



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Ασύρματα Δίκτυα και Κινητοί Υπολογισμοί

Μαρία Παπαδοπούλη
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
 - που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
 - που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
 - που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Evaluation of the user engagement and satisfaction in video streaming applications

Μετρικές

- *Startup delay*: το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην έναρξη προβολής βίντεο και την έναρξη αναπαραγωγής βίντεο
- *Πλήθος και διάρκεια «παγωμάτων»* του βίντεο
- Data rate /ανάλυση κατά τη διάρκεια του streaming
- Αλλαγές στο data rate κατά τη διάρκεια του streaming
- *Τρόπος λήξης της αναπαραγωγής* (π.χ., από τον χρήστη, ή εξ αιτίας κάποιου προβλήματος). Στην περίπτωση λήξης της αναπαραγωγής εξαιτίας ενός προβλήματος (π.χ., δίκτυο σε συμφόρηση, απενεργοποίηση διεπαφής WiFi)
- Χαρακτηριστικά χρήσης της εφαρμογής από τον χρήστη (αριθμός επισκέψεων, διάρκεια, συχνότητα, τύπος περιεχομένου)

Ενέργειες/γεγονότα προς αναγνώριση

- εκκίνηση εφαρμογής
- έναρξη προβολής βίντεο (ο χρήστης επιλέγει την αναπαραγωγή κάποιου βίντεο)
- έναρξη αναπαραγωγής βίντεο (η αναπαραγωγή του επιλεγμένου βίντεο ξεκινάει)
- λήξη αναπαραγωγής βίντεο (από τον χρήστη ή απρόσμενα λόγω προβλήματος)
- τερματισμός εφαρμογής
- παύση αναπαραγωγής βίντεο από τον χρήστη
- «πάγωμα» αναπαραγωγής βίντεο για ενταμίευση (buffering)
- συνέχιση αναπαραγωγής βίντεο (μετά από παύση/πάγωμα)
- μετάβαση σε ορισμένο σημείο του βίντεο
- ελαχιστοποίηση προβολής βίντεο (από τον χρήστη ή άλλη εφαρμογή)
- επιστροφή στην προβολή βίντεο μετά από ελαχιστοποίηση
- αλλαγή ανάλυσης βίντεο
- Απόδοση δικτύου

Monitoring Approaches

- Active probing
- Logcat at client
- Logs at server (e.g., HTTP server logs)

Καταγραφή μηνυμάτων (logging systems)

- Το Android παρέχει έναν μηχανισμό για την συλλογή και προβολή μηνυμάτων, με σκοπό τον εντοπισμό σφαλμάτων. Τα μηνύματα περιλαμβάνουν:
 - μηνύματα συστήματος (π.χ., stack trace στην περίπτωση ενός λάθους/exception)
 - μηνύματα των εφαρμογών (τα οποία γράφονται μέσω της κλάσης Log).
- Τα μηνύματα γράφονται σε ένα σύνολο από *κυκλικούς ενταμιευτές* (buffers).
- Η εντολή **logcat** επιστρέφει το περιεχόμενο αυτών των buffers, ενώ το εργαλείο **ddms** παρέχει το GUI για την προβολή των μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο, στην οθόνη του υπολογιστή.
- Οι εφαρμογές Android έχουν την δυνατότητα να εκτελούν εντολές και να διαβάζουν κείμενο που επιστρέφεται μέσω των ροών *stdin* και *stderr*. Έτσι, μια εφαρμογή Android έχει την δυνατότητα να εκτελεί περιοδικά την εντολή logcat, να αναγνωρίζει τα νέα μηνύματα που γράφτηκαν στους buffers, και να τα αναλύει.

Δημοφιλή εργαλεία εποπτείας δικτύου: PING

- Στέλνει πακέτα ECHO_REQUEST του πρωτοκόλλου ICMP (Internet Control Message Protocol) σε έναν υπολογιστή ή δικτυακή συσκευή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IP, εκμαιεύοντας ως απαντήσεις ECHO_RESPONSE πακέτα του ICMP
- Μετράει την **καθυστέρηση** μετ' επιστροφής (round trip delay) & **απώλεια πακέτων**
- Όλες οι συσκευές επιπέδου δικτύου υλοποιούν το πρωτόκολλο ICMP και απαντούν στα μηνύματα ECHO_REQUEST. Έτσι, για την μέτρηση του RTT και του packet loss σε ένα μονοπάτι μεταξύ δύο τερματικών, αρκεί να τρέχει στο ένα τερματικό η εντολή ping. Στο άλλο τερματικό δεν απαιτείται η εγκατάσταση ή η εκτέλεση ειδικού λογισμικού δικτυακών μετρήσεων. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται έχουν συγκεκριμένο μέγεθος (που μπορεί να διαφοροποιείται από αυτά που ανταλλάσσονται στα πλαίσια της υπηρεσίας) και μεγαλύτερη προτεραιότητα. Αυτό έχει επιπτώσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων καθυστέρησης.

Δημοφιλή εργαλεία εποπτείας δικτύου: **iperf**

- Μέτρηση της ρυθμαπόδοσης (throughput) με ροές TCP και UDP τμημάτων (segments)
- Ρυθμίζοντας διάφορες παραμέτρους και χαρακτηριστικά του TCP/UDP πρωτοκόλλου, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει έναν αριθμό από tests και να μετρήσει την ρυθμαπόδοση, διαθεσιμότητα, καθυστέρηση, διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και απώλεια πακέτων

Δημοφιλή εργαλεία εποπτείας δικτύου:

MobiPerf

- Εφαρμογή για την μέτρηση της δικτυακής απόδοσης σε **κινητές συσκευές**.
- Ο χρήστης μπορεί να εκτελεί: ping, traceroute, DNS lookup, UDP burst, HTTP, TCP speed test
- Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, το MobiPerf εκτελεί αυτά τα tests **αυτόματα** στο παρασκήνιο
- **UDP burst test**: η απώλεια πακέτων, η λάθος σειρά πακέτων, και η διακύμανση καθυστέρησης (jitter)
- **HTTP test**: ζητείται και λαμβάνεται μια συγκεκριμένη ιστοσελίδα και μετρίεται ο όγκος των δεδομένων που ελήφθησαν και το χρόνο που χρειάστηκε για την λήψη των δεδομένων
- **TCP speed test**: την ρυθμαπόδοση μιας ροής TCP
- Το UDP burst test και το TCP speed test είναι όμοια με τα tests που εκτελεί το iperf, όμως επιστρέφουν στο τέλος του test μια αναφορά με τους *μέσους όρους των μετρούμενων παραμέτρων*, σε αντίθεση με το iperf που επιστρέφει αναφορές περιοδικά (π.χ., κάθε δευτερόλεπτο).

NDT (Network Diagnostic Tool)

- Παρέχει ένα εξελιγμένο τεστ για την μέτρηση και την διάγνωση της ρυθμαπόδοσης (throughput)
- Δεν αναφέρει απλά την upload speed και download speed, αλλά προσδιορίζει και ποια προβλήματα περιορίζουν αυτές τις ταχύτητες, διακρίνοντας τα προβλήματα ρύθμισης της τερματικής συσκευής από τα προβλήματα στην δικτυακή υποδομή
- Εκτελεί δύο tests ρυθμαπόδοσης (client-to-server & server-to-client) συνολικής διάρκειας 20sec
- Στην διάρκεια των test προκαλείται συμφόρηση στο δίκτυο, ελαττώνοντας την ποιότητα υπηρεσίας σε άλλες εφαρμογές που τρέχουν στην τερματική συσκευή ή χρησιμοποιούν το δίκτυο
 - Δεν είναι κατάλληλο εργαλείο για συνεχή εποπτεία κατά την διάρκεια της υπηρεσίας
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά

Logcat parser

- Ανάλυση των δεδομένων/μηνυμάτων που καταγράφονται στον client κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας
- Από τη μορφή ενός μηνύματος αναγνωρίζεται μια ενέργεια του χρήστη ή κάποιο γεγονός.
- Αναγνωρίζονται τιμές παραμέτρων που ενδεχομένως περιλαμβάνονται στο μήνυμα (π.χ., ανάλυση βίντεο, τύπος και κωδικός λάθους), καθώς και ο χρόνος που συνέβη η ενέργεια/γεγονός.

Μεθοδολογία

- Πλατφόρμα (testbed) πειραμάτων
- Δημιουργία σεναρίων και προσομοίωση σεναρίων (εκτέλεση πειραμάτων) για την συλλογή δεδομένων από τους μηχανισμούς εποπτείας (πχ στα logcats, logs, active probing)
- Προ-επεξεργασία δεδομένων
- Ανάλυση των δεδομένων
- Dominant parameters on user engagement & user satisfaction (QoE)
- Prediction of user engagement & user satisfaction

Evaluation of the user engagement and satisfaction in video streaming applications

Μετρικές

- *Startup delay*: το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην έναρξη προβολής βίντεο και την έναρξη αναπαραγωγής βίντεο
- *Πλήθος και διάρκεια «παγωμάτων»* του βίντεο
- Data rate /ανάλυση κατά τη διάρκεια του streaming
- Αλλαγές στο data rate κατά τη διάρκεια του streaming
- *Τρόπος λήξης της αναπαραγωγής* (π.χ., από τον χρήστη, ή εξ αιτίας κάποιου προβλήματος). Στην περίπτωση λήξης της αναπαραγωγής εξαιτίας ενός προβλήματος (π.χ., δίκτυο σε συμφόρηση, απενεργοποίηση διεπαφής WiFi)
- Χαρακτηριστικά χρήσης της εφαρμογής από τον χρήστη (αριθμός επισκέψεων, διάρκεια, συχνότητα, τύπος περιεχομένου)

Ενέργειες/γεγονότα προς αναγνώριση

- εκκίνηση εφαρμογής
- έναρξη προβολής βίντεο (ο χρήστης επιλέγει την αναπαραγωγή κάποιου βίντεο)
- έναρξη αναπαραγωγής βίντεο (η αναπαραγωγή του επιλεγμένου βίντεο ξεκινάει)
- λήξη αναπαραγωγής βίντεο (από τον χρήστη ή απρόσμενα λόγω προβλήματος)
- τερματισμός εφαρμογής
- παύση αναπαραγωγής βίντεο από τον χρήστη
- «πάγωμα» αναπαραγωγής βίντεο για ενταμίευση (buffering)
- συνέχιση αναπαραγωγής βίντεο (μετά από παύση/πάγωμα)
- μετάβαση σε ορισμένο σημείο του βίντεο
- ελαχιστοποίηση προβολής βίντεο (από τον χρήστη ή άλλη εφαρμογή)
- επιστροφή στην προβολή βίντεο μετά από ελαχιστοποίηση
- αλλαγή ανάλυσης βίντεο
- Απόδοση δικτύου

Monitoring Approaches

- Active probing
- Logcat at client
- Logs at server (e.g., HTTP server logs)

Καταγραφή μηνυμάτων (logging systems)

- Το Android παρέχει έναν μηχανισμό για την συλλογή και προβολή μηνυμάτων, με σκοπό τον εντοπισμό σφαλμάτων. Τα μηνύματα περιλαμβάνουν:
 - μηνύματα συστήματος (π.χ., stack trace στην περίπτωση ενός λάθους/exception)
 - μηνύματα των εφαρμογών (τα οποία γράφονται μέσω της κλάσης Log).
- Τα μηνύματα γράφονται σε ένα σύνολο από *κυκλικούς ενταμιευτές* (buffers).
- Η εντολή **logcat** επιστρέφει το περιεχόμενο αυτών των buffers, ενώ το εργαλείο **ddms** παρέχει το GUI για την προβολή των μηνυμάτων σε πραγματικό χρόνο, στην οθόνη του υπολογιστή.
- Οι εφαρμογές Android έχουν την δυνατότητα να εκτελούν εντολές και να διαβάζουν κείμενο που επιστρέφεται μέσω των ροών *stdin* και *stderr*. Έτσι, μια εφαρμογή Android έχει την δυνατότητα να εκτελεί περιοδικά την εντολή logcat, να αναγνωρίζει τα νέα μηνύματα που γράφτηκαν στους buffers, και να τα αναλύει.

Δημοφιλή εργαλεία εποπτείας δικτύου: PING

- Στέλνει πακέτα ECHO_REQUEST του πρωτοκόλλου ICMP (Internet Control Message Protocol) σε έναν υπολογιστή ή δικτυακή συσκευή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IP, εκμαιεύοντας ως απαντήσεις ECHO_RESPONSE πακέτα του ICMP
- Μετράει την **καθυστέρηση** μετ' επιστροφής (round trip delay) & **απώλεια πακέτων**
- Όλες οι συσκευές επιπέδου δικτύου υλοποιούν το πρωτόκολλο ICMP και απαντούν στα μηνύματα ECHO_REQUEST. Έτσι, για την μέτρηση του RTT και του packet loss σε ένα μονοπάτι μεταξύ δύο τερματικών, αρκεί να τρέχει στο ένα τερματικό η εντολή ping. Στο άλλο τερματικό δεν απαιτείται η εγκατάσταση ή η εκτέλεση ειδικού λογισμικού δικτυακών μετρήσεων. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται έχουν συγκεκριμένο μέγεθος (που μπορεί να διαφοροποιείται από αυτά που ανταλλάσσονται στα πλαίσια της υπηρεσίας) και μεγαλύτερη προτεραιότητα. Αυτό έχει επιπτώσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων καθυστέρησης.

Δημοφιλή εργαλεία εποπτείας δικτύου: **iperf**

- Μέτρηση της ρυθμαπόδοσης (throughput) με ροές TCP και UDP τμημάτων (segments)
- Ρυθμίζοντας διάφορες παραμέτρους και χαρακτηριστικά του TCP/UDP πρωτοκόλλου, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει έναν αριθμό από tests και να μετρήσει την ρυθμαπόδοση, διαθεσιμότητα, καθυστέρηση, διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και απώλεια πακέτων

Δημοφιλή εργαλεία εποπτείας δικτύου: MobiPerf

- Εφαρμογή για την μέτρηση της δικτυακής απόδοσης σε **κινητές συσκευές**.
- Ο χρήστης μπορεί να εκτελεί: ping, traceroute, DNS lookup, UDP burst, HTTP, TCP speed test
- Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, το MobiPerf εκτελεί αυτά τα tests **αυτόματα** στο παρασκήνιο
- **UDP burst test**: η απώλεια πακέτων, η λάθος σειρά πακέτων, και η διακύμανση καθυστέρησης (jitter)
- **HTTP test**: ζητείται και λαμβάνεται μια συγκεκριμένη ιστοσελίδα και μετρίεται ο όγκος των δεδομένων που ελήφθησαν και το χρόνο που χρειάστηκε για την λήψη των δεδομένων
- **TCP speed test**: την ρυθμαπόδοση μιας ροής TCP
- Το UDP burst test και το TCP speed test είναι όμοια με τα tests που εκτελεί το iperf, όμως επιστρέφουν στο τέλος του test μια αναφορά με τους *μέσους όρους των μετρούμενων παραμέτρων*, σε αντίθεση με το iperf που επιστρέφει αναφορές περιοδικά (π.χ., κάθε δευτερόλεπτο).

NDT (Network Diagnostic Tool)

- Παρέχει ένα εξελιγμένο τεστ για την μέτρηση και την διάγνωση της ρυθμαπόδοσης (throughput)
- Δεν αναφέρει απλά την upload speed και download speed, αλλά προσδιορίζει και ποια προβλήματα περιορίζουν αυτές τις ταχύτητες, διακρίνοντας τα προβλήματα ρύθμισης της τερματικής συσκευής από τα προβλήματα στην δικτυακή υποδομή
- Εκτελεί δύο tests ρυθμαπόδοσης (client-to-server & server-to-client) συνολικής διάρκειας 20sec
- Στην διάρκεια των test προκαλείται συμφόρηση στο δίκτυο, ελαττώνοντας την ποιότητα υπηρεσίας σε άλλες εφαρμογές που τρέχουν στην τερματική συσκευή ή χρησιμοποιούν το δίκτυο
 - Δεν είναι κατάλληλο εργαλείο για συνεχή εποπτεία κατά την διάρκεια της υπηρεσίας
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά

Logcat parser

- Ανάλυση των δεδομένων/μηνυμάτων που καταγράφονται στον client κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας
- Από τη μορφή ενός μηνύματος αναγνωρίζεται μια ενέργεια του χρήστη ή κάποιο γεγονός.
- Αναγνωρίζονται τιμές παραμέτρων που ενδεχομένως περιλαμβάνονται στο μήνυμα (π.χ., ανάλυση βίντεο, τύπος και κωδικός λάθους), καθώς και ο χρόνος που συνέβη η ενέργεια/γεγονός.

Μεθοδολογία

- Πλατφόρμα (testbed) πειραμάτων
- Δημιουργία σεναρίων και προσομοίωση σεναρίων (εκτέλεση πειραμάτων) για την συλλογή δεδομένων από τους μηχανισμούς εποπτείας (πχ στα logcats, logs, active probing)
- Προ-επεξεργασία δεδομένων
- Ανάλυση των δεδομένων
- Dominant parameters on user engagement & user satisfaction (QoE)
- Prediction of user engagement & user satisfaction

Προ-επεξεργασία δεδομένων

- Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον μηχανισμό εποπτείας προετοιμάζονται για ανάλυση.
- Λαμβάνονται υπόψη ζητήματα σχετικά με τα παρακάτω:
 - έγκυρα διαστήματα τιμών
 - μονάδες
 - κλίμακα
 - καταγραφή χρόνου
 - συγχρονισμό μεταξύ διαφορετικών συσκευών
 - απεικόνιση/κωδικοποίηση των μη-αριθμητικών δεδομένων
 - περιπτώσεις κατά τη διάρκεια εποπτείας & συλλογής δεδομένων
 - απώλειας τιμών ή ακραίων τιμών
 - περιπτώσεις ακραίων ("abnormal") γεγονότων

Σενάρια

- *Δραστηριότητα χρήστη (πχ pause, replay, fast-forward, rewind)*
- *Εισερχόμενη κλήση*
- *Απενεργοποίηση διεπαφής WiFi στο Android smartphone*
- *Δυσλειτουργία του σημείου πρόσβασης (AP)*
- *Λήψη με χαμηλή ισχύ σήματος*
- *Μεταφόρτωση (download) αρχείου*
- *Αναπαραγωγή άλλων πολυμέσων συνεχούς ροής (streaming multimedia)*
- *Εκτέλεση διεργασιών απαιτητικών σε υπολογιστικούς πόρους*

Our approach for **predicting the QoE**:

Develop **user-centric, service-oriented** models based on **network metrics**

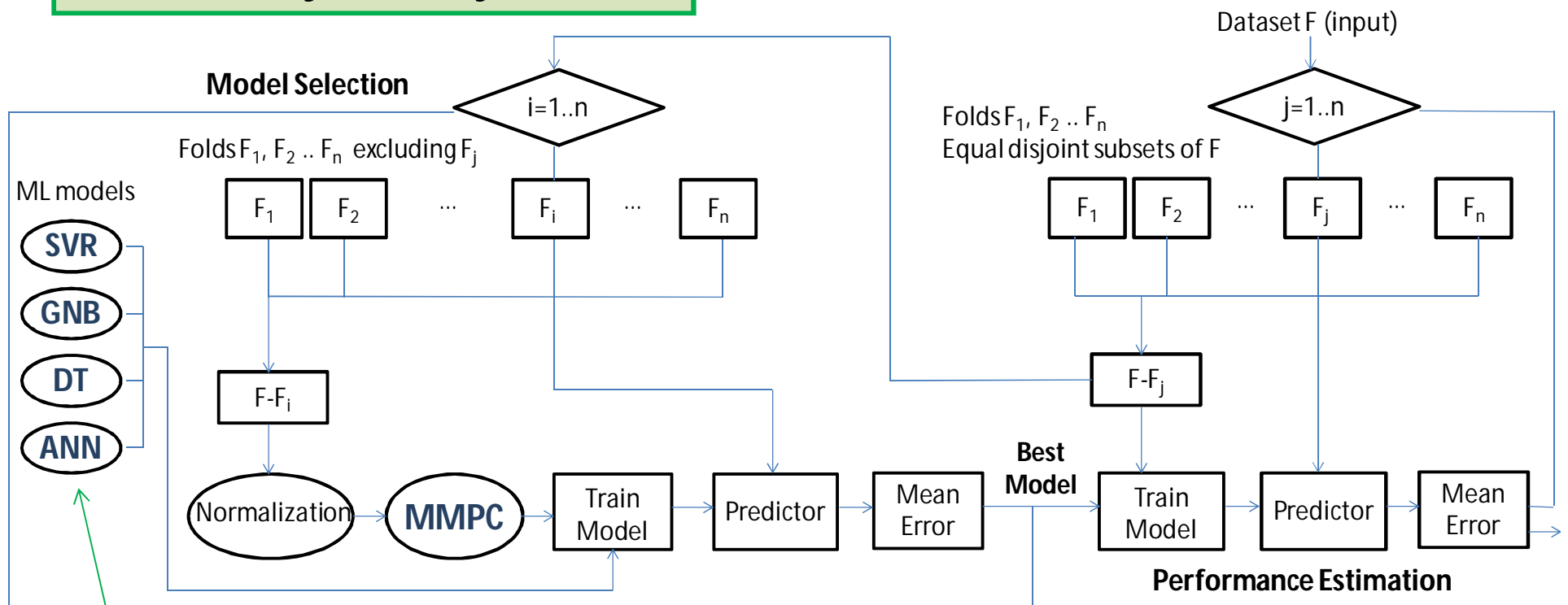
- Apply **machine learning and data mining algorithms**, such as: Decision Trees, Support Vector Regression, Artificial Neural Networks, Gaussian Naïve Bayes
- Find the set of predictors that minimizes the mean absolute error of a model (**feature selection**)
- **Train the models** based on **empirical measurements** collected from field studies

We have demonstrated this methodology for **VoIP, audio & video streaming**

MLQoE: QoE prediction based on machine learning (ML) algorithms

Takes as input the training set of the performance estimation loop, cross-validates it, and **reports the best model dynamically**.

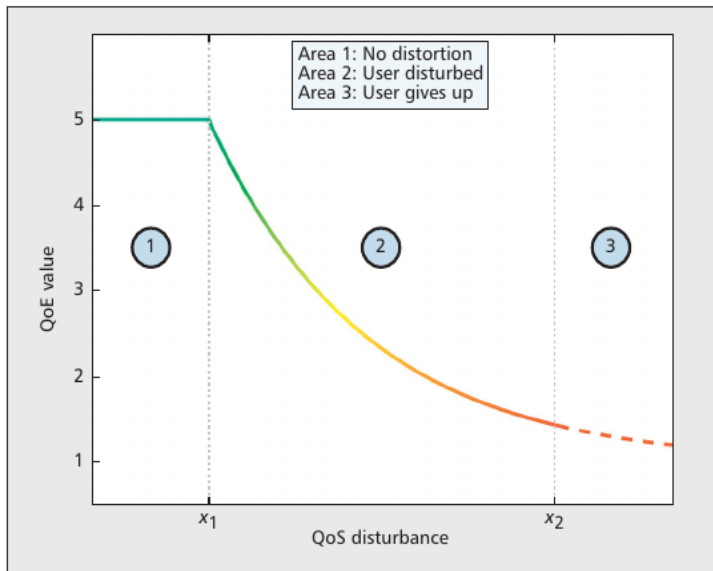
Estimates the performance of the best model in each fold and reports (as output) the mean error for the dataset.



Can be **easily extended** to include other ML algorithms

User utility functions

Weber-Fechner Law
IQX hypothesis



$$\pi_i(z; c) = \begin{cases} f(R_i(z)) - w_V V_i(z) - w_P c_i \\ 0 \end{cases}$$

Name	Formula
Linear	$w_R R_i(z)$
Exponential	$w_R (t - e^{-h R_i(z)})$
Logarithmic	$w_R \ln(h(R_i(z) - q))$
Isoelastic	$w_R (h(R_i(z) + q)^k - t)$

QoS

- Achievable data rate
- Throughput, delay, packet loss
- Number of resource units
 - TDMA: time slots
 - OFDMA: frequency – time

QoE

with **techno-socio-economic-psychological** terms

- Preference on *QoE* or price
- Price, *willingness to pay*
- *Perceived QoE* (e.g., opinion score)
- Intrinsic indicators towards a service provider
e.g., its *brand name*, perceived value/reliability content (size, searching mechanisms)

To define **user experience** is a very hard problem & to **monetize** it even harder!

Προ-επεξεργασία δεδομένων

- Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον μηχανισμό εποπτείας προετοιμάζονται για ανάλυση.
- Λαμβάνονται υπόψη ζητήματα σχετικά με τα παρακάτω:
 - έγκυρα διαστήματα τιμών
 - μονάδες
 - κλίμακα
 - καταγραφή χρόνου
 - συγχρονισμό μεταξύ διαφορετικών συσκευών
 - απεικόνιση/κωδικοποίηση των μη-αριθμητικών δεδομένων
 - περιπτώσεις κατά τη διάρκεια εποπτείας & συλλογής δεδομένων
 - απώλειας τιμών ή ακραίων τιμών
 - περιπτώσεις ακραίων (“abnormal”) γεγονότων

Σενάρια

- Δραστηριότητα χρήστη (πχ *pause, replay, fast-forward, rewind*)
- Εισερχόμενη κλήση
- Απενεργοποίηση διεπαφής WiFi στο *Android smartphone*
- Δυσλειτουργία του σημείου πρόσβασης (AP)
- Λήψη με χαμηλή ισχύ σήματος
- Μεταφόρτωση (download) αρχείου
- Αναπαραγωγή άλλων πολυμέσων συνεχούς ροής (*streaming multimedia*)
- Εκτέλεση διεργασιών απαιτητικών σε υπολογιστικούς πόρους

Our approach for **predicting the QoE**:

Develop **user-centric, service-oriented** models based on **network metrics**

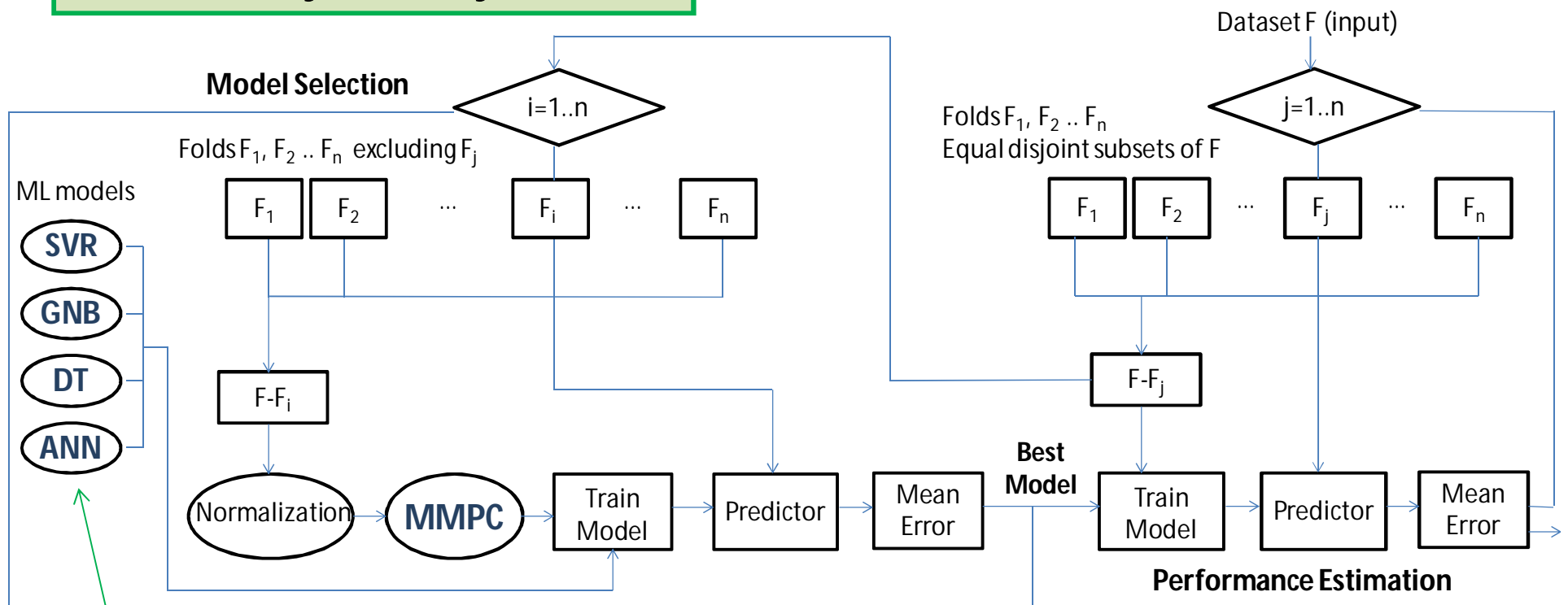
- Apply **machine learning and data mining algorithms**, such as: Decision Trees, Support Vector Regression, Artificial Neural Networks, Gaussian Naïve Bayes
- Find the set of predictors that minimizes the mean absolute error of a model (**feature selection**)
- **Train the models** based on **empirical measurements** collected from field studies

We have demonstrated this methodology for **VoIP, audio & video streaming**

MLQoE: QoE prediction based on machine learning (ML) algorithms

Takes as input the training set of the performance estimation loop, cross-validates it, and **reports the best model dynamically**.

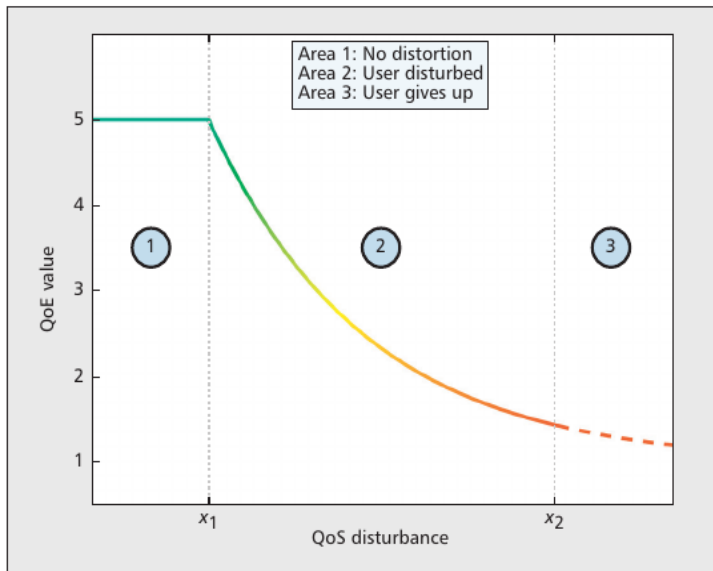
Estimates the performance of the best model in each fold and reports (as output) the mean error for the dataset.



Can be **easily extended** to include other ML algorithms

User utility functions

Weber-Fechner Law
IQX hypothesis



$$\pi_i(z; c) = \begin{cases} f(R_i(z)) - w_V V_i(z) - w_P c_i \\ 0 \end{cases}$$

Name	Formula
Linear	$w_R R_i(z)$
Exponential	$w_R (t - e^{-h R_i(z)})$
Logarithmic	$w_R \ln(h(R_i(z) - q))$
Isoelastic	$w_R (h(R_i(z) + q)^k - t)$

QoS

- Achievable data rate
- Throughput, delay, packet loss
- Number of resource units
 - TDMA: time slots
 - OFDMA: frequency – time

QoE

with **techno-socio-economic-psychological** terms

- Preference on *QoE* or price
- Price, *willingness to pay*
- *Perceived QoE* (e.g., opinion score)
- Intrinsic indicators towards a service provider
e.g., its *brand name*, perceived value/reliability content (size, searching mechanisms)

To define **user experience** is a very hard problem & to **monetize** it even harder!

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

