε την μέγιστη τιμή ή την ελάχιστη τιμή των bits κωδικοποίησης, τότε το θέταμε ίσο με το μέγιστο ή το ελάχιστο αντίστοιχα. Για αυτό το λόγο επίσης μπορούσε να ερμηνεύσουμε και στο ιστόγραμμα, ιδιαίτερα υψηλές τιμές στις ελάχιστες όπου γινόταν το clipping.

Επειδή ο αριθμός των δειγμάτων είναι ιδιαίτερα υψηλός, έχουμε προσθέσει στα διαγράμματα ήχου και zoom in εκδοχές προκειμένου να έχουμε μια αίσθηση του τρόπου διακύμανσης των τιμών σε τοπικό επίπεδο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το διάγραμμα του τόνου, απο την εικονική γεννήτρια συχνοτήτων, στο οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε το σχηματισμό ενός ημιτονοειδούς σήματος!

Σχετικά με την μέση τιμή, η οποία προστίθεται στα δείγματα, έχει μικρή τιμή συγκριτικά με τις διαφορές των δειγμάτων οι οποίες καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό απο τις μεγάλες τιμές του step.

Το request code audio που φαίνεται στο wireshark αντιστοιχίζεται στην κυματομορφή AQ-DPCM (G9), ενώ τα υπόλοιπα δείγματα έχουν ληφθεί για το ίδιο τραγούδι αλλά διαφορετικές χρονικές στιγμές.

2.5.1 AQ-DPCM

- Το ιστόγραμμα των διαφορών των δειγμάτων για AQ-DPCM δείχνει μια τριγωνική/κανονική κατανομή αν και παρουσιάζεται μια έντονη ασυμμετρία γύρω απο ένα spike. Αυτό εμφανίζεται στην τιμή 0, το οποίο σημαίνει ότι κάποια δείγματα ήταν ίδια. Οι τιμές των δειγμάτων έχουν υψηλές τιμές της τάξης των χιλιάδων με μέση τιμή -48 και τυπική απόκλιση κοντά στα 4000.
- Το ιστόγραμμα των ίδιων των σημάτων φαίνεται να ακολουθεί μια κανονική κατανομή με μέση τιμή -11600 και τυπική απόκλιση 10282. Το clipping effect συμβάλει στο spike του ιστογράμματος, καθώς πολλές τιμές που υπερβαίνουν τα όρια συγκεντρώνονται σε εκείνη την περιοχή, δηλαδή την ελάχιστη τιμή των 16 bits προσημασμένου ακεραίου.

³Τρομερός συνθέτης. Τυχερός που τον βρήκα στο L11.

2.5.2 DPCM

Το DPCM απο την άλλη πλευρά μας δείχνει δύο πολύ καθαρά γραφήματα όσον αφορά τις διαφορές των δειγμάτων και των ίδιων των δειγμάτων. Τα δεδομένα και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται να ακολουθούν τριγωνική κατανομή. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές είναι αρκετά πιο χαμηλές σε σύγκριση με το AQ-DPCM, μιας και θεωρούμε ότι το step είναι ίσο με 1, σε αντίθεση με το AQ στο οποίο μας έρχεται ως πληροφορία το step και έχει και ιδιαίτερα υψηλές τιμές επηρεάζοντας σημαντικά τις διαφορές των δειγμάτων και ως συνεπακόλουθο και τα ίδια τα δείγματα.

2.5.3 Tone frequency

Γνωρίζουμε ότι η εικονική γεννήτρια συχνοτήτων παράγει δύο ημίτονα και στέλνει την πληροφορία με κωδικοποίηση DPCM. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο audacity, προκειμένου να βρούμε τις συχνότητες, παρατηρώντας τα spikes του spectrum plot, μπορούμε να εικάσουμε επιλέγοντας τις υψηλότερες κορυφές, ότι οι συχνότητες των ημιτόνων είναι 421 και 343 Hz.

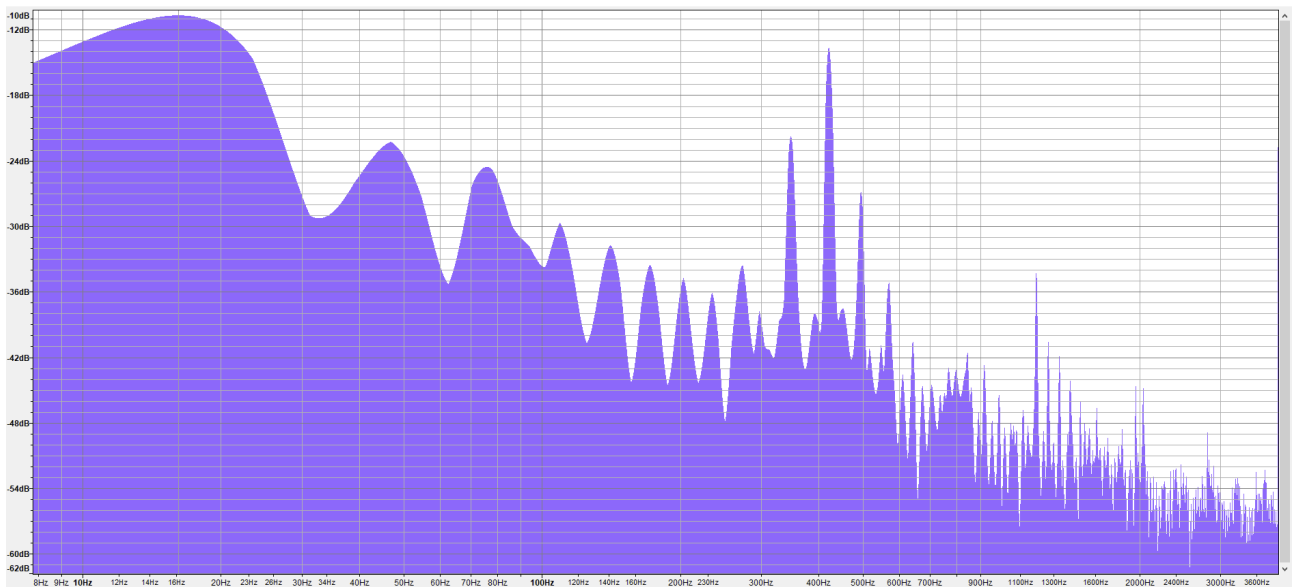


Figure 1: Frequency spectrum απο δείγμα της εικονικής γεννήτριας συχνοτήτων

2.6 Ithakicopter - autopilot

Σχετικά με το ithakicopter επιλέγοντας AUTOPILOT:ON, έχουμε την δυνατότητα να καθορίσουμε ένα flightlevel στο οποίο το copter προσπαθεί με σταθερό ρυθμό να φτάσει και να παραμείνει εκεί. Βλέποντας την καμπύλη του ALTITUDE στα γραφήματα φαίνεται η ανοδική πορεία, μια μικρή σταθεροποίηση και έπειτα η πτώση (πατώντας AUTOPILOT:OFF).

Στην δεύτερη μας μέτρηση πειραματιστήκαμε λίγο παραπάνω και επιτηδευμένα στείλαμε προς τα κάτω το copter αφού είχαμε φτάσει στο επιθυμητό flightlevel, ωστόσο ο μηχανισμός autopilot έκανε σωστά την δουλειά του και προσπάθησε να το επαναφέρει.

Ithakicopter αλλα TCP version: Προσπαθήσαμε και εμείς με την δική μας σειρά αρχικά να στείλουμε εντολές μέσω TCP και κατ' επέκταση να προσπαθήσουμε να υλοποιήσουμε τον μηχανισμό autopilot. Κάτι το οποίο αξίζει να αναφερθεί είναι ότι την στιγμή δημιουργίας του TCP socket, χωρίς να υπάρξει κάποιο write, η ithaki μας έστειλε κάτι σαν εισαγωγικό μήνυμα το οποίο μας έλεγε κάποιες πληροφορίες για το format της εντολής που πρέπει να σταλθεί προκειμένου να έχει απόκριση ο server. Οπότε αυτά τα bits θα έπρεπε πρώτα να γίνουν skip, πρώτου γίνει προσπάθεια λήψης τηλεμετρίας μετά απο εντολή write.

Στα πλαίσια λοιπόν του TCP ithakicopter, προσπαθήσαμε στη συνέχεια να υλοποιήσουμε το **autopilot**. Στην αρχή ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήσαμε τις συναρτήσεις και τον σχεδιασμό της εργασίας, είχαμε μια ρουτίνα `tcp` η οποία και άκουγε αλλά και έστελνε πακέτα. Προκειμένου να έχουμε μια ρουτίνα η οποία μόνο θα ακούει και ανάλογα το `feedback` θα πρέπει να στέλνουμε νέα `commands`, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ήδη το UDP `passive` κομμάτι τηλεμετρίας και το TCP μόνο όταν πρέπει να στείλουμε νέες τιμές στα `motors` για να ελέγχουμε το ύψος. Προς το παρόν δεν έχει γίνει κάποιος μαθηματικός υπολογισμός (θεωρία Συστημάτων Αυτομάτου ελέγχου) και ο `autopilot` το μόνο που μπορεί να κάνει είναι να κρατάει τους `motors` σε ένα εύρος τιμών καθορισμένο απο δύο μεταβλητές. Δεν μπορέσαμε δηλαδή να βρούμε αντιστοίχιση επίδρασης `motors` σε `altitude` και σίγουρα η συγκεκριμένη υλοποίηση είναι αρκετά μακριά απο αυτήν που υπάρχει ήδη!

2.6.1 Car vehicle diagnostics

Η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτέλεσε το έναυσμα ενασχόλησης με το TCP πρωτόκολλο και τα `Input` και `Output streams`. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα αρχικά στάδια της εργασίας προσπαθώντας να χειριστούμε τα `streams`, συγκεκριμένα μάλιστα για το `input`, χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο `readAllBytes()`. Με την κλήση αυτής της μεθόδου το πρόγραμμα σταματούσε για αρκετά δευτερόλεπτα περιμένοντας να συλλέξει δεδομένα απο το `stream`. Ωστόσο έπειτα απο μια τέτοια κλήση δεν υπήρχε η δυνατότητα με το ίδιο `stream` να γράψεις στο `output` και να ακούσεις ξανά. Σε κάθε τέτοια προσπάθεια λαμβάναμε `null` πακέτα. Χωρίς να είμαστε ιδιαίτερα σίγουροι γιατί συνέβαινε αυτό, μπορούμε να εικάσουμε ότι έκλεινε το `stream` και δεν μπορούσες να το ξαναχρησιμοποιήσεις. Ωστόσο χρησιμοποιώντας μεθόδους που διαβάζουν `bits` ή `lines`, δεν υπήρχε τέτοιο πρόβλημα και μάλιστα λαμβάνουμε τα δεδομένα πολύ γρήγορα χωρίς να υπάρχει κάποιου είδους αναμονή όπως γινόταν με το `readAllBytes()`.

Όσον αφορά τις μετρήσεις μας, το χρονικό παράθυρο ήταν 4 λεπτά πραγματικού χρόνου και όχι 4 λεπτά λειτουργίας του οχήματος. Δηλαδή στην συνθήκη επανάληψης δεν ελέγχαμε τι τιμές επιστρέφονται απο την μεταβλητή του χρόνου λειτουργίας της μηχανής. Ωστόσο μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα 4 λεπτά λειτουργίας του οχήματος είναι υποσύνολο του πραγματικού χρόνου οπότε έχουμε και μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της εξέλιξης των μετρήσεων.

3 Section 2

Στο session 2 επαναλάβαμε ακριβώς οτι είχαμε κάνει στο session 1 με διαφορά περίπου δύο ημερών. Δεν θα αναφέρουμε σχολαστικά τους συλλογισμούς μας, μιας και τα περισσότερα έχουν ειπωθεί στο session 1. Ωστόσο θα σημειώσουμε τα στοιχεία των γραφημάτων.

3.1 Echo Packets Delay:ON

3.1.1 Χρόνος απόκρισης

- Μέση τιμή: 1271 milliseconds και τυπική απόκλιση: 442.143 milliseconds.
- Εξίσου μεγάλη η δεύτερη τιμή συγκριτικά με την μέση τιμή άρα οι τιμές δεν είναι συγκεντρωμένες γύρω απο ένα στενό εύρος τιμών.
- Σχετικά με την κατανομή παρατηρούμε ότι υπάρχει μια τάση οι τιμές να μαζεύονται προς τα αριστερά. Μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την κατανομή ως *right skewed*.

3.1.2 Ρυθμαπόδοση

- Μέση τιμή: 171 bits/second και τυπική απόκλιση: 42 bits/second.
- Επειδή οι τιμές συγκεντρώνονται στο ένα άκρο και φθίνουν σημαντικά καθώς προχωράμε προς τα δεξιά θα μπορούσαμε να υποθέσουμε λογαριθμική κατανομή.

3.2 Echo Packets Delay:OFF

3.2.1 Χρόνος απόκρισης

- Μέση τιμή: 238 milliseconds και τυπική απόκλιση: 7 millisecond.
- Όπως και στο session 1 παρατηρούμε οι τιμές να συγκεντρώνονται γύρω από δύο κορυφές, οπότε θα υποθέσουμε και πάλι bimodal κατανομή.

3.2.2 Ρυθμαπόδοση

- Μέση τιμή: 1037 bits/second και τυπική απόκλιση: 19 bits/second
- Ομοίως θα υποθέσουμε λογαριθμική κατανομή

3.3 Retransmission timeout RTO

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι χρησιμοποιώντας τις ίδιες σταθερές και πιο συγκεκριμένα το ίδιο $\gamma = 1.8$ αλλά διαφορετικό δείγμα, παρατηρούμε ότι η γραμμή RTO είναι πιο κοντά στο RTT συγκριτικά με το session 1. Υπάρχουν μάλιστα και κάποια σημεία όπου το rtt είναι υψηλότερα από το rto, το οποίο υποδηλώνει ότι θα ξαναστέλναμε πακέτο προτού εξαληφθούν όλες οι πιθανότητες επιβεβαίωσης λήψης πακέτου. Αυτό μας υπογραμμίζει ότι η ρύθμιση των βέλτιστων timers και των σταθερών είναι μια δυναμική διαδικασία.

3.4 Audio

Για τα δεδομένα του session 2 στο κομμάτι του ήχου χρησιμοποιήσαμε τα κομμάτια L01 και L02. Αυτήν την φορά η κυματομορφή είναι κωδικοποίησης DPCM.

- L01: Helena Paparizou, My Number One
- L02: French Affair, Comme Ci Comme Ca

Τα γραφήματα παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες και παρόμοιες κατανομές με αυτές του session 1. Μπορούμε να διακρίνουμε για μια ακόμη φορά το clipping effect.

3.4.1 Tone frequency

Μια αρκετά πιο καθαρή εικόνα (Figure 2) σε σύγκριση με το plot spectrum στο session 1. Με παρόμοια λογική βλέποντας τις υψηλότερες κορυφές εικάζουμε ότι οι συχνότητες είναι 1024 και 349 Hz.

3.5 Car vehicle diagnostics

Παρατηρούμε ότι τα δεδομένα είναι ακριβώς τα ίδια αν και λήφθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

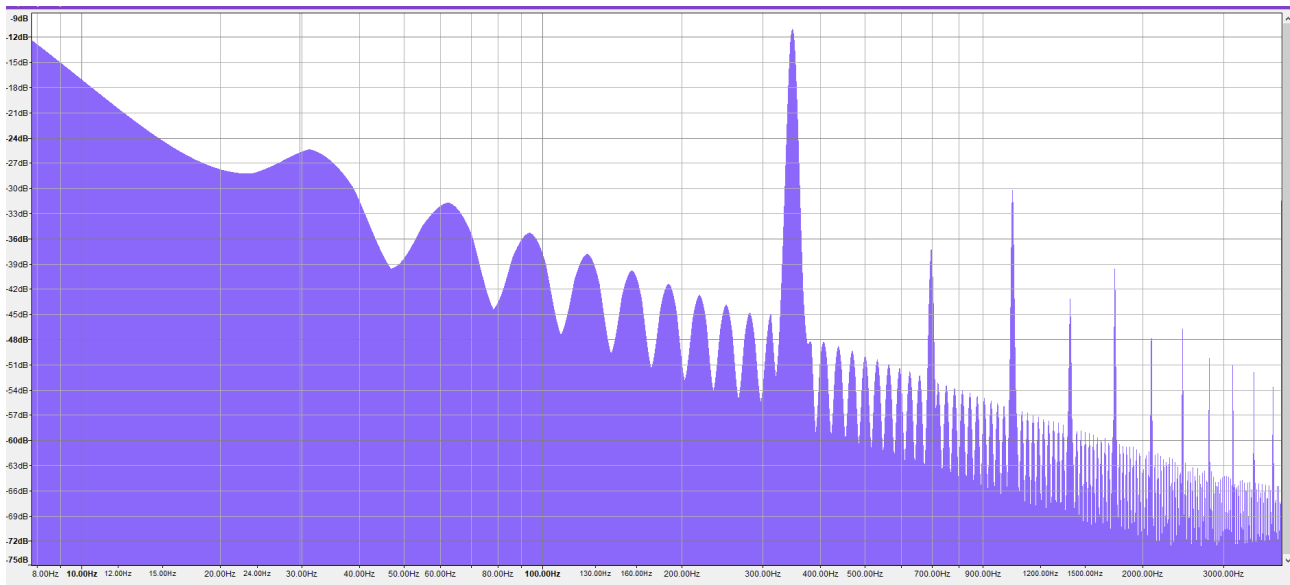


Figure 2: Frequency spectrum, 1042 Hz and 349 Hz

4 Ανάλυση πηγαίου κώδικα

Σε γενικές γραμμές έχουμε ήδη αναφέρει κατα τη συγγραφή του report κάποια στοιχεία σχετικά με την συλλογιστική πορεία που ακολουθήσαμε για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση των αλγορίθμων που απαιτούνται για την εργασία. Βασιστήκαμε σε πολλές πηγές και θα προσπαθήσουμε να παραθέσουμε κάποιες απο αυτές.

- Μια γρήγορη ανακεφαλαίωση της γλώσσας προγραμματισμού java [3]
- Εισαγωγή σε Datagram Sockets [2, 11]
- Πως να γράψεις byte array σε αρχείο; [8]
- Μετατροπή byte σε hexadecimal [13]
- Εισαγωγή σε εφαρμογές ήχου χρησιμοποιώντας java [12]
- Little endian και Big endian σε εφαρμογές ήχου [15]
- Πως να γράψω ήχο σε αρχείο [16]
- Εισαγωγή σε TCP [19, 10, 1]
- How to parse strings in java? [17]

Επίσης να σημειώσουμε ότι προσπαθήσαμε ως επι το πλείστον να κάνουμε καλή διαχείριση errors και try, catch blocks προκειμένου να εντοπίζουμε γρήγορα προβλήματα αλλά και να μην διακόπτεται η λειτουργία του προγράμματος για ενδεχομένως "ασήμαντα" errors.

4.1 User Interface

Προτού αναφερθούμε στα UDP και audio streaming protocols που έρχονται στη συνέχεια, θα θέλαμε να αναφέρουμε συνοπτικά το διαδραστικό menu του χρήστη για αισθητικούς αλλά και οργανωτικούς/πρακτικούς λόγους. Πιο συγκεκριμένα, την στιγμή έναρξης της java εργασίας παρουσιάζεται ένα "welcome logo"⁴ και παρακινεί τον χρήστη να πατήσει ENTER προκειμένου να ξεκινήσει η εργασία.

⁴The so called ascii art!

5 UDP

Τα UDP (User Datagram Protocol) και TCP (Transmission Control Protocol) είναι δύο πολύ βασικά και γνωστά πρωτόκολλα στον χώρο των δικτύων και αφορούν το 4ο επίπεδο, transport layer, του OSI (Open Systems Interconnection) communication model. Συγκεκριμένα για το UDP, είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο θέτει ως προτεραιότητα την ταχύτητα της επικοινωνίας παρά την αξιοπιστία⁵. Η δομή του δεν προβλέπει την επιβεβαίωση των πακέτων αποστολής στον επιθυμητό receiver και η αποστολή γίνεται με την λεγόμενη τεχνική **best effort**. Με λίγα λόγια, ο πομπός στέλνει και ο δέκτης λαμβάνει ό,τι κατάφερε η σύνθετη δομή των δικτύων να μεταφέρει, συμπεριλαμβάνοντας διάφορες πηγές θορύβου. Αυτός ο τρόπος καθίδρυσης επικοινωνίας επιφέρει, από την άλλη πλευρά, σημαντικά πλεονεκτήματα στην ταχύτητα λήψης πληροφορίας και στον αριθμό των δεδομένων σε σύντομα χρονικά διαστήματα. Για αυτόν τον λόγο εφαρμόζεται συνήθως σε time-sensitive εφαρμογές όπως για παράδειγμα VoIP, audio και συγχρονισμού ώρας, προκειμένου να αποφευχθεί το overhead των handshakes σε υλοποίηση TCP [20, 21].

Οι θύρες ή αλλιώς τα λεγόμενα **ports**, μια επίσης πολύ συνηθισμένη και βασική έννοια των δικτύων, στα πλαίσια του 4 επιπέδου, είναι ένας **λογικός** τρόπος καταμοίρασμού των εργασιών που υλοποιεί ένας υπολογιστικός κόμβος σε ένα δίκτυο. Ένας server μπορεί να είναι υπεύθυνος για διάφορα είδη αιτημάτων και υπηρεσιών. Προκειμένου να διαχωρίσουμε τι ζητάει ένας χρήστης από ένα server υπάρχει μια σύμβαση όσον αφορά τον αριθμό του port που αντιστοιχεί σε κάθε εφαρμογή. Η ίδια λογική των ports εφαρμόζεται τόσο από την πλευρά του server όσο και από την πλευρά του client. Η διαφορά είναι ότι συνήθως ports που σχετίζονται με υπηρεσίες των servers είναι standard/προκαθορισμένα (**well known ports**) ενώ στην πλευρά του client, το λειτουργικό σύστημα αυθαίρετα αναθέτει αριθμό port. Συνεπώς οι θύρες είναι μια αρκετά σημαντική πληροφορία. Στο πρωτόκολλο UDP εμπεριέχεται στο **header** των fixed 8 bytes. Πιο συγκεκριμένα ένα UDP πακέτο αποτελείται από τον header και τα data/δεδομένα. Στον header υπάρχουν "εισαγωγικές" πληροφορίες για το είδος των δεδομένων και τον σκοπό της επικοινωνίας. Αναλυτικότερα αποτελείται από 4 τμήματα των 2 bytes το καθένα. Αυτά είναι το source port, ο αριθμός port δηλαδή του κόμβου του δικτύου που στέλνει πληροφορία/αίτημα, destination port, σε ποιον πηγαίνει το πακέτο, length, το μήκος του πακέτου και τέλος το checksum, το οποίο χρησιμοποιείται για λόγους ανίχνευσης σφάλματος στην πληροφορία που προσπαθούμε να μεταδώσουμε [21, 5].

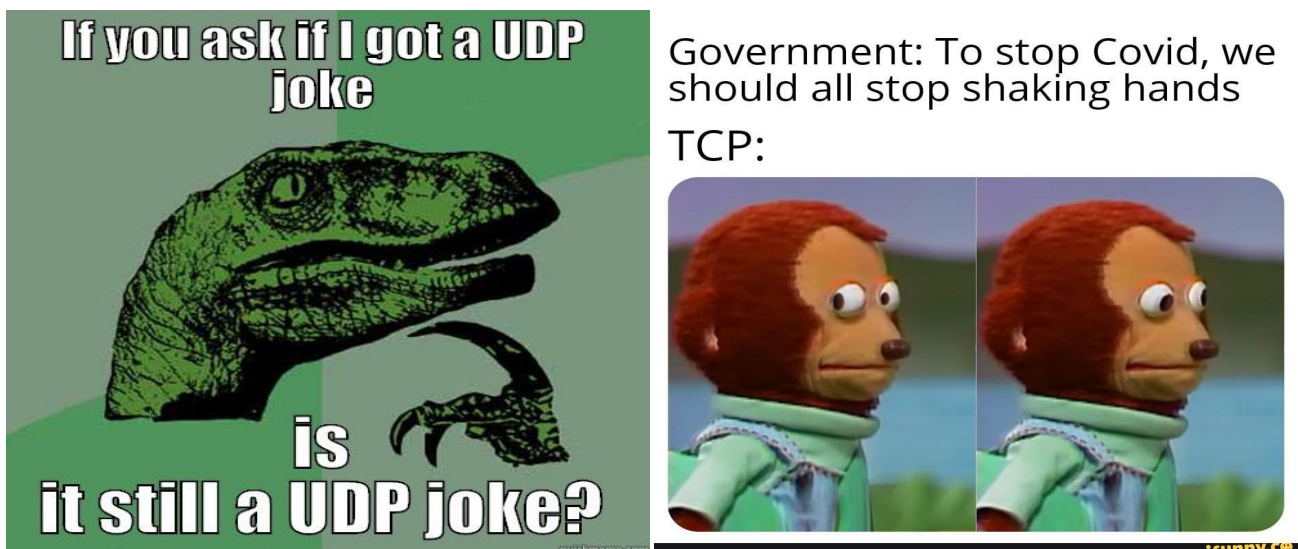


Figure 5: UDP and TCP in a nutshell

⁵Για αυτό πολλές φορές το UDP αναφέρεται ως Unreliable Datagram Protocol

6 Audio streaming protocols

Γενικότερα το streaming στην εποχή μας είναι πλέον διαδεδομένο και υπάρχουν πολλές πλατφόρμες που προσφέρουν τέτοιες υπηρεσίες. Streaming συνοπτικά είναι η δυνατότητα μεταφοράς και αναπαραγωγής δεδομένων που σχετίζονται με πολυμέσα (εικόνα, video, audio) με δυναμικό τρόπο (real time) χωρίς να χρειάζεται να κατέβει όλη η πληροφορία εξ αρχής. Με άλλα λόγια audio streaming, είναι κάτι σαν audio on the go. Για να υπάρχει αυτό το αίσθημα της συνεχόμενης ροής πληροφορίας χωρίς διακοπές και καθυστερήσεις, υπολογιστικά είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία και υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις από το δίκτυο τόσο από τον provider όσο και από τον client (media players, internet access, bandwidth).

Έννοιες σχετικές με αυτήν την θεματολογία είναι η συμπίεση, η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση πληροφορίας. Η ποσότητα πληροφορίας που αφορά τα πολυμέσα είναι ιδιαίτερα μεγάλη και η συμπίεση της επιβάλλεται, έτσι ώστε το streaming να είναι εφικτό τόσο στο κομμάτι της επεξεργασίας όσο και στην αποθήκευση. Η συσκευή κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης ονομάζεται codec.

Τα streaming protocols ανήκουν στα application, presentation, session επίπεδα του OSI model, δηλαδή πάνω από το transport layer (UDP και TCP). Μια σύνοψη για streaming protocols τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για audio είναι η ακόλουθη [24, 22, 23].

6.1 HTTP

HTTP είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο κάθεται στο application layer και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός των άλλων και για streaming. Είναι μια αρκετή βολική λύση μιας και οι web servers μπορεί να το υποστηρίξουν χωρίς να υπάρχει ανάγκη κάποιου dedicated server για streaming, όπως στην περίπτωση του RTMP πρωτοκόλλου.

Πρωτόκολλα βασισμένα σε HTTP είναι το HTL (HTTP Live Streaming) το οποίο αναπτύχθηκε από την Apple και θεωρείται ίσως η πιο δημοφιλής επιλογή για streaming [7], MPEG-DASH (για video), Microsoft Smooth Streaming και το Adobe HDS. Μάλιστα το HLS, το οποίο είναι TCP based, παρέχει την δυνατότητα στους χρήστες να προσαρμόζουν το bitrate στην καλύτερη δυνατή κατάσταση της σύνδεσής τους.

6.2 SHOUTcast και Icecast

SHOUTcast και Icecast είναι δύο ακόμη HTTP based πρωτόκολλα για streaming audio data και ιδιαίτερα γνωστά για internet radio. Το πρώτο proprietary ενώ το δεύτερο free and open source και μια πολύ καλή εναλλακτική λύση.

6.3 WebRTC

Web Real Time Communication είναι ένα σύνολο από standards το οποίο αφορά peer to peer αρχιτεκτονική για μεταφορά πληροφορίας δίχως να χρειάζονται centralized servers. Είναι UDP based και το μόνο που χρειάζεται για να λειτουργήσει είναι ένας browser [6].

6.4 RTMP

RTMP (Real Time Messaging Protocol) είναι ένα παραδοσιακό πρωτόκολλο το οποίο υποστηριζόταν από την Adobe. Ωστόσο θεωρείται edged out έπειτα την παύση λειτουργίας του Adobe Flash Player και δεν είναι συνηθισμένη επιλογή πλέον. Αν και μεγάλα ονόματα της βιομηχανίας όπως Facebook συνεχίζουν να χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο [18]

References

- [1] CodeJava: Java Socket Server Examples (TCP/IP). <https://www.codejava.net/java-se/networking/java-socket-server-examples-tcp-ip>.
- [2] Create a simple UDP client-server. <https://www.youtube.com/watch?v=SFrWdodD3hs>.
- [3] Derek Banas Java tutorial. <https://www.youtube.com/watch?v=n-xAqcBCws4>.
- [4] Geeks for Geeks: TCP timers. <https://www.geeksforgeeks.org/tcp-timers/>.
- [5] Geeks for Geeks: User Datagram Protocol (UDP). <https://www.geeksforgeeks.org/user-datagram-protocol-udp/>.
- [6] Getting started with WebRTC). <https://www.html5rocks.com/en/tutorials/webrtc/basics/>.
- [7] HTTP Live Streaming — Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/HTTP_Live_Streaming.
- [8] Java Code Geeks: Write byte array to file with FileOutputStream. <https://examples.javacodegeeks.com/core-java/io/fileoutputstream/write-byte-array-to-file-with-fileoutputstream/>.
- [9] Let's code a TCP-IP stack, Retransmission. <https://www.saminiir.com/lets-code-tcp-ip-stack-5-tcp-retransmission/>.
- [10] Medium: TCP/IP Socket Programming in Java. <https://medium.com/swlh/tcp-ip-socket-programming-in-java-fc11beb78219>.
- [11] Oracle Java Tutorials. <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/networking/sockets/index.html>.
- [12] Oracle: Sound. <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/sound/index.html>.
- [13] Programiz: Convert Byte Array to Hexadecimal. <https://www.programiz.com/java-programming/examples/convert-byte-array-hexadecimal>.
- [14] RFC: Computing TCP's Retransmission Timer. <https://tools.ietf.org/html/rfc6298>.
- [15] Stackexchange: Do I need to care about big endian and little endian when I read data through AudioInputStream? <https://stackoverflow.com/questions/14116916/do-i-need-to-care-about-big-endian-and-little-endian-when-i-read-data-through-au>.
- [16] Stackexchange: How I can write the contents of a SourceDataLine to a file? <https://stackoverflow.com/questions/9573920/how-can-i-write-the-contents-of-a-sourcedataline-to-a-file>.
- [17] Stackexchange: How to parse string in Java? <https://stackoverflow.com/questions/950409/how-to-parse-this-string-in-java>.
- [18] Streaming Media: Gone in a Flash: Migrating Videos to a Flash-Less World. <https://www.streamingmedia.com/Articles/ReadArticle.aspx?ArticleID=115771>.
- [19] Tutorialspoint: Java - Networking. https://www.tutorialspoint.com/java/java_networking.html.

- [20] UDP (User Datagram Protocol). <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/UDP-User-Datagram-Protocol>.
- [21] User Datagram Protocol — Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=User_Datagram_Protocol&oldid=990988902.
- [22] What's the best protocol for live audio (radio) streaming for mobile and web?). <https://stackoverflow.com/questions/30184520/whats-the-best-protocol-for-live-audio-radio-streaming-for-mobile-and-web>.
- [23] Wowza media systems: RTMP Streaming: The Real-Time Messaging Protocol Explained). <https://www.wowza.com/blog/rtmp-streaming-real-time-messaging-protocol>.
- [24] Wowza media systems: Streaming Protocols Everything You Need to Know). <https://www.wowza.com/blog/streaming-protocols>.
- [25] Εκφώνηση της εργασίας Java socket programming του μαθήματος Δίκτυα Υπολογιστών II. <https://drive.google.com/file/d/1vvmSKQx-HK5xv2gjL99AdWLdrV78Btxb/view?usp=sharing>.