

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση Απόδοσης Νέων Αλγορίθμων
Χρονοπρογραμματισμού για Μετάδοση
Τηλεϊατρικής Κίνησης πάνω σε Ασύρματα
Κυψελωτά Δίκτυα**

Διονύσης Γερολυμάτος - ΑΜ: 2006030064

Επιβλέπων Καθηγητής: Πολυχρόνης Κουτσάκης

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Ευαγγελία και Κυριάκο για τη στήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και σε κάθε πτυχή της ζωής μου μέχρι σήμερα.

Ειδικότερα θα ήθελα να αφιερώσω αυτήν την εργασία στον πατέρα μου Κυριάκο που “έφυγε” αιφνίδια από τη ζωή όσο σπούδαζα.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα την εργασία μου καθηγητή Πολυχρόνη Κουτσάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη στήριξη του και την ουσιαστική βοήθεια που μου έδωσε.

Επίσης ευχαριστώ πολύ την κοπέλα μου Ιωάννα για τη στήριξη της, για όλα όσα κατανοήσαμε και για όσα ακόμα μαθαίνουμε για τους εαυτούς μας και για τη ζωή μέσα από τη σχέση μας.

Συνεχίζοντας, ευχαριστώ τους φίλους και συναδέλφους με τους οποίους συνεργαστήκαμε και περάσαμε όμορφα πολλές απαιτητικές ώρες. Πιο ειδικά, με αλφαβητική σειρά, ευχαριστώ τους καλούς φίλους Πάνο Αλεβίζο, Ευθύμη Βλάχο, Δημήτρη Μπίκα και Νίκο Φυτόπουλο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω, με αλφαβητική σειρά, δύο αγαπημένους ανθρώπους που ο καθένας με το δικό του ιδιαίτερο τρόπο με δίδαξαν πολλά και μου πρόσφεραν υπέροχα θαλασσινά ταξίδια αυτά τα χρόνια. Τους πλοιάρχους Δημήτρη Λαδά και Διαμαντή Παπαγεωργίου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα στελέχη του Πολυτεχνείου Κρήτης αλλά πιο ειδικά, με αλφαβητική σειρά, ευχαριστώ τις/τους Βίκυ Γρηγοράκη, Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη, Αθανάσιο Λιάβα, Δάφνη Μανουσάκη, Ντίνα Μοιρογιώργου, Κώστα Μπάλα, Άγγελο Μπλέτσα, Μιχάλη Πατεράκη, Μίνωα Πετράκη, Διονύση Πνευματικάτο, Ελευθερία Σεργάκη και Σοφία Τσακιρίδου για τη συμβολή τους στην πορεία μου.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η σπουδαιότητα της τηλεϊατρικής κίνησης έχει αυξηθεί σημαντικά. Εξ' αιτίας του ότι μεταφέρει κρίσιμες πληροφορίες που αφορούν την κατάσταση της υγείας των ασθενών, η άμεση, ταχεία και χωρίς σφάλματα μετάδοση της τηλεϊατρικής κίνησης είναι θεμελιώδους σημασίας. Η επιλογή να δίδεται απόλυτη προτεραιότητα ή εγγυημένο ποσοστό του εύρους ζώνης (bandwidth) στη μετάδοση της τηλεϊατρικής κίνησης μπορεί να οδηγήσει σε παραβίαση της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσιών [Quality of Service (QoS) requirements] των χρηστών κανονικής κίνησης και στην απώλεια του εγγυημένου, στην τηλεϊατρική κίνηση, bandwidth στην περίπτωση που μείνει αχρησιμοποίητο λόγω της ασυνεχούς-περιστασιακής εμφάνισης της.

Στην εργασία μας οι αρχικοί στόχοι που θέσαμε ήταν να βρούμε τρόπους ώστε οι χρήστες τηλεϊατρικής και κανονικής κίνησης να έχουν την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση με κριτήρια τις μικρότερες δυνατές απώλειες πακέτων (να γίνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του bandwidth), την καλύτερη δυνατή ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS τους και τη μέγιστη δυνατή δικαιοσύνη.

Για να τα πετύχουμε αυτά, αρχικά προσαρμόσαμε ένα ήδη υπάρχον πρωτόκολλο ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης [Multiple Access Control or Media Access Control (MAC) protocol] ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη μετάδοση κανονικής και τηλεϊατρικής κίνησης. Κάναμε τις απαιτούμενες αλλαγές σε βασικά σημεία του και προσθέσαμε την απαιτούμενη λειτουργικότητα στην προσομοίωση μας της οποίας ο κώδικας τριπλασιάστηκε μαζί με τις παρακάτω προσθήκες.

Οι προσθήκες αυτές ήταν το πιο βασικό κομμάτι της εργασίας μας. Κάναμε προσαρμογή, στο πρωτόκολλο μας, επτά αλγορίθμων

χρονοπρογραμματισμού (Scheduling Algorithms) που υπήρχαν στη βιβλιογραφία για να εκτιμήσουμε την απόδοση τους, με βάση τα παραπάνω κριτήρια.

Για να κάνουμε καλύτερη εκτίμηση της απόδοσης προσθέσαμε επιπλέον μετρήσεις μέσω των όρων και τρεις επιπλέον, του ήδη υπάρχοντος, δείκτες δικαιοσύνης τους οποίους επεκτείναμε σε περισσότερες μετρήσεις.

Λόγω της εμπειρίας που αποκτήσαμε αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε ένα δικό μας αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού επιδιώκοντας να πετυχαίνει την καλύτερη εξυπηρέτηση.

Θεωρούμε πως πετύχαμε τις επιδιώξεις μας σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό γιατί ο αλγόριθμος μας έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα.

Πιστεύουμε επίσης πως σημαντική συνεισφορά της εργασίας μας είναι ότι μας οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν γενικότερα τους αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού για χρήση τους σε παρόμοιου τύπου MAC πρωτόκολλα.

Ειδικά οι τύποι χρηστών που δύνανται να υποστούν απώλεια είναι σημαντικά πιο αποδοτικό να μπαίνουν σε μια κοινή ουρά και να λαμβάνουν προτεραιότητα με βάση στοχευμένα κριτήρια. Δηλαδή δεν προτείνουμε να δίδεται ντετερμινιστικά προτεραιότητα σε κάθε τύπο.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Περιεχόμενα	iv
Λίστα Εικόνων.....	vi
Λίστα Πινάκων	vii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1: Τηλεϊατρική και εφαρμογές.....	1
1.2: Στόχοι και βήματα υλοποίησης της εργασίας.....	3
1.3: Διάρθρωση της εργασίας.....	7
Κεφάλαιο 2: Το μοντέλο της κίνησης του συστήματος	9
2.1: Κανονική Κίνηση	9
2.2: Τηλεϊατρική Κίνηση	15
Κεφάλαιο 3: Πρωτόκολλο MI-MAC.....	18
3.1: Δομή του Channel Frame	18
3.2: Βασικές παραδοχές σε Κρατήσεις και Χρονοπρογραμματισμό....	21
3.3: RRA Αλγόριθμος Two-Cell Stack.....	26
3.4: Μεταβάσεις καταστάσεως των χρηστών	29
3.5: Μοντέλο σφάλματος καναλιού.....	30
Κεφάλαιο 4: Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού.....	34
4.1: First Come First Served (FCFS).....	35
4.2: Least Slack Time by Type (LSTT)	36
4.3: Least Slack Time by Category (LSTC)	38
4.4: Shortest Ratio First (SRF).....	39
4.5: Lottery Scheduling (LS).....	41
4.6: Deficit Round Robin (DRR)	43
4.7: Weighted Max-Min Fair Sharing (WMMFS).....	46
4.8: Weighted Most Degraded Priority (WMDP)	51
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	55

5.1: Δείκτες Δικαιοσύνης	55
5.1.1: Jain's Fairness Index (JFI)	56
5.1.2: Min-Max Fairness Index (MMFI)	57
5.1.3: Standard Deviation Fairness Index (SDFI).....	58
5.1.4: Gini Coefficient (GC).....	60
5.2: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων.....	61
5.2.1: Φορτίο 1	66
5.2.2: Φορτίο 2	68
5.2.3: Φορτίο 3	70
5.2.4: Φορτίο 4	72
5.2.5: Φορτίο 5	74
5.2.6: Φορτίο 6	76
5.2.7: Φορτίο 7	78
5.2.8: Μέσος Όρος Δεικτών Δικαιοσύνης	80
Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	81
6.1: Αξιολόγηση FCFS.....	81
6.2: Αξιολόγηση LSTT	84
6.3: Αξιολόγηση LSTC.....	86
6.4: Αξιολόγηση SRF	88
6.5: Αξιολόγηση LS.....	90
6.6: Αξιολόγηση DRR	92
6.7: Αξιολόγηση WMMFS	94
6.8: Αξιολόγηση WMDP	97
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα - Προτάσεις	101
7.1: Συμπεράσματα	101
7.2: Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	103
7.3: Επίλογος	105
Βιβλιογραφία.....	106

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 2.1: Διάγραμμα μεταβάσεων κατάστασης τερματικού φωνής...	12
Εικόνα 3.1: Δομή του Channel Frame	19
Εικόνα 3.2: Διάγραμμα μετ/σεων κατάστασης ενεργού χρήστη.....	29
Εικόνα 3.3: Διάγραμμα μετ/σεων κατάστασης σφάλματος καναλιού ...	31

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3.1: Παράμετροι Σφάλματος Καναλιού.....	33
Πίνακας 5.1: Φορτίο 1 - Αποτελέσματα	66
Πίνακας 5.2: Φορτίο 2 - Αποτελέσματα	69
Πίνακας 5.3: Φορτίο 3 - Αποτελέσματα	71
Πίνακας 5.4: Φορτίο 4 - Αποτελέσματα	73
Πίνακας 5.5: Φορτίο 5 - Αποτελέσματα	75
Πίνακας 5.6: Φορτίο 6 - Αποτελέσματα	77
Πίνακας 5.7: Φορτίο 7 - Αποτελέσματα	78

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1: Τηλεϊατρική και εφαρμογές

Η τηλεϊατρική (telemedicine) ορίζεται ως η χρήση των τηλεπικοινωνιών και των πληροφοριακών εφαρμογών για την παροχή ιατρικών πληροφοριών και υπηρεσιών [1]. Χρησιμοποιείται ήδη σε πολλούς τομείς της υγειονομικής περίθαλψης όπως η εντατική φροντίδα νεογνών, οι χειρουργικές επεμβάσεις, η φαρμακευτική, η δημόσια υγεία, η εκπαίδευση του ασθενή, η παροχή ιατρικής βοήθειας σε απομακρυσμένα μέρη με χαμηλές δυνατότητες αντιμετώπισης κρίσιμων περιστατικών κ.α. .

Η επέκταση και η εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας επέφεραν νέες δυνατότητες στο πεδίο της τηλεϊατρικής εξ' αιτίας της ευρείας γεωγραφικής κάλυψης που παρέχουν τα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα και της δυνατότητας τους να εξυπηρετούν κινούμενα οχήματα. Στα τροχαία ατυχήματα οι ομάδες άμεσης ιατρικής βοήθειας παρέχουν μια αρχική εκτίμηση της κλινικής κατάστασης των τραυματιών, πρώτες βοήθειες, σε κρίσιμες περιπτώσεις αναζωογόνηση και μεταδίδουν κρίσιμες πληροφορίες σε γιατρούς κατά βάση μέσω φωνητικής επικοινωνίας. Έτσι, ο γιατρός μπορεί να κάνει εκτίμηση της κατάστασης βασιζόμενος μόνο σε αυτά που του περιγράφονται από τον τόπο του ατυχήματος, ενώ είναι ανήμπορος να παρακολουθεί τον τραυματία μέσω συνεχούς επαφής-βίντεο και την ίδια στιγμή να λαμβάνει δεδομένα μείζονος σημασίας που αφορούν τα ζωτικά όργανα του [2,3]. Δεδομένου ότι η άφιξη του ασθενή στο νοσοκομείο μπορεί να καθυστερήσει για μια σειρά από λόγους, που κατά βάση έχουν να κάνουν με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, είναι σαφές ότι είναι αναγκαίο τα ασθενοφόρα να έχουν τη

δυνατότητα να παρέχουν στον τραυματία-ασθενή υψηλού επιπέδου υπηρεσίες περίθαλψης που μέχρι τώρα θα μπορούσαν να παρασχεθούν μόνο κατά την άφιξη του στο νοσοκομείο.

Ο βασικός στόχος όλων των τηλεϊατρικών εφαρμογών είναι να βελτιώσουν την ευεξία των ασθενών και να φέρουν τις ιατρικές γνώσεις με ταχύτητα και με χαμηλό κόστος σε ανθρώπους που το έχουν ανάγκη [4,5]. Οπότε, πέρα από τα ασθενοφόρα, αυτές οι εφαρμογές είναι επίσης βασικής σημασίας για παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης σε ανεπαρκώς εξοπλισμένα μέρη, όπως αγροτικά ιατρεία, μικρά επαρχιακά κέντρα υγείας, πλοία, αεροπλάνα, τρένα, όπως επίσης και στην κατ' οίκον παρακολούθηση που στο μέλλον αναμένεται να γίνει πιο διαδεδομένη [4,6].

Η m-health (mobile healthcare, “computing, medical sensor and communication technologies for healthcare ”[7]) είναι ένα νέο παράδειγμα που συνδυάζει την εξέλιξη των αναδυόμενων ασύρματων επικοινωνιών και των δικτυακών τεχνολογιών με την ιδέα “διασυνδεδεμένη ιατρική περίθαλψη οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή”. Ποικίλες μελέτες στον τομέα της m-health έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια σε πολύ σημαντικές πτυχές της δημόσιας υγείας [2,3,6,7,8,9,10,11]. Σε πολλές από αυτές τις μελέτες κυρίαρχη σημασία είχε η αποδοτική χρήση των πόρων των κυψελωτών δικτύων για την χωρίς σφάλματα και γρήγορη μετάδοση όλων των τύπων της τηλεϊατρικής κίνησης· ειδικά αν λάβουμε υπόψη ότι μόνο περιορισμένο ανοδικό (uplink) και καθοδικό (downlink) (σε ορισμένες περιπτώσεις) bandwidth μπορεί να αφιερωθεί στη μετάδοση αυτού του πολύ επείγοντος και καίριου είδους κίνησης για την υγεία των ασθενών. Κάποια από τα σχετικά ερευνητικά πρότζεκτ περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: Την ανάπτυξη χαμηλού κόστους και χαμηλής ενέργειας πολυλειτουργικών κόμβων ιατρικών μικροαισθητήρων (multifunctional

medical micro sensor nodes) [12], ένα χαμηλής ενέργειας MAC πρωτόκολλο για ασύρματα δίκτυα ιατρικών αισθητήρων [13], την μετάδοση ιατρικών και context-aware δεδομένων από μετακινούμενους ασθενείς στα κέντρα ιατρικής περίθαλψης μέσω HWN (Heterogeneous Wireless Networks) [14], την πρόβλεψη QoS απαιτήσεων πάνω σε ασύρματο δίκτυο ανάμεσα στο BSN (Body Sensor) Gateway και στα ασύρματα AP (Access Points) [15] και μεθόδους για παροχή τηλεϊατρικής με υψηλή ποιότητα βίντεο σε απομακρυσμένες, συνήθως αγροτικές, περιοχές με μικρούς πληθυσμούς [16].

Από τις προαναφερθείσες ερευνητικές προσπάθειες στο πεδίο της τηλεϊατρικής, συμπεραίνουμε ότι τα ασύρματα δίκτυα 4G μπορούν να γίνουν επαρκή “πεδία δοκιμών” για την εξέλιξη αποδοτικών μηχανισμών μετάδοσης τηλεϊατρικής κίνησης. Οι βασικοί λόγοι είναι οι πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης που παρέχουν σε σχέση με τα προηγούμενης γενιάς κυψελωτά δίκτυα και το ότι παρέχουν δυνατότητα ταυτόχρονης εξυπηρέτησης φωνής, δεδομένων και ροών πολυμέσων “οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή”.

1.2: Στόχοι και βήματα υλοποίησης της εργασίας

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, στις μέρες μας η τηλεϊατρική με χρήση κινητών συσκευών είναι μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες για τη βελτίωση της δημόσιας υγείας. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες με σκοπό τη βελτιστοποίηση πτυχών της τηλεϊατρικής με χρήση κινητών συσκευών [2,3,6,7,8,9,10,11]. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των μελετών είναι ότι εστιάζουν αποκλειστικά στη μετάδοση τηλεϊατρικής κίνησης πάνω σε κυψελωτά δίκτυα χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη το γεγονός ότι η κανονική κίνηση, η οποία είναι το

μεγαλύτερο μέρος του φορτίου σε ένα κυψελωτό δίκτυο, έχει και αυτή υψηλές απαιτήσεις QoS.

Προηγούμενες εργασίες [17,18,19] αποτέλεσαν βάση της παρούσας. Στην εργασία [17] παρουσιάστηκε το MI-MAC (Multimedia Integration Multiple Access Control Protocol), το οποίο επέδειξε πολύ καλή απόδοση κατά την ταυτόχρονη μετάδοση ποικίλων τύπων δεδομένων (βίντεο, φωνή, email, διαδικτυακή κίνηση) πάνω σε νέας γενιάς ασύρματα κυψελωτά δίκτυα. Όμως σε αυτήν την εργασία δεν ελαμβάνετο υπόψη η μετάδοση επείγουσας κίνησης όπως είναι η τηλεϊατρική. Επιπρόσθετα, η προτεραιότητα μετάδοσης καθοριζόταν ως εξής: Κάθε τύπος δεδομένων είχε σαφή προτεραιότητα μετάδοσης έναντι των άλλων τύπων, ενώ η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου ακολουθούσε τη λογική FCFS (First Come First Served). Σε εκείνη την εργασία έγιναν πολλές, χρήσιμες και ενδιαφέρουσες μετρήσεις όμως αυτές υπολόγιζαν τη μέση τιμή των μέσων τιμών που είχε κάθε χρήστης του εκάστοτε τύπου. Για παράδειγμα, η μέτρηση της μέση απώλειας πακέτων ανά χρήστη βίντεο δεν έδινε κάποια ένδειξη για την μέση απώλεια πακέτων που είχε κάθε χρήστης βίντεο ξεχωριστά, οπότε δε γινόταν εκτίμηση της δικαιοσύνης που προσφέρει το MI-MAC, με χρήση του FCFS αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού, κατά την εξυπηρέτηση των χρηστών του ίδιου τύπου. Έτσι δεν υπήρχε εικόνα για το αν κάποιος χρήστης ικανοποιείτο εξαιρετικά και αν κάποιος άλλος είχε σοβαρή παραβίαση των απαιτήσεων QoS, στην περίπτωση που ο μεν χρήστης αφίχθηκε νωρίς και μπήκε πρώτος στην ουρά προς εξυπηρέτηση και ο δε αφίχθηκε αργότερα και μπήκε προς το τέλος στην ουρά προς εξυπηρέτηση.

Στις εργασίες [18,19] έγιναν πολλές προσθήκες. Πρώτη και σημαντικότερη ήταν η προσθήκη τεσσάρων τύπων τηλεϊατρικής κίνησης και η ταυτόχρονη εξυπηρέτηση τους μαζί με τέσσερις τύπους κανονικής

κίνησης. Δεύτερη ήταν η επέκταση του πρωτοκόλλου σε περισσότερα κελιά και η προσθήκη κινητικότητας και δυνατότητας των χρηστών να κάνουν μεταβάσεις μεταξύ των κελιών. Τρίτη ήταν η εκτίμηση της απόδοσης του πρωτοκόλλου με τρεις διαφορετικούς αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού, οι οποίοι ρύθμιζαν την προτεραιότητα μεταξύ των χρηστών του ίδιου τύπου, και κατ' επέκταση η σύγκριση που έγινε μεταξύ τους. Αυτοί ήταν οι FCFS (First Come First Served), EDF (Earliest Deadline First) και SJF (Shortest Job First). Τέταρτη ήταν η χρησιμοποίηση του δείκτη JFI (Jain's Fairness Index) ως μια μετρική της δικαιοσύνης που επιτυγχάνεται στην εξυπηρέτηση μεταξύ των χρηστών του ίδιου τύπου.

Στην εργασία μας οι αρχικοί στόχοι που θέσαμε ήταν να βρούμε τρόπους ώστε οι χρήστες των ευρύτερων κατηγοριών (τηλεϊατρική - κανονική) και των οκτώ τύπων κίνησης να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν καλύτερα. Τα βασικά κριτήρια με τα οποία κρίναμε την καλή εξυπηρέτηση ήταν οι χρήστες να έχουν τις μικρότερες δυνατές απώλειες πακέτων (να γίνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του bandwidth), την καλύτερη δυνατή ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS τους και να λαμβάνουν τη μέγιστη δυνατή δικαιοσύνη.

Για να πετύχουμε τους παραπάνω στόχους ξεκινήσαμε με βάση την εργασία [17], που παρουσίασε το MI-MAC για χρήση σε ένα κελί με παρουσία μόνο κανονικής κίνησης. Εμείς διατηρήσαμε την προσομοίωση - μελέτη μας πάνω σε ένα κελί και την επεκτείναμε ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη μετάδοση κανονικής και τηλεϊατρικής κίνησης. Κάναμε τις απαιτούμενες αλλαγές σε βασικά σημεία του MI-MAC και προσθέσαμε την απαιτούμενη λειτουργικότητα για να συμπεριλαμβάνει και την εξυπηρέτηση τεσσάρων επιπλέον τύπων, όλοι τηλεϊατρικής κίνησης. Ταυτόχρονα αλλάξαμε κάποιες παραδοχές που αφορούσαν κυρίως τη μοντελοποίηση των δυο τύπων βίντεο, του κανονικού και του τηλεϊατρικού. Συνολικά, μαζί με τις προσθήκες που θα αναφέρουμε

παρακάτω, ο κώδικας της προσομοίωσής μας, η οποία γράφτηκε σε γλώσσα C, τριπλασιάστηκε και από τις περίπου 3000 γραμμές που ήταν αρχικά έφτασε στις 9000 γραμμές.

Συνεχίσαμε με επιπλέον προσθήκες που ήταν το πιο βασικό κομμάτι της εργασίας μας. Προσαρμόσαμε, στο MI-MAC, επτά αλγόριθμους χρονοπρογραμματισμού που, τουλάχιστον ως βασική ιδέα, υπήρχαν στη βιβλιογραφία και όπου χρειάστηκε κάναμε αλλαγές στις βασικές παραδοχές τους ώστε να ταιριάζουν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εργασίας μας. Κατόπιν εκτιμήσαμε την απόδοση τους με βάση τα παραπάνω κριτήρια για πολλά διαφορετικά φορτία κίνησης στο δίκτυο μας.

Για να κάνουμε καλύτερη εκτίμηση της απόδοσης προσθέσαμε επιπλέον μετρήσεις μέσω όρων και τρεις επιπλέον, του ήδη υπάρχοντος JFI, δείκτες δικαιοσύνης (MMFI, SDFI, GC). Μάλιστα τους επεκτείναμε σε περισσότερες μετρήσεις για να διαπιστώσουμε ποια είναι η πιο χρήσιμη για να κρίνουμε τη δικαιοσύνη.

Λόγω της εμπειρίας που αποκτήσαμε κατά την προσαρμογή και την εκτίμηση της απόδοσης των παραπάνω αλγορίθμων αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε ένα δικό μας αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού. Επιδιώξαμε αυτός να εξυπηρετεί όσο το δυνατόν καλύτερα τους χρήστες με βάση τα κριτήρια που αναφέραμε και να πετυχαίνει τους στόχους μας.

Θεωρούμε πως πετύχαμε τις επιδιώξεις μας σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό γιατί ο αλγόριθμός μας έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα, συγκριτικά με τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Το βασικό του προτέρημα είναι ο ευέλικτος, εστιασμένος και με συγκεκριμένα κριτήρια τρόπος με τον οποίο ρυθμίζει την προτεραιότητα μεταξύ των χρηστών που ανήκουν σε πιο “δύσκολους” τύπους κίνησης.

Επίσης, πιστεύουμε πως ίσως η κυριότερη συνεισφορά της εργασίας μας είναι ότι οδηγηθήκαμε σε χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν γενικότερα τους αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού για

χρήση σε παρόμοιου τύπου MAC πρωτόκολλα τα οποία καλούνται να εξυπηρετήσουν πολλούς διαφορετικούς τύπους κίνησης. Τα πιο βασικά συμπεράσματα είναι εν συντομία τα παρακάτω:

- Ειδικά οι τύποι χρηστών που δύνανται να υποστούν απώλεια πακέτων είναι σημαντικά πιο αποδοτικό να μπαίνουν σε μια κοινή ουρά και να λαμβάνουν προτεραιότητα με βάση στοχευμένα κριτήρια. Αντιθέτως η ντετερμινιστική προτεραιότητα μεταξύ των διαφορετικών τύπων αυξάνει σημαντικά τις απώλειες πακέτων.
- Το βασικότερο κριτήριο προτεραιότητας σε περιπτώσεις όπως η προαναφερθείσα πρέπει να είναι το urgency του κάθε χρήστη τη δεδομένη στιγμή. Ο όσο το δυνατόν καλύτερος προσδιορισμός του urgency είναι βαρύνουσας σημασίας.
- Πρέπει να υπάρχει ένα κριτήριο που να εξετάζει όχι μόνο το πόσο αναγκαίο είναι να μεταδώσει κάποιος αλλά και πόσο δίκαιο είναι αυτό. Πιστεύουμε ότι αυτό το κριτήριο πρέπει να βασίζεται στο degradation.

1.3: Διάρθρωση της εργασίας

Παρακάτω αναφέρουμε πώς διαρθρώνεται η υπόλοιπη εργασία.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται η περιγραφή των μοντέλων και των παραδοχών που χρησιμοποιήσαμε για κάθε έναν από τους οκτώ τύπους κίνησης, τέσσερις εκ των οποίων είναι τηλεϊατρικής και άλλοι τέσσερις κανονικής κίνησης.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφουμε τη βασική δομή, λογική και λειτουργία του MI-MAC πρωτοκόλλου πάνω στο οποίο στη συνέχεια δοκιμάσαμε τους οκτώ αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφουμε τη λειτουργία, τη λογική κάθε ενός από τους οκτώ αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού και τις προσαρμογές που έγιναν, όπου ήταν ανάγκη, ώστε να ταιριάζουν στις ανάγκες του MI-MAC.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε τους δείκτες δικαιοσύνης και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Στο κεφάλαιο 6 κάνουμε αξιολόγηση και σχολιασμό των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου.

Στο κεφάλαιο 7 αναφέρουμε τα γενικά συμπεράσματα μας και τις ιδέες μας για μελλοντικές εργασίες.

Κεφάλαιο 2: Το μοντέλο της κίνησης του συστήματος

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το σύστημά μας εξυπηρετεί κανονική και τηλεϊατρική κίνηση. Μοντελοποιούμε τέσσερις διαφορετικούς τύπους για κάθε μια από τις δύο κατηγορίες. Η κανονική κίνηση αντιπροσωπεύεται από το κανονικό βίντεο (Regular Video), τη φωνή (Voice), το Email και τα SMS ενώ η τηλεϊατρική κίνηση από το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG), την ακτινογραφία (X-Ray), τις τηλεϊατρικές εικόνες (Telemedicine Images) και το τηλεϊατρικό βίντεο (Telemedicine Video). Μελετούμε σενάρια στα οποία χρήστες από όλους του τύπους των δύο κατηγοριών κίνησης προσπαθούν ταυτόχρονα να αποκτήσουν πρόσβαση στο δίκτυο.

2.1: Κανονική Κίνηση

Οι παραπάνω αναφερθέντες τέσσερις τύποι κανονικής κίνησης επιλέχθηκαν γιατί είναι οι συνηθέστεροι τύποι που καλούνται να εξυπηρετήσουν τα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα. Παρακάτω ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή αυτών.

Κανονικό Βίντεο (Regular Video):

Το πρότυπο MPEG-4 παρουσιάστηκε το 1993. Είχε στόχο την εξέλιξη αλγορίθμων και εργαλείων για υψηλής αποδοτικότητας κωδικοποίηση και αναπαράσταση δεδομένων βίντεο και ήχου, ώστε αντεπεξέλθει στις προκλήσεις των εφαρμογών τηλεδιασκέψεων. Τα

αρχικά πρότυπα ήταν περιορισμένα σε χαμηλού bit rate εφαρμογές αλλά στη συνέχεια επεκτάθηκαν για να περιλαμβάνουν ευρύτερου φάσματος εφαρμογές πολυμέσων και υψηλότερα bit rates. Η πιο σημαντική διαφορά ήταν η δυνατότητα αναπαράστασης μιας σκηνής ως συνόλου οπτικοακουστικών αντικειμένων. Τα πρότυπα MPEG-4 διαφέρουν από τα MPEG-1 και MPEG-2 στο ότι δεν είναι βελτιστοποιημένα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, αλλά διαχειρίζονται ταυτόχρονα την κωδικοποίηση, την πολυπλεξία και τα εργαλεία παρουσίασης που απαιτούνται για την υποστήριξη μεγάλης εμβέλειας πολυμέσων και εφαρμογών. Εκτός από την παροχή αποδοτικής κωδικοποίησης βίντεο και ήχου τα πρότυπα MPEG-4 συμπεριέλαβαν επιπλέον λειτουργικότητα όπως η αναπαράσταση βίντεο, ήχου, εικόνας, κειμένου, γραφικών κ.α. ως χωριστών αντικειμένων, όπως και τη δυνατότητα πολύπλεξης και συγχρονισμού τους. Συμπεριλήφθηκε επίσης επιπλέον υποστήριξη για κωδικοποίηση ακανόνιστα σχηματισμένων αντικειμένων βίντεο, για ανθεκτικότητα στα λάθη μετάδοσης πάνω σε ασύρματες συνδέσεις και για διαδραστικότητα με βάση το περιεχόμενο, όπως για παράδειγμα η δυνατότητα πρόσβασης και χειρισμού αντικειμένων σε μια σκηνή βίντεο.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε τα στατιστικά πραγματικών ροών MPEG-4 από την ελεύθερα διαθέσιμη βιβλιοθήκη του τμήματος Telecommunication Networks Group του Technical University of Berlin [20]. Σε αυτή παρέχονται στατιστικά για τα μεγέθη των video frames από μεγάλης διάρκειας βίντεο με κωδικοποίηση MPEG-4 και H.263. Επιλέξαμε δύο ροές MPEG-4 που έχουν ληφθεί και αναλυθεί από κάμερες, η μία δείχνει τα γεγονότα που συμβαίνουν σε ένα γραφείο και η άλλη μια διάλεξη. Χρησιμοποιήσαμε τις εκδοχές υψηλής ποιότητας που ήταν διαθέσιμες.

Το βίντεο από το γραφείο έχει μέσο bit rate στα 396.86 kbps, μέγιστο bit rate στα 1.98 Mbps και τυπική απόκλιση του bit rate της τάξης των 433.64 kbps.

Το βίντεο από τη διάλεξη έχει μέσο bit rate στα 209.62 kbps, μέγιστο bit rate στα 1.49 Mbps και τυπική απόκλιση του bit rate της τάξης των 182.10 kbps.

Οι μισοί βίντεο χρήστες επιλέγουν ντετερμινιστικά μια από τις δύο ροές και οι άλλοι μισοί την άλλη. Κάθε χρήστης ξεκινά από τυχαίο σημείο-VF της ροής που επέλεξε και ανά 1 λεπτό αλλάζει ροή και επιλέγει τυχαίο σημείο-VF αυτής.

Όπως θα δούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, χωρίζουμε το χρόνο σε channel frames (CF) των 12 ms (0.012 s). Αποφασίσαμε κάθε χρήστης βίντεο να κάνει την άφιξή του στο σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή εντός του πρώτου CF, δηλαδή εντός των πρώτων 12 ms της προσομοίωσης.

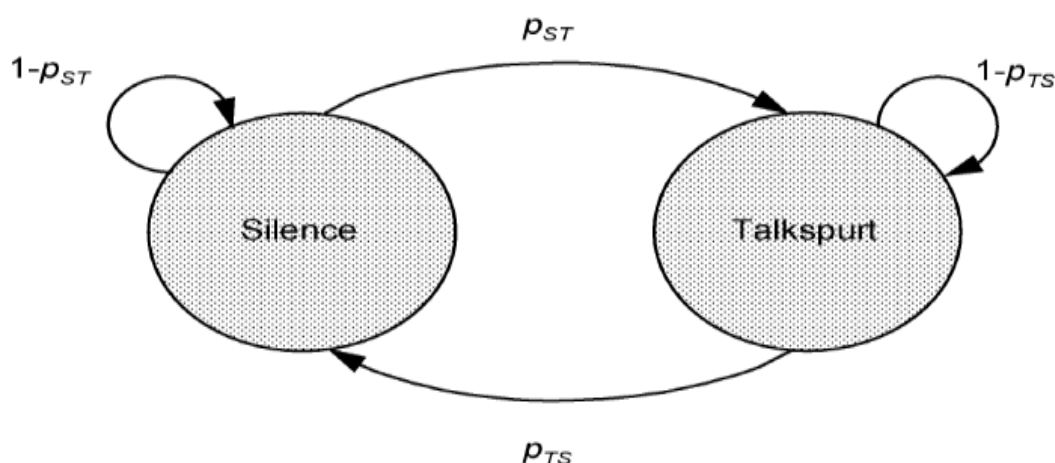
Νέα video frames (VFs) φθάνουν κάθε 40 ms. Θέσαμε τη μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου βίντεο στα 40 ms. Αυτό σημαίνει ότι τα εναπομείναντα πακέτα του τρέχοντος VF, αν δεν έχουν ήδη μεταδοθεί όλα, πετάγονται (drop) με την άφιξη του νέου VF. Αυτή η αυστηρή απαίτηση είναι απαραίτητη γιατί τα βίντεο συνεχούς ροής απαιτούν οριοθετημένη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, ώστε τα πακέτα να φτάνουν στο δέκτη εγκαίρως για να αποκωδικοποιούνται και να προβάλλονται σωστά. Αν ένα πακέτο βίντεο δε φτάσει στην ώρα του η προβολή του βίντεο παγώνει, γεγονός ενοχλητικό για τον θεατή.

Θέσαμε την επιθυμητή πιθανότητα απώλειας πακέτου στο 1% [21], διότι η απώλεια πακέτων κανονικού βίντεο δεν έχει την ίδια κρισιμότητα που έχει η απώλεια πακέτων τηλεϊατρικού βίντεο.

Οι χρήστες βίντεο παραμένουν σταθερά ενεργοί μέσα στο σύστημα και έχουν εκθετικά κατανομημένες χρονικές περιόδους, με μέση διάρκεια 5 λεπτών [22], στις οποίες μεταδίδουν συνεχόμενα, χωρίς να μπαίνουν στη διαδικασία να στείλουν αίτηση για κράτηση.

Φωνή (Voice):

Ο ρυθμός κωδικοποίησης της ομιλίας είναι 32 kbps στο σύστημά μας. Τα τερματικά φωνής είναι εξοπλισμένα με ανιχνευτή φωνητικής δραστηριότητας - voice activity detector (VAD) [23]. Οι χρήστες φωνής θεωρούμε ότι παραμένουν αριθμητικά σταθεροί στο σύστημά μας και ακολουθούν ένα εναλλασσόμενο μοτίβο περιόδων ομιλίας (talkspurt) και περιόδων σιωπής (silence). Η μέση διάρκεια της περιόδου ομιλίας είναι 1 s και η μέση διάρκεια της περιόδου σιωπής είναι 1.35 s. Μοντελοποιούμε την παραπάνω συμπεριφορά μέσω μιας μαρκοβιανής αλυσίδας (Markov chain) (Εικόνα 2.1) διακριτού χρόνου η οποία περιλαμβάνει δύο καταστάσεις, Silence και Talkspurt, οι οποίες σχηματίζουν μια επαναλαμβανόμενη κλάση που δεν είναι περιοδική.



Εικόνα 2.1: Διάγραμμα μεταβάσεων κατάστασης τερματικού φωνής

Θεωρούμε ότι οι μεταβάσεις μεταξύ των δύο καταστάσεων (από σιωπή σε ομιλία και το αντίστροφο) λαμβάνουν χώρα στα όρια των channel frames, δηλαδή στο τέλος του τρέχοντος και στην αρχή του επόμενου. Αυτή η υπόθεση έχει ικανοποιητική ακρίβεια αν λάβουμε υπόψη ότι η διάρκεια του channel frame είναι 12 ms, ενώ οι μέσες διάρκειες σιωπής και ομιλίας είναι μεγαλύτερες ή ίσες του 1 s.

Ονομάζουμε την πιθανότητα μετάβασης από σιωπή σε ομιλία P_{ST} και από ομιλία σε σιωπή P_{TS} . Οι χρόνοι σιωπής και ομιλίας είναι εκθετικά κατανομημένοι με μέσες τιμές τις προαναφερθείσες.

Ισχύει:

$$P_{ST} = \frac{1}{\bar{t}_S} \quad (2.1)$$

$$P_{TS} = \frac{1}{\bar{t}_T} \quad (2.2)$$

Αν υπολογίσουμε το χρόνο σε frames τότε $\bar{t}_S = \frac{1.35}{0.012} = 112.5$ frames και $\bar{t}_T = \frac{1}{0.012} = 83.333$ frames. Δηλαδή ένας χρήστης μεταβαίνει, κατά μ.ο., από σιωπή σε ομιλία 112.5 frames αφότου ξεκίνησε να σιωπά και από ομιλία σε σιωπή 83.333 frames αφότου ξεκίνησε να μιλά. Επομένως η πιθανότητα μετάβασης ενός χρήστη φωνής από σιωπή σε ομιλία κατά το πέρασμα από το προηγούμενο frame στο επόμενο είναι $P_{ST} = \frac{1}{112.5} \approx 0.0089$ ή 0.89% ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα μετάβασης από ομιλία σε σιωπή είναι $P_{TS} = \frac{1}{83.333} = 0.012$ ή 1.2%.

Με βάση τα παραπάνω, για τις πιθανότητες μόνιμης κατάστασης ένας χρήστης να βρίσκεται σε σιωπή P_S ή ομιλία P_T ισχύουν τα παρακάτω.

$$P_S = \frac{P_{TS}}{P_{ST} + P_{TS}} \quad (2.3)$$

$$P_T = \frac{P_{ST}}{P_{TS} + P_{ST}} \quad (2.4)$$

Κάνοντας τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι, στη μόνιμη κατάσταση, ένας χρήστης είναι σιωπηλός με πιθανότητα $P_S \approx 0.5745$ ή 57.45% και ομιλών με πιθανότητα $P_T \approx 0.4255$ ή 42.55%.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις QoS θέσαμε την επιθυμητή πιθανότητα απώλειας πακέτου φωνής (voice packet dropping probability) στο 1% και στα 40 ms τη μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου φωνής (maximum transmission delay of voice packet) [17].

Email:

Για το email υιοθετήσαμε ένα μοντέλο κίνησης βασισμένο σε στατιστικά που έχει συλλέξει στη χρήση email το Finnish University and Research Network (FUNET) [24]. Σε αυτό το μοντέλο η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που αφορά το μήκος των μηνυμάτων Email σε πακέτα προσεγγίζεται από την κατανομή Cauchy με παραμέτρους (0.8,1). Το μέσο μήκος μηνύματος είναι 80 πακέτα ή 3.84 Kbytes. Οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων μηνυμάτων στο μοντέλο του FUNET είναι εκθετικά κατανομημένοι και οι αφίξεις μηνυμάτων ακολουθούν κατανομή Poisson.

Θέσαμε ως ανώτατο επιθυμητό όριο για τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης ενός μηνύματος Email τα 5 s, το οποίο είναι αρκετά αυστηρό. Επιλέξαμε αυτό το αυστηρό όριο λόγω του ότι οι χρήστες κινητών τηλεφώνων που στέλνουν Email είναι αρκετά απαιτητικοί στις QoS

απαιτήσεις τους και αναμένουν χρόνους εξυπηρέτησης παρόμοιους με αυτούς των SMS.

SMS:

Τα μηνύματα Short Message Service (SMS) είναι μια υπηρεσία αποθήκευσης και προώθησης (store and forward) που βασίζεται σε ένα Short Message Service Center (SMSC). Τα μηνύματα SMS είναι κατάλληλα ειδικά για μεταδόσεις μικρών όγκων δεδομένων οι οποίες επαναλαμβάνονται ανά μακρά χρονικά διαστήματα, λεπτών ή ωρών. Ο όγκος δεδομένων είναι 140 bytes ή 3 πακέτα, συμπεριλαμβανομένης της επικεφαλίδας 13 bytes [25]. Οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων μηνυμάτων είναι εκθετικά κατανεμημένοι και οι αφίξεις μηνυμάτων ακολουθούν κατανομή Poisson. Εκτιμήσεις για την καθυστέρηση μετάδοσης SMS σε GSM δίκτυα την τοποθετούν στο εύρος 2-30 s [26]. Σε αυτήν την εργασία θέσαμε ως ανώτατο επιθυμητό όριο για τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης ενός μηνύματος SMS τα 2 s, με σκοπό να δοκιμάσουμε το σύστημά μας κάτω από τις αυστηρότερες απαιτήσεις QoS.

2.2: Τηλεϊατρική Κίνηση

Οι ήδη αναφερθέντες, στην αρχή του κεφαλαίου, τέσσερις τύποι τηλεϊατρικής κίνησης επιλέχθηκαν γιατί θεωρήθηκαν ως βασικοί για την υγεία ενός ασθενούς σε ανάγκη. Παρακάτω ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή αυτών.

Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG):

Ομοίως με τα δεδομένα από την MIT-BIH arrhythmia database [2,11], θεωρούμε ότι τα δεδομένα ECG δειγματοληπτούνται στα 360 Hz με ακρίβεια 11 bits/δείγμα. Δηλαδή το bit rate του είναι χαμηλό, της τάξης των 3.96 kbps. Οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων χρηστών στο σύστημα είναι εκθετικά κατανεμημένοι και οι αφίξεις τους ακολουθούν κατανομή Poisson. Η μετάδοση της κίνησης ECG πρέπει να είναι άμεση και χωρίς απώλειες λόγω της κρισιμότητας της. Θέσαμε ένα αυστηρό ανώτατο επιθυμητό όριο για τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης ενός ECG μηνύματος-πακέτου στα 12 ms, δηλαδή στο χρόνο που αντιστοιχεί σε ένα channel frame.

Ακτινογραφία (X-Ray):

Με βάση τη βιβλιογραφία θεωρούμε ότι ένα αρχείο X-Ray έχει μέσο μέγεθος 200 Kbytes [6]. Οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων αρχείων X-Ray στο σύστημα είναι εκθετικά κατανεμημένοι και οι αφίξεις τους ακολουθούν κατανομή Poisson. Η μετάδοση της κίνησης X-Ray πρέπει να είναι και αυτή χωρίς απώλειες. Θέσαμε ως ανώτατο επιθυμητό όριο για τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης ενός αρχείου X-Ray τα 60 s [18].

Τηλεϊατρικές Εικόνες (Telemedicine Images):

Με βάση τη βιβλιογραφία θεωρούμε ότι ένα αρχείο τηλεϊατρικής εικόνας έχει μέγεθος στο εύρος 15 - 20 Kbytes [2]. Οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων αρχείων τηλεϊατρικής εικόνας στο σύστημα είναι εκθετικά κατανεμημένοι και οι αφίξεις τους ακολουθούν κατανομή Poisson. Η μετάδοση της κίνησης τηλεϊατρικών εικόνων πρέπει να είναι και αυτή χωρίς απώλειες. Θέσαμε ως ανώτατο επιθυμητό όριο για τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης ενός αρχείου τηλεϊατρικής εικόνας τα 5s [18].

Τηλεϊατρικό Βίντεο (Telemedicine Video):

Το πρότυπο H.263 είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση τηλεϊατρικού βίντεο στις μέρες μας. Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήσαμε πραγματικές ροές H.263 τηλεϊατρικού βίντεο από το [20] στις οποίες περιέχονται στατιστικά για τα μεγέθη των video frames.

Το συγκεκριμένο τηλεϊατρικό βίντεο έχει μέσο bit rate στα 90.38 kbps, μέγιστο bit rate στα 519.1 kbps και τυπική απόκλιση του bit rate της τάξης των 32.73 kbps.

Νέα VF φθάνουν κάθε 80 ms, δηλαδή στον διπλάσιο χρόνο απ' ότι αυτά του κανονικού βίντεο. Θέσαμε τη μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου βίντεο στα 80 ms. Αυτό σημαίνει ότι τα εναπομείναντα πακέτα του τρέχοντος VF, αν δεν έχουν ήδη μεταδοθεί όλα, πετάγονται (drop) με την άφιξη του νέου VF. Θέσαμε την επιθυμητή πιθανότητα απώλειας πακέτου στο 0.01% [18].

Οι χρήστες παραμένουν σταθερά ενεργοί μέσα στο σύστημα και έχουν εκθετικά κατανομημένες χρονικές περιόδους, με μέση διάρκεια 5 λεπτών, στις οποίες μεταδίδουν συνεχόμενα, χωρίς να μπαίνουν στη διαδικασία να στείλουν αίτηση για κράτηση.

Κάθε χρήστης τηλεϊατρικού βίντεο κάνει την άφιξή του στο σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή εντός του πρώτου channel frame, δηλαδή εντός των πρώτων 12 ms της προσομοίωσης.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι απαιτήσεις QoS που θέσαμε στην παρούσα εργασία είναι σε πολλές περιπτώσεις πιο περιοριστικές από τις θεωρήσεις που έχουν γίνει σε άλλες εργασίες στο συγκεκριμένο πεδίο [2,6,9,11]. Πήραμε αυτήν την απόφαση γιατί θελήσαμε να δοκιμάσουμε το σύστημα μας με πιο αυστηρά κριτήρια.

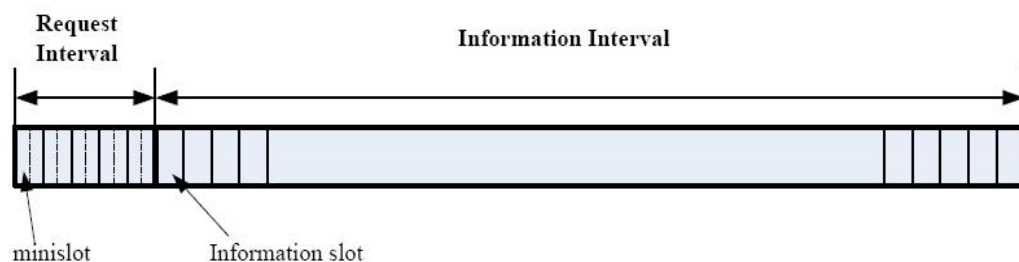
Κεφάλαιο 3: Πρωτόκολλο MI-MAC

Το πρωτόκολλο Multimedia Integration Multiple Access Control (MI-MAC) παρουσιάστηκε στο [17] και είναι βασισμένο στην τεχνική Time Division Multiple Access with Frequency Division Duplex (TDMA-FDD). Ήταν μια από τις πρώτες εργασίες στη σχετική βιβλιογραφία για την αποδοτική ταυτόχρονη εξυπηρέτηση MPEG-4 και H.263 βίντεο συνεχούς ροής (Variable Bit Rate, VBR), φωνής (Constant Bit Rate, On/Off κίνηση), εκρηκτικής-ασύμμετρης κίνησης Email και SMS πάνω σε υψηλής χωρητικότητας ασύρματα κυψελωτά δίκτυα που έχουν χαρακτηριστικά εκρηκτικών σφαλμάτων. Το πρωτόκολλο έδειξε πολύ καλά χαρακτηριστικά απόδοσης συγκρινόμενο με άλλα πρωτόκολλα βασισμένα σε TDMA και Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA), σε αξιολόγησή τους πάνω σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα που έχουν χαρακτηριστικά εκρηκτικών σφαλμάτων.

3.1: Δομή του Channel Frame

Η εργασία μας εστιάζει στο uplink channel (χρήστες κινητών μέσων προς σταθμό βάσης). Θεωρούμε ότι το uplink channel είναι διαιρεμένο χρονικά σε channel frames σταθερής διάρκειας και ότι κάθε channel frame με τη σειρά του διαιρείται σε slots. Slot είναι χρονικό διάστημα, τέτοιο ώστε κατά τη διάρκεια του να μπορεί να μεταδοθεί ένα πακέτο του συστήματός μας με βάση τη δεδομένη χωρητικότητα του καναλιού· δηλαδή αν αλλάξει η χωρητικότητα του καναλιού αλλάζει και η χρονική διάρκεια του slot.

Θεωρούμε ότι το uplink channel έχει χωρητικότητα 20 Mbps, για μεγαλύτερη ακρίβεια 19.998667 Mbps. Αυτή είναι μια αρκετά συντηρητική εκτίμηση, δεδομένου ότι τα νέας γενιάς ασύρματα κυψελωτά δίκτυα έχουν σχεδιαστεί ώστε οι ρυθμοί μετάδοσής τους να ξεπεράσουν τα 20 Mbps. Η διάρκεια του channel frame είναι 12 ms και το μέγεθος του πακέτου 53 bytes, εκ των οποίων τα 48 περιέχουν χρήσιμη πληροφορία ενώ τα υπόλοιπα 5 είναι επικεφαλίδα. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα κάθε channel frame διαιρείται σε 566 slots γιατί $\frac{20 \cdot 10^6 (bps) \cdot 12 \cdot 10^{-3} (s)}{53 \cdot 8 (bits)} \approx 566.037736$, οπότε στρογγυλοποιήσαμε στα 566 και η χωρητικότητα του καναλιού έπεσε οριακά στα 19.998667 Mbps. Η διάρκεια του channel frame επιλέξαμε να είναι 12 ms ώστε ένας χρήστης φωνής σε ομιλία να παράγει ακριβώς 1 πακέτο ανά channel frame, πιο αναλυτικά $\frac{32 \cdot 10^3 (bps) \cdot 12 \cdot 10^{-3} (s)}{48 \cdot 8 (bits)} = 1$. Την επιλογή για το μέγεθος του πακέτου την κάναμε με σκοπό να διευκολύνει τη σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα και επειδή δεν επηρεάζει την αποδοτικότητα του scheduling κομματιού του πρωτοκόλλου. Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζουμε γραφικά τη δομή του channel frame.



Εικόνα 3.1: Δομή του Channel Frame

Όπως αναφέραμε, το channel frame διαιρείται σε slots, όμως πριν από αυτό το επίπεδο διαίρεσης υπάρχουν δύο βασικά διαστήματα, το

request interval και το information interval, στα οποία χωρίζεται με κριτήριο τον τρόπο χρησιμοποίησης των slots.

Χρησιμοποιούμε το request interval για τους παρακάτω λόγους. Αν περισσότεροι από ένας χρήστες μεταδώσουν ταυτόχρονα κάποια χρονική στιγμή τότε λαμβάνει χώρα σύγκρουση και η πληροφορία που λαμβάνεται από το σταθμό βάσης είναι ακατάληπτη. Με σκοπό να περιορίσουμε αυτές τις συγκρούσεις και να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση της χωρητικότητας του καναλιού, επιτρέπουμε περισσότεροι από ένας χρήστες να δύνανται να μεταδώσουν ταυτόχρονα, και κατ' επέκταση να συγκρουστούν, μόνο στο request interval (ίσως και στα ER slots που θα δούμε παρακάτω), δηλαδή στην αρχή και σε ένα μικρό κομμάτι του channel frame. Οι χρήστες σε αυτό το διάστημα δε μεταδίδουν πληροφορία αλλά μικρές σε μέγεθος πακέτου αιτήσεις κράτησης. Αν κάποιος καταφέρει να μεταδώσει επιτυχώς αίτηση εξασφαλίζει δικαίωμα κράτησης για το information interval. Έτσι στο information interval οι χρήστες μεταδίδουν ο καθένας μόνος και ξεχωριστά, δεν υπάρχουν συγκρούσεις και εκμεταλλεύονται πολύ πιο αποτελεσματικά το διαθέσιμο bandwidth. Τα slots στο request interval ονομάζονται request slots και διαιρούνται σε mini slots, για πιο αποδοτική εκμετάλλευση του request bandwidth. Τα request slots είναι τα πρώτα 25 του channel frame και επιλέξαμε 2 mini slots ανά request slot ώστε να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για guard time, συγχρονισμό, τη μετάδοση ενός request πακέτου και την καθυστέρηση διάδοσης μέσα στο κελί. Κάθε mini slot “φιλοξενεί” ακριβώς ένα request πακέτο.

Το information interval, χρησιμοποιείται για να μεταδώσει κάθε χρήστης την πληροφορία του. Ένας χρήστης που κατάφερε να μεταδώσει επιτυχώς αίτηση και έχει εξασφαλίσει δικαίωμα κράτησης ενημερώνεται από το σταθμό βάσης για το πόσα και ποιιά slots του αναλογούν βάσει του αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού (scheduling) που χρησιμοποιεί

ο σταθμός βάσης. Μεταδίδει ανενόχλητα και μόνος αυτός σε αυτά τα μικρά κομμάτια του χρόνου. Με αυτή τη βασική λογική καταφέρνουμε μια πιο αποδοτική χρησιμοποίηση της χωρητικότητας του καναλιού. Για περαιτέρω βελτίωση χρειάζεται αποδοτικό scheduling που θα καταφέρει να αξιοποιήσει όσο το δυνατόν καλύτερα αυτή τη βασική λογική. Τα slots στο information interval ονομάζονται information - info slots. Κάθε channel frame έχει 541 info slots. Κάθε slot “φιλοξενεί” ακριβώς ένα σταθερού μήκους πακέτο το οποίο περιέχει πληροφορία και επικεφαλίδα, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Κάθε slot που μένει κενό κατά το scheduling στο τρέχον channel frame μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν extra request (ER) slot με σκοπό να λυθεί ο ανταγωνισμός (contention) μεταξύ των χρηστών που θέλουν να μεταδώσουν επιτυχώς αίτηση για κράτηση. Τα ER slots διαιρούνται και αυτά σε mini slots και η λειτουργία τους είναι ακριβώς ίδια με αυτή των κανονικών request slots.

3.2: Βασικές παραδοχές σε Κρατήσεις και Χρονοπρογραμματισμό

Οι χρήστες που δεν έχουν κράτηση αλλά έχουν πληροφορία προς μετάδοση ανταγωνίζονται για την εξασφάλιση πόρων του καναλιού. Όπως ήδη αναφέραμε, το request interval και τα ER slots είναι το διάστημα του channel frame στο οποίο περισσότεροι από ένας χρήστες υπάρχει περίπτωση να μεταδώσουν ταυτόχρονα. Αυτό δύναται να συμβεί κατά την προσπάθειά τους να μεταδώσουν επιτυχώς αίτηση, στοχεύοντας να εξασφαλίσουν δικαίωμα κράτησης για το information interval. Αυτές οι μεταδόσεις αιτήσεων από τους χρήστες πρέπει να ακολουθούν κάποιους κανόνες με σκοπό την καλύτερη δυνατή

εκμετάλλευση του request bandwidth. Τους κανόνες αυτούς ορίζουν οι RRA (Reservation Random Access) αλγόριθμοι.

Από την πλευρά του ο σταθμός βάσης μετά το πέρας κάθε minislot μεταδίδει feedback ενός bit C - NC (collision - non collision) υποδεικνύοντας την ύπαρξη ή την απουσία σύγκρουσης κατά τη μετάδοση των αιτήσεων των χρηστών εντός του minislot.

Αν ένας χρήστης μεταδώσει επιτυχώς αίτηση για κράτηση, περιμένει μέχρι το τέλος του request interval. Κάποια στιγμή εντός του information interval θα ενημερωθεί από το σταθμό βάσης για το ποιό/ποιά slot/slots του έχουν κρατηθεί για να μεταδώσει την πληροφορία του. Αν λάβει κράτηση τότε ο χρήστης μεταδίδει ελεύθερα και μόνο αυτός στα κρατημένα slots. Υπάρχει περίπτωση, σε μεγάλα φορτία, χρήστης που έχει μεταδώσει επιτυχώς αίτηση στο τρέχον channel frame να μη λάβει κράτηση γιατί δεν υπάρχουν διαθέσιμα slots. Σε αυτήν την περίπτωση δε χρειάζεται να συμμετάσχει στη διαμάχη των επόμενων channel frames και απλά περιμένει είτε μέχρι να λάβει την κράτησή του, είτε μέχρι ταυτοχρόνως να απωλέσει όλα του τα πακέτα και να σταματήσει να παράγει νέα (τηλεϊατρικό βίντεο, βίντεο, φωνή).

Αν ένας χρήστης δε μεταδώσει επιτυχώς αίτηση για κράτηση τότε ξαναπροσπαθεί στο request interval του επόμενου channel frame είτε μέχρι να μεταδώσει επιτυχώς αίτηση κράτησης, είτε μέχρι ταυτοχρόνως να απωλέσει όλα του τα πακέτα και να σταματήσει να παράγει νέα (τηλεϊατρικό βίντεο, βίντεο, φωνή).

Κατά την προσπάθεια επίλυσης του ανταγωνισμού για μετάδοση αιτήσεων εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών. Προηγείται πρώτα η κατηγορία των τηλεϊατρικών τύπων κίνησης και στη συνέχεια η κανονική. Εντός της κατηγορίας των τηλεϊατρικών τύπων η προτεραιότητα είναι ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο· η επιλογή αυτή έγινε βασισμένη

στην σπουδαιότητα που έχει κάθε ένας από αυτούς τους τύπους δεδομένων για την ιατρική περίθαλψη [2,3,4,6,7,8,9,10,11]. Εντός της κατηγορίας των κανονικών τύπων η προτεραιότητα είναι βίντεο, φωνή, Email, SMS. Κάθε χρήστης ανταγωνίζεται μόνο τους χρήστες του ιδίου, με αυτόν, τύπου κίνησης. Η προσπάθεια επίλυσης της διαμάχης των χρηστών ενός τύπου ξεκινά αφότου τελειώσει αυτή του τύπου με την αμέσως μεγαλύτερη προτεραιότητα, πλην των ECG που ξεκινούν πρώτοι. Μπορούμε να απομονώσουμε την επίλυση της διαμάχης ανά τύπο δεδομένων λόγω της χρήσης των δύο εκδοχών του αλγορίθμου Two-Cell Stack, [17] γιατί μέσω της λειτουργίας του μπορούμε να διαπιστώσουμε ντετερμινιστικά πότε έχει επιλυθεί η διαμάχη μεταξύ των χρηστών ενός τύπου, όπως θα δούμε παρακάτω.

Ο σταθμός βάσης, με σκοπό να κάνει αποδοτική κατανομή των πόρων του καναλιού, χρησιμοποιεί μια βασική λογική χρονοπρογραμματισμού (scheduling) η οποία συνδυάζεται με τους αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού. Η βασική λογική που θα περιγράψουμε παρακάτω μπορεί να διαφέρει σε ορισμένες παραδοχές ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο ανά περίπτωση αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού, μιας και προσαρμόζεται στα χαρακτηριστικά του. Αν στη χρήση κάποιων αλγορίθμων υπάρχουν μεταβολές στη βασική λογική χρονοπρογραμματισμού, αυτές θα αναφέρονται στην περιγραφή των αλγορίθμων που θα λάβει χώρα στο επόμενο κεφάλαιο.

Ο σταθμός βάσης διατηρεί ένα δυναμικό πίνακα με τους ενεργούς χρήστες του συστήματος. Όταν λάβει επιτυχώς μια αίτηση για κράτηση παρέχει επιβεβαίωση και την τοποθετεί σε ουρά. Κατανέμει τους πόρους του καναλιού κατά τη διάρκεια του information interval.

Οι χρήστες όλων των τύπων κίνησης πλην αυτών του τηλεϊατρικού βίντεο και του κανονικού βίντεο λαμβάνουν ένα slot, στο οποίο μεταδίδουν ελεύθερα και μόνο αυτοί.

Οι χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο και κανονικού βίντεο έχουν διαφορετική μεταχείριση· ο σταθμός βάσης προσπαθεί να τους ικανοποιήσει πλήρως δίδοντάς τους τόσα slots, όσα και τα πακέτα του τρέχοντος VF που έχουν (full allocation). Αν τα διαθέσιμα κενά slots δεν είναι επαρκή για full allocation τότε ο χρήστης παίρνει όσα είναι διαθέσιμα (partial allocation) και αναμένει να λάβει τα υπόλοιπα στα επόμενα channel frames, πριν βέβαια αφιχθεί το επόμενο VF του, γιατί αν αφιχθεί και έχουν μείνει πακέτα από το τρέχον αυτά χάνονται, όπως ήδη έχουμε αναφέρει.

Στις περιπτώσεις που δεν μπορεί να γίνει full allocation στους δύο τύπους βίντεο (σε όσους αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού επιδιώκεται να συμβεί), τότε στην κατανομή πόρων του επόμενου channel frame ο χρήστης που έλαβε partial allocation στο προηγούμενο έχει απόλυτη προτεραιότητα απέναντι σε κάθε άλλον χρήστη, οποιουδήποτε τύπου δεδομένων. Ο χρήστης που λαμβάνει partial allocation, στις περιπτώσεις που επιδιώκεται να λάβει full allocation, μπορεί να είναι μόνο ένας σε κάθε channel frame, πράγμα λογικό, γιατί όταν συμβεί partial allocation δεν μπορεί να ξανασυμβεί στο ίδιο channel frame, μιας και δεν υπάρχει κανένα διαθέσιμο slot κατόπιν αυτού.

Όπως και κατά την επίλυση του ανταγωνισμού για μετάδοση αιτήσεων, έτσι και στη βασική λογική χρονοπρογραμματισμού εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών. Προηγείται πρώτα η κατηγορία των τηλεϊατρικών τύπων κίνησης και στη συνέχεια η κανονική. Εντός της κατηγορίας των τηλεϊατρικών τύπων η προτεραιότητα είναι ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο. Εντός της κατηγορίας των κανονικών τύπων η προτεραιότητα είναι βίντεο, φωνή, Email, SMS.

Με βάση αυτή την προτεραιότητα ο σταθμός βάσης προσπαθεί να εξυπηρετήσει πρώτα τους χρήστες ενός συγκεκριμένου τύπου

δεδομένων και κατόπιν περνά στους χρήστες του επόμενου, κατά προτεραιότητα, τύπου. Βέβαια αυτή η προτεραιότητα μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τον εφαρμοζόμενο αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού.

Όσον αφορά τους χρήστες φωνής, κατά μέσο όρο θα κρατήσουν ένα slot δεσμευμένο για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, επειδή η μέση διάρκεια ομιλίας τους είναι 83.333 channel frames που αντιστοιχούν 1 s. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι ανάγκες τους δεν πλησιάζουν αυτές των δύο τύπων βίντεο, μπορεί να οδηγήσει σε αναλογικά καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών φωνής σε σχέση με τους χρήστες κανονικού βίντεο κυρίως. Γι'αυτό το λόγο έχουμε περιθώριο να επιδεινώσουμε τεχνητά τις υπηρεσίες που προσφέρονται στους χρήστες φωνής, με σκοπό να βελτιωθεί η εξυπηρέτηση των χρηστών κανονικού βίντεο. Για το λόγο αυτό στους χρήστες φωνής, όταν φτάνει η σειρά τους, δίδεται slot με πιθανότητα p .

Μια πολύ σημαντική παραδοχή που κάναμε στις κρατήσεις των χρηστών τηλεϊατρικού και κανονικού βίντεο είναι ότι εξυπηρετούνται άμεσα, με την άφιξη του νέου VF. Δηλαδή, ενώ όλοι οι άλλοι τύποι δεδομένων που έχουν νέα άφιξη περιμένουν μέχρι την έναρξη του επόμενου channel frame για να μπουν στη διαμάχη και κατόπιν να λάβουν κράτηση, οι χρήστες των δύο τύπων βίντεο έχουν σχεδόν συνέχεια δικαίωμα κράτησης (δε συμμετέχουν συχνά στον ανταγωνισμό) - θεωρούμε ότι ενημερώνουν το σταθμό βάσης για τα πακέτα του νέου VF τους με out of band signaling. Ο σταθμός βάσης τους βάζει αμέσως στην ουρά προς εξυπηρέτηση και τους εξυπηρετεί όσο πιο άμεσα μπορεί.

Οι χρήστες βίντεο μπαίνουν σε ανταγωνισμό μόνο στην αρχή κάθε νέας περιόδου (ομιλίας) και κατόπιν έχουν κατοχυρωμένο δικαίωμα κράτησης μέχρι αυτή να λήξει.

Σε αυτήν την περίοδο οι χρήστες των δύο τύπων βίντεο δε διατηρούν σταθερά τα slots κρατημένα για δύο λόγους. Πρώτον, γιατί

μέσα σε μια περίοδο μέσης διάρκειας 5 λεπτών θα περάσουν πολλά VF (5 λεπτά = 7500 ή 3750 VFs, κανονικού ή τηλεϊατρικού βίντεο αντίστοιχα), τα οποία έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε πακέτα. Δεύτερον, γιατί, όπως είπαμε, στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται προσπάθεια εξυπηρέτησης με full allocation, οπότε μέσα σε μικρό ποσοστό του channel frame, από τη στιγμή που θα αρχίσει, η μετάδοση θα έχει τελειώσει, επομένως θα ήταν άσκοπη σπατάλη πόρων να παραμένουν τα slots κρατημένα σε ένα χρήστη που απλά περιμένει το επόμενο VF του. Οι χρήστες λοιπόν διατηρούν κατοχυρωμένο δικαίωμα κράτησης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου και όχι σταθερά κρατημένα slots.

Κάθε χρήστης, ανεξαρτήτως τύπου, όταν ολοκληρώσει επιτυχώς τη μετάδοσή του ενημερώνει το σταθμό βάσης και τα slots του αποδεδουλευμένα άμεσα.

3.3: RRA Αλγόριθμος Two-Cell Stack

Στην εργασία μας χρησιμοποιούμε τον RRA αλγόριθμο Two-Cell Stack [27]. Παρακάτω παρουσιάζουμε τη λειτουργία δύο διαφορετικών εκδοχών του. Τον Two-Cell Stack Reservation Random Access Algorithm, ο οποίος χρησιμοποιείται από τους χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο, κανονικού βίντεο και φωνής και τον Two-Cell Stack Blocked Access Collision Resolution Algorithm, ο οποίος χρησιμοποιείται από τους χρήστες ECG, X-Ray, τηλεϊατρικής εικόνας, email και sms.

Two-Cell Stack Reservation Random Access Algorithm:

Κάθε χρήστης που μπαίνει σε ανταγωνισμό χρησιμοποιεί ένα μετρητή r . Μετά από κάθε μετάδοση ανταγωνιζόμενων χρηστών ο σταθμός βάσης μεταδίδει feedback, έστω x , το οποίο ενημερώνει για το

αν συνέβη collision ή non collision (success ή empty) στο mini slot που μόλις πέρασε. Τα βήματα λειτουργίας του αλγορίθμου έχουν ως εξής:

1: Στην εκκίνηση κάθε request interval οι ανταγωνιζόμενοι χρήστες αρχικοποιούν τον μετρητή r στις τιμές 0 ή 1 με πιθανότητα $1/2$.

2: Οι ανταγωνιζόμενοι χρήστες με $r = 0$ μεταδίδουν στο πρώτο mini slot. Δεδομένου του feedback x οι χρήστες ενεργούν ως εξής:

- Αν $x = \text{non collision}$:

Ο χρήστης με $r = 0$ ήταν ένας, σε περίπτωση που το non collision προήλθε από success και όχι από empty, και μετέδωσε επιτυχώς αίτηση.

Οι χρήστες με $r = 1$ αλλάζουν την τιμή του μετρητή σε $r = 0$.

- Αν $x = \text{collision}$:

Οι χρήστες με $r = 0$ επαναρχικοποιούν το μετρητή r στις τιμές 0 ή 1 με πιθανότητα $1/2$.

Οι χρήστες με $r = 1$ αφήνουν την τιμή του r ως έχει, δηλαδή $r = 1$.

3: Επανάληψη του βήματος 2 μέχρι είτε να λάβουν χώρα δύο συνεχόμενα feedbacks που να έχουν την τιμή non collision, είτε να εξαντληθούν τα request slots.

Η λειτουργία αυτού του αλγορίθμου μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά σαν μια στοίβα δύο κελιών. Σε ένα δεδομένο mini slot το κάτω κελί περιέχει τους χρήστες που θα μεταδώσουν ($r = 0$) και το πάνω κελί αυτούς που θα παραμείνουν σιωπηλοί ($r = 1$).

Τα πλεονεκτήματα του αλγορίθμου αυτού είναι ότι είναι απλός σε σύλληψη και σε υλοποίηση ενώ το σημαντικότερο είναι η δυνατότητα που μας δίνει να γνωρίζουμε ότι μετά από δύο συνεχόμενα non-collisions έχει τελειώσει επιτυχώς η διαμάχη των χρηστών. Το τελευταίο πλεονέκτημα μας βοηθά να περνάμε από τον ανταγωνισμό των χρηστών

ενός τύπου δεδομένων στον ανταγωνισμό των χρηστών του επόμενου, κατά προτεραιότητα, τύπου κίνησης.

Το μειονέκτημά του είναι ότι δεν μπορούν να γίνουν συνεχόμενες επιτυχείς μεταδόσεις (success), παρά μόνο αν αυτές είναι οι δύο τελευταίες. Δηλαδή όσο οι χρήστες είναι περισσότεροι από δύο μετά από success ακολουθεί πάντα collision· γιατί όσοι χρήστες είχαν $r = 1$, που θα είναι τουλάχιστον δύο, μετά το update θα έχουν $r = 0$, επομένως στο επόμενο mini slot θα ακολουθήσει σίγουρα collision γιατί θα μεταδώσουν ταυτόχρονα τουλάχιστον δύο χρήστες.

Two-Cell Stack Blocked Access Collision Resolution Algorithm:

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται από τους χρήστες ECG, X-Ray, τηλεϊατρικής εικόνας, email και sms με δύο βασικές διαφορές από την παραπάνω υλοποίηση.

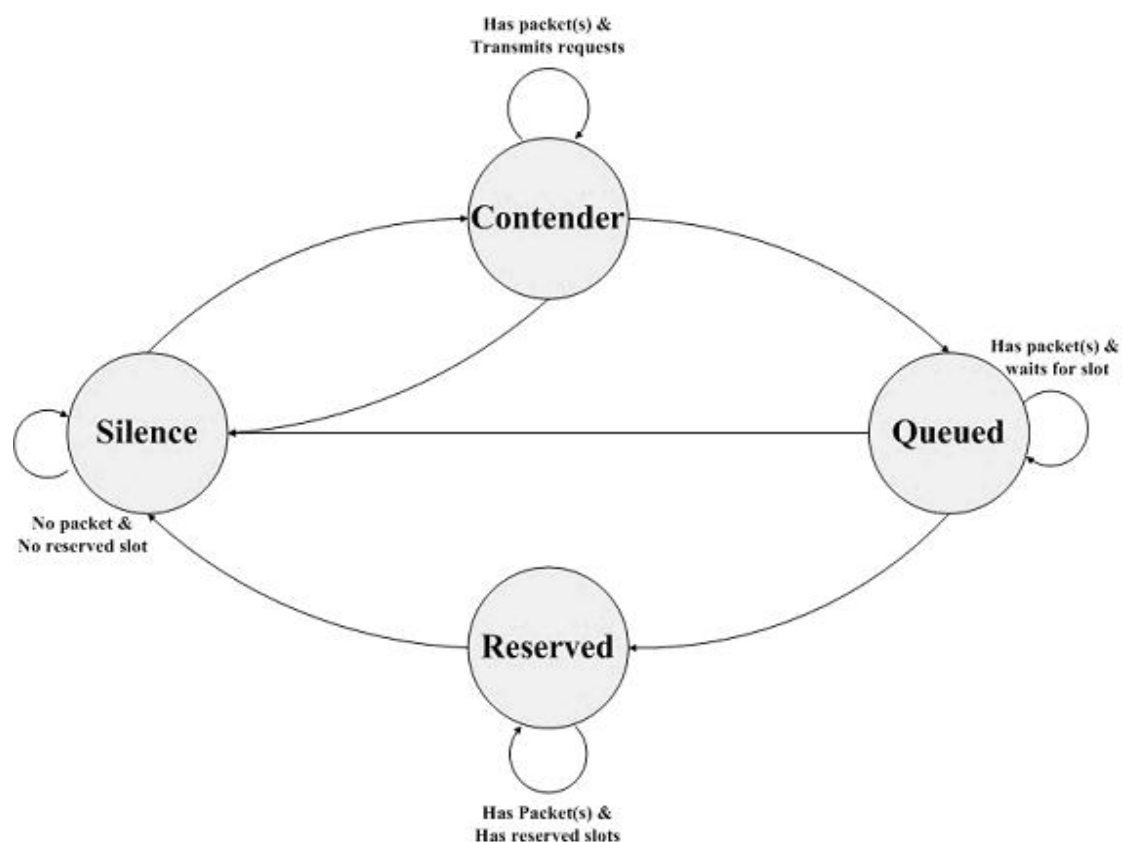
Η πρώτη διαφορά είναι ότι ενσωματώνει ένα μηχανισμό φραγμού της πρόσβασης μετά την πρώτη μετάδοση των χρηστών που περιγράφεται στον κανόνα 1 παραπάνω. Χρήστες που είχαν νέες αφίξεις μηνυμάτων μετά την εκκίνηση μιας περιόδου επίλυσης σύγκρουσης - CRP (collision resolution period) δεν μπορούν να μεταδώσουν αιτήσεις και να συμμετάσχουν στην CRP. Με τον όρο CRP ορίζουμε το χρονικό διάστημα το οποίο εκκινεί με την αρχική σύγκρουση (αν συμβεί κάποια) και ολοκληρώνεται με την επιτυχή μετάδοση αιτήσεων από όλους τους χρήστες που συμμετείχαν στον αλγόριθμο από την αρχική σύγκρουση, χωρίς απαραίτητα να πήραν μέρος σε αυτή (μπορεί να μη μετέδωσαν καν αρχικά).

Η δεύτερη διαφορά έχει να κάνει με τη συμπεριφορά των χρηστών στο πρώτο mini slot που ακολουθεί το τέλος της CRP. Σε αυτήν την περίπτωση αλλάζει ο παραπάνω κανόνας 1 και όλοι οι χρήστες που είχαν

νέες αφίξεις μηνυμάτων μετά την εκκίνησης της CRP μεταδίδουν την αίτησή τους με πιθανότητα 1. Αυτό έχει νόημα επειδή οι ρυθμοί νέων αφίξεων αυτών των τύπων χρηστών ανά channel frame συνήθως δεν είναι πολύ μεγάλοι, οπότε ειδικά μετά την επίλυση του CRP το πιο πιθανό είναι να υπάρχει το πολύ ένας χρήστης ανά τύπο δεδομένων με επιθυμία να μεταδώσει αίτηση.

3.4: Μεταβάσεις καταστάσεως των χρηστών

Οι ενεργοί χρήστες όλων των διαφορετικών τύπων δεδομένων βρίσκονται σε μια εκ' των τεσσάρων καταστάσεων Silent, Contender, Queued, Reserved, που παρουσιάζουμε στην εικόνα 3.2 .



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα μεταβάσεων κατάστασης ενεργού χρήστη

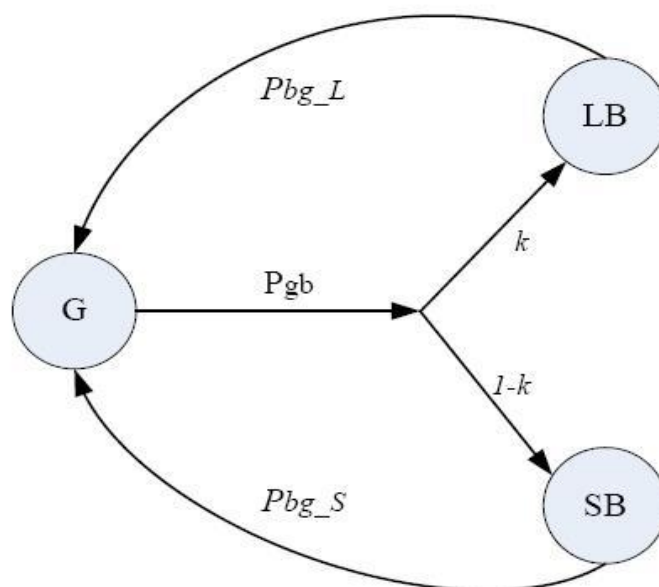
Ένας χρήστης σε κατάσταση Silent δεν έχει πακέτα προς μετάδοση και δεν απαιτεί ποσοστό της χωρητικότητας του καναλιού. Ο χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση Contender από τη στιγμή που έχει πακέτα προς μετάδοση. Παραμένει σε αυτήν την κατάσταση είτε μέχρι να μεταδώσει επιτυχώς αίτηση για κράτηση, είτε μέχρι ταυτοχρόνως να απολέσει όλα του τα πακέτα και να σταματήσει να παράγει νέα (τηλεϊατρικό βίντεο, βίντεο, φωνή), μεταβαίνοντας κατόπιν στην κατάσταση Silent. Η δεύτερη περίπτωση ισχύει μόνο για χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο, βίντεο και φωνής, μιας και μόνο αυτοί οι τύποι χρηστών μπορούν να απολέσουν πακέτα. Ο χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση Queued μετά την επιτυχή μετάδοση αίτησης για κράτηση προς το σταθμό βάσης. Παραμένει σε αυτήν την κατάσταση είτε μέχρι να λάβει κράτηση, είτε μέχρι ταυτοχρόνως να απολέσει όλα του τα πακέτα και να σταματήσει να παράγει νέα (τηλεϊατρικό βίντεο, βίντεο, φωνή), μεταβαίνοντας κατόπιν στην κατάσταση Silent. Ο χρήστης μεταβαίνει στην κατάσταση Reserved όταν λάβει κράτηση. Δηλαδή όταν ενημερωθεί από το σταθμό βάσης για το ποιό/ποιά είναι το slot ή τα slots (περισσότερα από ένα μόνο στην περίπτωση χρηστών τηλεϊατρικού βίντεο και βίντεο) του channel frame στα οποία μπορεί να μεταδίδει ελεύθερα. Παραμένει σε αυτή την κατάσταση μέχρι να εξαντλήσει τα πακέτα του και κατόπιν επιστρέφει στην κατάσταση Silent.

3.5: Μοντέλο σφάλματος καναλιού

Το μοντέλο Gilbert-Elliott [28,29] είναι το πιο ευρέως υιοθετημένο μοντέλο σφάλματος για ασύρματα δίκτυα. Αναπαριστάται από μια μαρκοβιανή αλυσίδα δύο καταστάσεων που εναλλάσσεται μεταξύ μιας Good State (πάντα απαλλαγμένη από σφάλματα) και μιας Bad State (με σφάλματα). Ωστόσο, πολλές πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι το μοντέλο

Gilbert-Elliot αποτυγχάνει στην πρόβλεψη μετρήσεων απόδοσης που εξαρτώνται από μακροπρόθεσμο συσχετισμό των σφαλμάτων [30], ελαττώνει τη χωρητικότητα του καναλιού [31] και οδηγεί σε συντηρητική κατανομή πόρων [32].

Για τους παραπάνω λόγους θεωρούμε ότι μια καλύτερη επιλογή μοντέλου σφάλματος για ασύρματα δίκτυα είναι αυτή που υιοθετούμε στην εργασία μας και η οποία έχει υιοθετηθεί επίσης και στα [17,33]. Το μοντέλο αυτό, χρησιμοποιώντας βραχείας και μακράς διάρκειας “ριπές” σφαλμάτων, κάνει πιο ακριβείς προβλέψεις για το μακροπρόθεσμο συσχετισμό των σφαλμάτων σε ασύρματα δίκτυα σε σχέση με το μοντέλο Gilbert-Elliot. Το μοντέλο αναπαριστάται από μια μαρκοβιανή αλυσίδα (Εικόνα 3.3) διακριτού χρόνου, η οποία περιλαμβάνει τρεις επαναλαμβανόμενες καταστάσεις. Η μία από αυτές είναι η G (Good State) και οι άλλες δύο είναι η LB (Long Bad State) και η SB (Short Bad State).



Εικόνα 3.3: Διάγραμμα μεταβάσεων κατάστασης σφάλματος καναλιού

Μια μετάδοση μπορεί να είναι επιτυχής μόνο αν το κανάλι μεταξύ χρήστη και σταθμού βάσης είναι σε κατάσταση G· σε κάθε άλλη περίπτωση είναι αποτυχημένη. Η διαφορά μεταξύ των καταστάσεων LB και SB έχει να κάνει με τη χρονική διάρκεια των σφαλμάτων. Η LB αντιστοιχεί σε μακράς διάρκειας “εκρήξεις” σφαλμάτων ενώ η SB αντιστοιχεί σε βραχείας διάρκειας.

Ομοίως με το [17], επιλέξαμε η πιθανότητα μόνιμης κατάστασης, να βρίσκεται το κανάλι σε μια εκ των LB και SB, να ισούται με $P_{bad} = 0.008\%$, συνεπώς $P_{good} = 99.992\%$. Αυτή η τιμή επιλέχθηκε με σκοπό να δοκιμάσουμε το σύστημά μας σε σενάριο σχεδόν χειρίστης περίπτωσης, μιας και έχουμε θέσει την αποδεκτή πιθανότητα απώλειας πακέτου του τηλεϊατρικού βίντεο στο 0.01%.

Τις τιμές του P_{gb} , του k και την αναλογία μεταξύ P_{bg_S} και P_{bg_L} τις πήραμε από το [33]. Η τιμή της P_{bg_L} απορρέει από τη συμπεριφορά μόνιμης κατάστασης της μαρκοβιανής αλυσίδας για την επιλεγμένη P_{bad} .

Χρήσιμες παράμετροι του μοντέλου σφάλματος του καναλιού παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 . Η μέση διάρκεια των περιόδων χωρίς σφάλματα έχει ως εξής: $D_G = 65359 \text{ slots} = \frac{1}{P_{gb}}$. Η P_{gb} είναι η πιθανότητα μετάβασης από την κατάσταση G σε μια εκ των LB ή SB κατά τη διάρκεια ενός slot.

Η μέση διάρκεια των περιόδων σφάλματος, D_{LB} και D_{SB} , του καναλιού μετρημένες σε slots έχουν ως εξής: $D_{LB} = 59.52 \text{ slots} = \frac{1}{P_{bg_L}}$ και $D_{SB} = 2.38 \text{ slots} = \frac{1}{P_{bg_S}}$. Η P_{bg_L} είναι η πιθανότητα μετάβασης από την κατάσταση LB στην κατάσταση G κατά τη διάρκεια ενός slot. Η P_{bg_S} είναι η πιθανότητα μετάβασης από την κατάσταση SB στην κατάσταση G κατά τη διάρκεια ενός slot.

Ο παράγοντας k καθορίζει σε τι τύπου κατάσταση σφάλματος θα μεταβεί το κανάλι, δεδομένου ότι έχει “φύγει” από την κατάσταση χωρίς σφάλματα. Είναι η πιθανότητα να μεταβεί το σύστημά μας σε κατάσταση LB, δεδομένου ότι έχει ήδη φύγει από την G, ή το ποσοστό των καταστάσεων σφάλματος μακράς διάρκειας επί του συνόλου των καταστάσεων σφάλματος.

$P_{\text{good}} = 0.99992$
$P_{\text{bad}} = 0.00008$
$D_G = 65359 \text{ slots}$
$D_{LB} = 59.52 \text{ slots}$
$D_{SB} = 2.38 \text{ slots}$
$k = 0.05$

Πίνακας 3.1: Παράμετροι Σφάλματος Καναλιού

Κεφάλαιο 4: Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού

Σε αυτήν την εργασία βασικός μας στόχος είναι η εμβάθυνση στη λειτουργία και στην εκτίμηση της απόδοσης αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού, ειδικότερα όταν χρησιμοποιούνται για την ταυτόχρονη μετάδοση τηλεϊατρικής και κανονικής κίνησης πάνω σε ασύρματα κυψελωτά δίκτυα. Όσον αφορά την εκτίμηση της απόδοσης, τα βασικά στοιχεία στα οποία εστιάσαμε για να αξιολογήσουμε κάθε αλγόριθμο ήταν η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του bandwidth, η καλύτερη δυνατή ικανοποίηση των QoS απαιτήσεων του κάθε τύπου δεδομένων και τέλος η δικαιοσύνη που αυτός προσφέρει.

Δοκιμάσαμε, όπως ήδη αναφέραμε, οκτώ αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού, εκ των οποίων ο ένας είναι αμιγώς δικός μας ενώ οι υπόλοιποι επτά ήταν ήδη υπάρχοντες στη βιβλιογραφία είτε οι ίδιοι, είτε η βασική ιδέα στην οποία στηρίζονται. Σε όσους από τους ήδη υπάρχοντες χρειάστηκε, έγιναν οι κατάλληλες προσαρμογές ώστε να ταιριάζουν στη λειτουργία του MI-MAC. Σε αυτό το κεφάλαιο κάνουμε αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του καθένα. Οι οκτώ αλγόριθμοι ήταν οι εξής:

First Come First Served (FCFS)

Least Slack Time by Type (LSTT)

Least Slack Time by Category (LSTC)

Shortest Ratio First (SRF)

Lottery Scheduling (LS)

Deficit Round Robin (DRR)

Weighted Max-Min Fair Sharing (WMMFS)

Weighted Most Degraded Priority (WMDP)

Παρακάτω θα περιγραφεί η λογική και η λειτουργία βάσει των οποίων ο κάθε αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού εκχωρεί προτεραιότητα στους χρήστες.

4.1: First Come First Served (FCFS)

Ένας από τους πιο κλασικούς και πιο απλούς σε λογική αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού είναι ο FCFS, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο [17] και ουσιαστικά κάνει αυτό που λέει η ονομασία του.

Πιο αναλυτικά, αρχικά εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών. Προηγείται πρώτα η κατηγορία των τηλεϊατρικών τύπων κίνησης και στη συνέχεια η κανονική. Εντός της κατηγορίας των τηλεϊατρικών τύπων η προτεραιότητα είναι ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο. Εντός της κατηγορίας των κανονικών τύπων η προτεραιότητα είναι κανονικό βίντεο, φωνή, Email, SMS.

Εντός ενός συγκεκριμένου τύπου δεδομένων η προτεραιότητα που ακολουθείται από τους χρήστες έχει ως εξής: Όποιος χρήστης αφιχθεί νωρίτερα στο σύστημα προηγείται των άλλων. Ως άφιξη στο σύστημα για όλους τους τύπους χρηστών, πλην των δύο βίντεο, θεωρούμε την επιτυχή μετάδοση αίτησης για κράτηση και όχι τη χρονική στιγμή που οι χρήστες έγιναν ενεργοί. Δηλαδή κάποιος χρήστης που έχει γίνει ενεργός νωρίτερα από άλλον, αλλά μετέδωσε επιτυχώς αίτηση για κράτηση αργότερα, λαμβάνει κράτηση αργότερα.

Ως άφιξη στο σύστημα για τους δύο τύπους βίντεο θεωρείται είτε η επιτυχής μετάδοση αίτησης (για τους χρήστες που η περίοδος κατά την οποία διατηρούν δικαίωμα κράτησης έχει λήξει), είτε η άφιξη νέου VF

(για τους χρήστες που έχουν μεταδώσει επιτυχώς αίτηση και βρίσκονται εντός της περιόδου). Επειδή η πρώτη από τις δύο περιπτώσεις συμβαίνει σπάνια, κατά μ.ο. ανά 7500 ή 3750 VFs (κανονικό βίντεο ή τηλεϊατρικό βίντεο), ο FCFS ομοιάζει πολύ, για το συγκεκριμένο σύστημα, με τον αλγόριθμο Earliest Deadline First (EDF) για τους δύο τύπους βίντεο, γιατί ο χρήστης του οποίου το VF αφίχθηκε νωρίτερα έχει κατ' αναλογία και νωρίτερα deadline.

Στον FCFS γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

4.2: Least Slack Time by Type (LSTT)

Ο LSTT [34] είναι ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού σχετικά απλός στην υλοποίηση, ο οποίος εισάγει ως κριτήριο προτεραιότητας ένα συσχετισμό μεταξύ της προθεσμίας για μετάδοση και του χρόνου που θα χρειαστεί ο χρήστης για να μεταδώσει το τρέχον φορτίο του.

Πιο αναλυτικά, αρχικά εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών. Προηγείται πρώτα η κατηγορία των τηλεϊατρικών τύπων κίνησης και στη συνέχεια η κανονική. Εντός της κατηγορίας των τηλεϊατρικών τύπων η προτεραιότητα είναι ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο. Εντός της κατηγορίας των κανονικών τύπων η προτεραιότητα είναι κανονικό βίντεο, φωνή, Email, SMS.

Εντός ενός συγκεκριμένου τύπου δεδομένων η προτεραιότητα που ακολουθείται από τους χρήστες έχει ως εξής: Όποιος χρήστης έχει το μικρότερο slack time προηγείται των υπολοίπων. Ο slack time είναι ο χρόνος που θα απομείνει μέχρι την προθεσμία (deadline) αφού λάβει

χώρα η πλήρης μετάδοση πληροφορίας, δεδομένου ότι η μετάδοση θα ξεκινήσει τώρα.

$$ST = DLN - SC - TRT \quad (4.1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση ST είναι ο slack time. SC (system clock) είναι η τιμή του ρολογιού του συστήματος την τρέχουσα χρονική στιγμή, μετράει δηλαδή πόσα slots έχουν ήδη περάσει. DLN (deadline) είναι η χρονική στιγμή (το πέρας ενός συγκεκριμένου slot) μέχρι την οποία έχει περιθώριο ο χρήστης να μεταδοθούν το πακέτο ή τα πακέτα του και TRT (transmission time) είναι ο χρόνος που θα χρειαστεί για να μεταδοθεί το πακέτο ή τα πακέτα του χρήστη αν ξεκινήσει τώρα τη μετάδοση, μετρημένος σε slots.

Για παράδειγμα έστω ότι το SC = 1150 (είμαστε στο τέλος του slot 1150), είναι η σειρά του κανονικού βίντεο και έχουμε δύο χρήστες κανονικού βίντεο, U1 και U2, στην ουρά. Ο U1 έχει DLN = 1170 και 5 πακέτα προς μετάδοση. Ο U2 έχει DLN = 1173 και 10 πακέτα προς μετάδοση. Έστω ότι τα slots 1152, 1154, 1157 είναι ήδη δεσμευμένα αλλού. Αν ο U1 ξεκινήσει τώρα να μεταδίδει θα καταφέρει να ολοκληρώσει τη μετάδοση του στο τέλος του slot 1158, μιας και τα πιο κοντινά διαθέσιμα γι'αυτόν είναι τα slots 1151, 1153, 1155, 1156 και 1158. Επομένως ο U1 έχει $ST = 1170 - 1158 = 12$. Αν ο U2 ξεκινήσει τώρα να μεταδίδει θα καταφέρει να ολοκληρώσει τη μετάδοση του στο τέλος του slot 1163, μιας και τα πιο κοντινά διαθέσιμα γι'αυτόν είναι τα slots 1151, 1153, 1155, 1156 και το διάστημα 1158-1163. Επομένως ο U2 έχει $ST = 1173 - 1163 = 10$. Ο U2 παρότι έχει deadline αργότερα από τον U1, έχει μεγαλύτερη ανάγκη να μεταδώσει πρώτος θέτοντας ως κριτήριο τη σχέση μεταξύ deadline και χρόνου μετάδοσης και μεταδίδει πρώτος.

Στον υπολογισμό του slack time για τους χρήστες ECG, X-Ray, τηλεϊατρικής εικόνας, Email και SMS, deadline με τον αυστηρό ορισμό δεν υπάρχει, διότι δεν ορίζεται κάποιο χρονικό όριο μετά το πέρας του οποίου χάνονται τα πακέτα. Στις απαιτήσεις QoS του κάθε τύπου έχουμε θέσει την επιθυμητή μέση καθυστέρηση μετάδοσης των μηνυμάτων, επομένως βασιστήκαμε σε αυτή για τον προσδιορισμό του deadline, βάζοντας μια μικρή προσαύξηση. Δηλαδή το deadline που χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό του slack time, για τους χρήστες κάθε ενός από τους πέντε παραπάνω τύπους δεδομένων, ορίζεται σε χρονικό διάστημα $1.1 \times$ (μέση επιθυμητή καθυστέρηση μετάδοσης μηνύματος) από τη στιγμή της άφιξης του μηνύματος. Η μέση επιθυμητή καθυστέρηση μετάδοσης μηνύματος είναι η χρονική διάρκεια μέχρι την οποία όλα τα πακέτα ενός μηνύματος καλό θα ήταν να έχουν μεταδοθεί. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου χρόνου μετάδοσης (TRT στον τύπο 4.1) όλων των πακέτων του μηνύματος υπολογίζεται με δεδομένη την διάθεση ενός slot ανά channel frame στους χρήστες αυτών των τύπων δεδομένων.

Στον LSTT γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

4.3: Least Slack Time by Category (LSTC)

Ο LSTC [34] ομοιάζει με τον LSTT, αλλά έχει σαφή διαφορά με αυτόν. Είναι και αυτός ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού σχετικά απλός στην υλοποίηση, που εισάγει ως κριτήριο προτεραιότητας ένα συσχετισμό μεταξύ της προθεσμίας για μετάδοση και του χρόνου που θα χρειαστεί ο χρήστης για να μεταδώσει το τρέχον φορτίο του.

Η βασική διαφορά του LSTC με τον LSTT είναι ότι στον LSTC δεν εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών με τον ίδιο τρόπο που το κάνει ο LSTT. Δεν υπάρχει σαφής προτεραιότητα μεταξύ των οκτώ διαφορετικών τύπων χρηστών. Υπάρχει σαφής προτεραιότητα μόνο μεταξύ των δύο ευρύτερων κατηγοριών χρηστών, δηλαδή μεταξύ της τηλεϊατρικής κίνησης και της κανονικής κίνησης.

Οι χρήστες που ο τύπος τους ανήκει στην τηλεϊατρική κίνηση προηγούνται των χρηστών που ο τύπος τους ανήκει στην κανονική κίνηση, όμως εντός των δύο ευρύτερων κατηγοριών δεν υπάρχει σαφής προτεραιότητα που να απορρέει από τον τύπο τους. Αυτή καθορίζεται μόνο από το slack time. Όποιος χρήστης, εντός μιας ευρύτερης κατηγορίας, έχει μικρότερο slack time από τους υπόλοιπους, της ίδιας ευρύτερης κατηγορίας, προηγείται, λαμβάνει κράτηση και μεταδίδει πρώτος.

Ο υπολογισμός του slack time κάθε τύπου δεδομένων ακολουθεί ακριβώς την ίδια λογική που περιγράφηκε στον LSTT για κάθε τύπο δεδομένων.

Στον LSTC γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

4.4: Shortest Ratio First (SRF)

Ο SRF είναι ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού σχετικά απλός στην υλοποίηση, που εισάγει ως κριτήριο προτεραιότητας, για τους χρήστες που ανήκουν στους δύο τύπους βίντεο, την αναλογία του παρόντος φορτίου του χρήστη σε σχέση με το μέσο φορτίο του

συγκεκριμένου τύπου χρηστών. Έχει αρκετές ομοιότητες με το γνωστό στη βιβλιογραφία SJF (Shortest Job First) [35].

Πιο αναλυτικά, αρχικά εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών. Προηγείται πρώτα η κατηγορία των τηλεϊατρικών τύπων κίνησης και στη συνέχεια η κανονική. Εντός της κατηγορίας των τηλεϊατρικών τύπων η προτεραιότητα είναι ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο. Εντός της κατηγορίας των κανονικών τύπων η προτεραιότητα είναι κανονικό βίντεο, φωνή, Email, SMS.

Στη συνέχεια η προτεραιότητα που ακολουθείται από τους χρήστες ακολουθεί δύο διαφορετικές λογικές εντός συγκεκριμένων τύπων δεδομένων.

Στους δύο τύπους βίντεο, τηλεϊατρικό και κανονικό, η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου δίδεται στο χρήστη με το μικρότερο λόγο (ratio) παρόντος φορτίου διά μέσου φορτίου.

$$Ratio = \frac{Packets\ of\ Current\ VF}{Mean\ Packets\ of\ VF} \quad (4.2)$$

Όσον αφορά τους χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο ο μέσος αριθμός πακέτων είναι 19.333 ανά VF των 80 ms , ενώ στους χρήστες κανονικού βίντεο ο μέσος αριθμός πακέτων είναι 32 ανά VF των 40 ms.

Τα νούμερα αυτά, τα οποία βρήκαμε μέσα από τις προσομοιώσεις, διαφέρουν λίγο από αυτά που θα αναμέναμε βασιζόμενοι στα στοιχεία που παρουσιάσαμε για το μοντέλο της κίνησης του συστήματός μας στο κεφάλαιο 2. Με βάση αυτά οι χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο που έχουν μέσο bit rate 90.38 kbps θα έπρεπε να παράγουν κατά μ.ο. $\frac{90.38 \cdot 10^3 (bps) \cdot 80 \cdot 10^{-3} (s)}{48 \cdot 8 (bits)} \approx 18.83$ πακέτα ανά VF· ενώ οι χρήστες κανονικού

βίντεο που έχουν μέσο bit rate 303.24 kbps (μέσος όρος των δύο ροών κανονικού βίντεο) θα έπρεπε να παράγουν κατά μ.ο. $\frac{303.24 \cdot 10^3 (bps) \cdot 40 \cdot 10^{-3} (s)}{48 \cdot 8 (bits)} \approx 31.59$ πακέτα ανά VF. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι κατά τη διαίρεση του μεγέθους του εκάστοτε VF με το μέγεθος του πακέτου συχνά το πηλίκο δεν είναι ακέραιο και στρογγυλοποιούμε στο μεγαλύτερο ακέραιο, π.χ. το 10.1 στρογγυλοποιείται στο 11.

Σε όλους τους υπόλοιπους τύπους δεδομένων, πλην των δύο τύπων βίντεο, η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου δίδεται στους χρήστες με χρήση του FCFS, ο οποίος λειτουργεί όπως έχει περιγραφεί προηγουμένως.

Στον SRF γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

4.5: Lottery Scheduling (LS)

Ο LS [36,37] είναι ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού σχετικά απλός στην υλοποίηση, που εισάγει ως κριτήριο προτεραιότητας την κατοχή, από μέρους του χρήστη, του νικητήριου λαχνού μέσα από ένα σύνολο λαχνών. Ουσιαστικά το κριτήριο προτεραιότητας είναι ένας συνδυασμός δύο βασικών στοιχείων, του αριθμού των πακέτων του κάθε χρήστη και της τυχαιότητας.

Στον LS δεν εκχωρούνται σαφείς προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών με τον τρόπο που περιγράψαμε στη βασική λογική χρονοπρογραμματισμού στο κεφάλαιο 3. Δεν υπάρχει σαφής προτεραιότητα μεταξύ των οκτώ διαφορετικών τύπων χρηστών. Υπάρχει σαφής προτεραιότητα μόνο μεταξύ των δύο ευρύτερων

κατηγοριών χρηστών, δηλαδή μεταξύ της τηλεϊατρικής κίνησης και της κανονικής κίνησης.

Οι χρήστες που ο τύπος τους ανήκει στην τηλεϊατρική κίνηση προηγούνται των χρηστών που ο τύπος τους ανήκει στην κανονική κίνηση, όμως εντός των δύο ευρύτερων κατηγοριών δεν υπάρχει σαφής προτεραιότητα που να απορρέει από τον τύπο τους. Αυτή καθορίζεται μόνο από το αν ο χρήστης έχει το λαχνό, ο οποίος έχει επιλεγεί τυχαία από το σταθμό βάσης ως ο νικητήριος για τη συγκεκριμένη κατηγορία. Όποιος χρήστης, εντός της κατηγορίας, έχει το νικητήριο λαχνό, προηγείται των υπολοίπων χρηστών της ίδιας ευρύτερης κατηγορίας, λαμβάνει κράτηση και μεταδίδει πρώτος.

Οι λαχνοί μοιράζονται στους χρήστες σε αναλογία με τα πακέτα που έχει ο καθένας προς μετάδοση, δηλαδή ένας χρήστης λαμβάνει ίσο αριθμό λαχνών με τα πακέτα που έχει προς μετάδοση. Για να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία, ας δούμε ένα παράδειγμα για τον διαμοιρασμό λαχνών και την προτεραιότητα που δίδεται στην κατηγορία κανονικής κίνησης. Έστω ότι έχουμε 4 χρήστες στην ουρά, έναν από κάθε τύπο κανονικής κίνησης, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην ουρά με την σειρά που αναφέρονται. Έστω ότι ο χρήστης κανονικού βίντεο έχει 35 πακέτα, ο χρήστης φωνής 4 πακέτα, ο χρήστης email 100 πακέτα και ο χρήστης SMS 3 πακέτα. Τότε ο χρήστης κανονικού βίντεο θα λάβει τους λαχνούς 0 έως 34, ο χρήστης φωνής τους λαχνούς 35 έως 38, ο χρήστης email τους λαχνούς 39 έως 138 και ο χρήστης SMS τους λαχνούς 139 έως 141. Κατόπιν θα επιλεγθεί από το σταθμό βάσης τυχαία ο νικητήριος από τους 142 λαχνούς με αρίθμηση στο εύρος 0-141 και ο χρήστης στον οποίο ανήκει θα προηγηθεί των υπολοίπων χρηστών της κατηγορίας, θα λάβει κράτηση και θα μεταδώσει πρώτος.

Όπως είναι σαφές, στον LS κάποιος χρήστης που έχει αρκετά πακέτα προς μετάδοση έχει και μεγαλύτερη πιθανότητα να προηγηθεί και να

μεταδώσει πρώτος γιατί θα έχει περισσότερους λαχνούς, όμως αυτό δε θα συμβεί ντετερμινιστικά αλλά τυχαία.

Στον LS γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

4.6: Deficit Round Robin (DRR)

Ο DRR είναι ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού λίγο πιο σύνθετος από τους προηγούμενους. Βασιστήκαμε σε προηγούμενη περιγραφή του [38], αλλά κάναμε αρκετές αλλαγές για να ταιριάζει στα χαρακτηριστικά και στις ανάγκες του πρωτοκόλλου μας. Ο DRR εισάγει ως κριτήριο προτεραιότητας, για τους χρήστες που ανήκουν στους δύο τύπους βίντεο, το συνδυασμό δύο βασικών στοιχείων: της άφιξης του χρήστη στο σύστημα και των πόρων που επιτρέπεται να του διατεθούν εκείνη τη χρονική στιγμή.

Πιο αναλυτικά, αρχικά εκχωρούνται διαφορετικές προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών. Προηγείται πρώτα η κατηγορία των τηλεϊατρικών τύπων κίνησης και στη συνέχεια η κανονική. Εντός της κατηγορίας των τηλεϊατρικών τύπων η προτεραιότητα είναι ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο. Εντός της κατηγορίας των κανονικών τύπων η προτεραιότητα είναι κανονικό βίντεο, φωνή, Email, SMS.

Στη συνέχεια η προτεραιότητα που ακολουθείται από τους χρήστες ακολουθεί δύο διαφορετικές λογικές εντός συγκεκριμένων τύπων δεδομένων.

Στους δύο τύπους βίντεο, τηλεϊατρικό και κανονικό, η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου δίδεται με βάση δύο βασικά

στοιχεία. Ένας χρήστης που έχει άφιξη VF νωρίτερα από έναν άλλο προηγείται υπό έναν πολύ βασικό όρο, ότι θα έχει διαθέσιμους πόρους, δηλαδή διαθέσιμα πακέτα στο “πορτοφόλι” του, περισσότερα ή ίσα από τα πακέτα του VF που έχει προς μετάδοση.

Σε αυτήν την παράγραφο θα κάνουμε μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας του DRR όπως τη διαβάζουμε στο [38]. Ο DRR λειτουργεί σε γύρους (rounds) και γύρος θεωρείται μια πλήρης επανάληψη-πέρασμα του αλγορίθμου από τις backlogged ουρές. Μια ουρά θεωρείται backlogged κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος αν δεν είναι άδεια. Κάθε ουρά έχει ένα μετρητή DC (Deficit Counter), ο οποίος μηδενίζεται όταν η ουρά έχει ικανοποιηθεί πλήρως και μεταδώσει όλα της τα πακέτα. Όταν γίνει ξανά η ουρά ενεργή (όταν αφιχθούν ένα ή περισσότερα νέα πακέτα), τοποθετείται στο τέλος της λίστας με τις ενεργές ουρές (λογική FCFS) και ο DC ξεκινά από το 0. Σε κάθε γύρο που συμμετέχει μια ενεργή ουρά ο DC της έχει διατηρήσει την τιμή του από το τέλος του προηγούμενου γύρου και αυξάνεται επιπλέον κατά Q (Quantum). Αν η τιμή του DC είναι μεγαλύτερη ή ίση με το μέγεθος του πρώτου πακέτου της ουράς τότε αυτό μπορεί να μεταδοθεί και να μεταδοθούν και όσα επόμενα, των οποίων το μέγεθος αφαιρούμενο από το DC δε δίνει αρνητικό αποτέλεσμα. Αν π.χ. κατά τη διάρκεια ενός γύρου μετά τη μετάδοση μερικών πακέτων έχει απομείνει $DC = 30$ και το επόμενο πακέτο έχει μέγεθος 50, τότε αυτό το πακέτο δε μεταδίδεται, το $DC = 30$ μεταφέρεται στον επόμενο γύρο και του προστίθεται το Q. Ο DRR απαιτεί αρκετούς συνεχόμενους γύρους κατά τους οποίους οι ουρές να είναι ενεργές και να έχουν αρκετά πακέτα η καθεμιά, ώστε να λειτουργήσει σωστά και να καταναείμει δίκαια τους πόρους.

Στο δικό μας σύστημα, με το συγκεκριμένο μοντέλο κίνησης βίντεο, δεν έχουμε ουρές και πακέτα με τη μορφή που περιγράφονται και χρησιμοποιούνται παραπάνω. Σε βάθος χρόνου οι χρήστες βίντεο έχουν

αφίξεις VF, στα οποία αντιστοιχεί αριθμός πακέτων σταθερού μήκους. Μπορούμε να υποθέσουμε πως κατ' αναλογία κάθε χρήστη των δύο τύπων βίντεο είναι μια ροή-ουρά, κάθε VF είναι ένα πακέτο και κάθε πακέτο (σταθερού μήκους) του VF είναι μια μονάδα της παραπάνω περιγραφής. Όμως ακόμα και με αυτήν την υπόθεση στην περίπτωση μας οι χρήστες δεν μπορούν να έχουν ποτέ περισσότερο από ένα VF προς μετάδοση, γιατί με την άφιξη του νέου VF υπάρχει απώλεια του τρέχοντος.

Λόγω των ιδιοτήτων αποφασίσαμε στο δικό μας σύστημα να λειτουργεί ως εξής: Κάθε χρήστης έχει δικό του DC, ο οποίος αυξάνεται κατά Q στην αρχή κάθε νέου γύρου. Γύρο θεωρούμε τη συμπλήρωση ενός GoP (Group of Pictures). Για τις κωδικοποιήσεις βίντεο που χρησιμοποιούμε, κάθε GoP είναι 12 VFs. Κατά τη διάρκεια ενός γύρου ο χρήστης δεν έχει ποτέ περισσότερο από ένα VF “στο χέρι”, όπως ήδη αναφέραμε. Γι' αυτό δε μηδενίζουμε το DC του χρήστη μετά την επιτυχή μετάδοση του εκάστοτε VF, παρότι δεν έχει επόμενο προς άμεση μετάδοση, γιατί έτσι θα χάναμε τη μνήμη των μεταδόσεων του χρήστη σε βάθος χρόνου και η ύπαρξη του DC θα ήταν μάταιη. Το DC το μετράμε σε πακέτα. Κάθε χρήστης που έχει DC μεγαλύτερο ή ίσο με τα πακέτα του παρόντος VF είναι σε θέση να μεταδώσει όταν έρθει η σειρά του (FCFS). Όταν μεταδώσει το VF του, ο αριθμός των πακέτων του VF αφαιρείται από το DC. Όποιος χρήστης έχει DC μικρότερο από τα πακέτα του παρόντος VF δε μεταδίδει όταν έρθει η σειρά του και τη δίνει στον αμέσως επόμενο χρήστη. Θα μεταδώσει πάλι μόνο όταν γίνει αύξηση του DC κατά Q στην αρχή του επόμενου γύρου. Για τους χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο το $Q = 232$ ($12 \cdot 19.333$) πακέτα και για τους χρήστες κανονικού βίντεο το $Q = 384$ ($12 \cdot 32$) πακέτα, δηλαδή όσο είναι το μέσο μέγεθος του GoP σε πακέτα για κάθε τύπο βίντεο. Να επισημανθεί ότι οι χρήστες κανονικού βίντεο έχουν νέο γύρο και κατ' επέκταση πρόσθεση του Q στο DC, στο ήμισυ του χρόνου σε σχέση με τους χρήστες

τηλεϊατρικού βίντεο, γιατί οι πρώτοι έχουν άφιξη νέου VF κάθε 40 ms έναντι 80 ms των δεύτερων.

Σε όλους τους υπόλοιπους τύπους δεδομένων, πλην των δύο τύπων βίντεο, η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου δίδεται στους χρήστες με χρήση του FCFS, ο οποίος λειτουργεί όπως ακριβώς έχει περιγραφεί προηγουμένως.

Στον DRR γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

4.7: Weighted Max-Min Fair Sharing (WMMFS)

Ο WMMFS είναι ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού πιο σύνθετος από τους προηγούμενους. Βασιστήκαμε σε προηγούμενη περιγραφή του [39] και κάναμε κάποιες αλλαγές για να ταιριάζει στα χαρακτηριστικά και στις ανάγκες του πρωτοκόλλου μας. Οι χρήστες που ανήκουν στους δύο τύπους βίντεο λαμβάνουν ίδιο μερίδιο πόρων, δηλαδή ίδιο αριθμό slots, με όσους έχουν το ίδιο, με αυτούς, βάρος (weight), εκτός αν κάποιοι έχουν ήδη ικανοποιηθεί πλήρως. Στον WMMFS μπορεί κάποιος χρήστης των δύο τύπων βίντεο να λάβει είτε full, είτε partial allocation.

Στον WMMFS δεν εκχωρούνται σαφείς προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών με τον τρόπο που περιγράψαμε στη βασική λογική χρονοπρογραμματισμού στο κεφάλαιο 3. Υπάρχει σαφής προτεραιότητα μεταξύ των περισσότερων τύπων χρηστών εκτός των δύο τύπων βίντεο. Η προτεραιότητα έχει ως εξής: ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο - κανονικό βίντεο μαζί χωρίς σαφή προτεραιότητα του ενός τύπου έναντι του άλλου, φωνή, Email, SMS.

Στη συνέχεια η προτεραιότητα που ακολουθείται από τους χρήστες ακολουθεί δύο διαφορετικές λογικές εντός συγκεκριμένων τύπων δεδομένων ή ομάδων τύπων δεδομένων (τηλεϊατρικό βίντεο - κανονικό βίντεο μαζί).

Στην ομάδα των δύο τύπων βίντεο οι χρήστες τοποθετούνται στην ουρά με τη λογική FCFS. Όταν φτάσει η σειρά αυτής της ομάδας γίνεται μοιρασιά των διαθέσιμων (μέχρι το τέλος του τρέχοντος channel frame) slots στους χρήστες που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή στην ουρά ανάλογα με το βάρος του καθενός· το τελευταίο εξαρτάται από τον τύπο βίντεο στον οποίο αυτός ανήκει. Όπως θα δούμε στη συνέχεια το βάρος καθορίζει το μέγιστο μερίδιο που μπορούν να λάβουν, από τη μοιρασιά, οι χρήστες που ανήκουν στον ίδιο τύπο. Κατά τη μοιρασιά αν τα απαιτούμενα από τους χρήστες slots είναι λιγότερα ή ίσα με τα διαθέσιμα, σημαίνει ότι όλοι οι χρήστες που συμμετέχουν στη μοιρασιά θα λάβουν full allocation. Η προαναφερθείσα μοιρασιά, η λειτουργία της οποίας θα περιγραφεί παρακάτω, λαμβάνει χώρα μόνο μια φορά κατά τη διάρκεια ενός channel frame. Μετά το πέρας της κάθε χρήστης που ήταν από πριν στην ουρά, και επομένως συμμετείχε στη διαδικασία, λαμβάνει γνώση για τον αριθμό των slots που θα του διανεμηθούν στο παρόν channel frame, όταν έρθει η σειρά του να λάβει κράτηση. Όποιος χρήστης έχει άφιξη νέου VF μετά τη μοιρασιά και δεν έχει συμμετάσχει σε αυτή θα τοποθετηθεί στο τέλος της ουράς, ακολουθώντας πάλι λογική FCFS, και όταν έρθει η σειρά του θα γίνει προσπάθεια να εξυπηρετηθεί και να λάβει full allocation, αν έχουν μείνει διαθέσιμα slots. Αυτή η επιλογή είναι λογική, γιατί ένας χρήστης που έχει άφιξη νέου VF μετά τη μοιρασιά θα γίνει προσπάθεια να εξυπηρετηθεί εντός του παρόντος channel frame, λαμβάνοντας full allocation, μόνο αν έχουν μείνει διαθέσιμα slots μετά τη μοιρασιά, πράγμα που, όταν συμβαίνει, σημαίνει ότι όλοι οι χρήστες που συμμετείχαν στη μοιρασιά έλαβαν και αυτοί full allocation. Όσοι χρήστες έχουν άφιξη νέου VF στο τρέχον

channel frame μετά τη διανομή πόρων και δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν θα συμμετέχουν στη μοιρασιά του επόμενου channel frame.

Η προαναφερθείσα μοιρασιά των διαθέσιμων slots στους χρήστες που ανήκουν στην ομάδα των δύο τύπων βίντεο λειτουργεί ως εξής:

1: Αρχικά μετριοούνται τα διαθέσιμα slots από τη στιγμή που θα έρθει, για πρώτη φορά, η σειρά της ομάδας των δύο τύπων βίντεο μέχρι το τέλος του τρέχοντος channel frame.

2: Υπολογίζονται τα μερίδια των χρηστών τηλεϊατρικού και κανονικού βίντεο με βάση τα βάρη που έχουν επιλεγεί για τον κάθε τύπο βίντεο.

$$Vid User Share = \frac{Av Slots * Vid User Weight}{Weight Sum} \quad (4.3)$$

$$TVid User Share = \frac{Av Slots * TVid User Weight}{Weight Sum} \quad (4.4)$$

Δηλαδή κάθε χρήστης δύναται να λάβει, σε αυτήν την επανάληψη του αλγορίθμου, αν τα έχει ανάγκη, τόσα slots επί των διαθέσιμων, όσα του επιτρέπει η αναλογία του βάρους του στο συνολικό βάρος όλων των χρηστών που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή στην ουρά. Επειδή το πηλίκο είναι πολύ πιθανό να μην είναι ακέραιος αριθμός, στρογγυλοποιούμε στο μικρότερο ακέραιο, π.χ. το 10.7 στρογγυλοποιείται στο 10.

3. Μετά τον υπολογισμό των μεριδίων της συγκεκριμένης επανάληψης ο αριθμός των slots του μεριδίου προστίθεται στον αριθμό των slots που έχει υπολογιστεί ότι θα λάβει ο χρήστης μέχρι τώρα. Σε περίπτωση που

το άθροισμα ξεπερνά τα πακέτα του τρέχοντος VF του χρήστη, τότε προστίθενται μόνο όσα επαρκούν για να λάβει full allocation. Τα slots που προστίθενται σε κάθε χρήστη σε αυτήν την επανάληψη αφαιρούνται από τα διαθέσιμα slots (Av. Slots).

4. Όσοι χρήστες έχουν λάβει την “υπόσχεση” (ενημέρωση) για εξυπηρέτηση με full allocation μετά το βήμα 3 της τρέχουσας επανάληψης δε συμμετέχουν σε επόμενες επαναλήψεις του αλγορίθμου και το βάρος τους αφαιρείται από το συνολικό βάρος των χρηστών (Weight Sum).

5. Ο αλγόριθμος μεταβαίνει πάλι στο βήμα 2 και συνεχίζει στην επόμενη επανάληψη. Υπάρχουν πλέον λιγότερα διαθέσιμα slots (Av. Slots), ενώ στην ουρά βρίσκονται όσοι χρήστες δεν έλαβαν “υπόσχεση” για full allocation. Αν κάποιοι την έλαβαν, το συνολικό βάρος των χρηστών (Weight Sum) είναι πλέον μικρότερο. Ο αλγόριθμος συνεχίζει τις επαναλήψεις μέχρι είτε όλοι οι χρήστες να λάβουν “υπόσχεση” για full allocation, είτε να εξαντληθούν τα διαθέσιμα slots.

Σε αντίθεση με την υλοποίηση του αλγορίθμου στο [39], στην υλοποίησή μας τα μερίδια μπορούν να είναι μόνο ακέραιοι, όπως είδαμε στο βήμα 2, γιατί μετριοούνται σε slots. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα γιατί, αν σε μια επανάληψη υπάρχουν διαθέσιμα slots αλλά τα μερίδια είναι μικρότερα του 1, τότε στρογγυλοποιούνται στο 0. Επομένως αν υπάρχουν χρήστες που απαιτούν μεγαλύτερο αριθμό slots από την μέχρι εκείνη τη στιγμή αθροιστική μοιρασιά δεν μπορούν να τα λάβουν. Γι' αυτό το λόγο σε τέτοιες περιπτώσεις κάναμε την παρακάτω αλλαγή. Αρχικά προσδιορίζουμε τον αριθμό των slots, από τα διαθέσιμα, που θα διατεθούν στους δύο τύπους βίντεο, με την χρήση των παρακάτω τύπων.

$$Slots_{Vid} = Av_{Slots} * \frac{Vid_{Users} * Vid_{User\ Weight}}{Weight\ Sum} \quad (4.4)$$

$$Slots_{TVid} = Av_{Slots} * \frac{TVid_{Users} * TVid_{User\ Weight}}{Weight\ Sum} \quad (4.5)$$

Στους παραπάνω τύπους οι Vid Users και TVid Users είναι όσοι από τους χρήστες δεν έχουν λάβει μερίδιο ίσο με τον αριθμό των πακέτων του τρέχοντος VF τους· δηλαδή όσοι δεν έχουν λάβει “υπόσχεση” για full allocation. Οι αριθμοί με δεκαδικό μέρος ≥ 0.5 στρογγυλοποιούνται στο μεγαλύτερο ακέραιο ενώ αυτοί με δεκαδικό μέρος < 0.5 στο μικρότερο. Αν το άθροισμα, μετά τη στρογγυλοποίηση, προκύψει μεγαλύτερο από τα διαθέσιμα slots τότε αφαιρούμε slot από τον τύπο με το μικρότερο βάρος μέχρι να φτάσουμε σε ισότητα. Κατόπιν μοιράζουμε ένα-ένα τα slots που αναλογούν στον κάθε τύπο βίντεο στους χρήστες του με προτεραιότητα FCFS αν χρειαστεί επαναληπτικά, μέχρι είτε όλοι οι χρήστες να λάβουν “υπόσχεση” για full allocation, είτε να εξαντληθούν τα διαθέσιμα slots.

Γνωρίζουμε, από τις προσομοιώσεις των προηγούμενων αλγορίθμων, ότι η ανεκτικότητα των χρηστών τηλεϊατρικού βίντεο στην απώλεια πακέτων είναι πολύ μεγάλη. Μετά από εκτενείς προσομοιώσεις διαπιστώσαμε ότι τα πιο ιδανικά βάρη είναι Vid User Weight = 12 και TVid User Weight = 1. Με αυτήν την επιλογή το σύστημα μας έχει τη μικρότερη, αθροιστικά, απώλεια κανονικού και τηλεϊατρικού βίντεο.

Σε όλους τους υπόλοιπους τύπους δεδομένων, πλην των δύο τύπων βίντεο, η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου δίδεται στους χρήστες με χρήση του FCFS, ο οποίος λειτουργεί όπως ακριβώς έχει περιγραφεί προηγουμένως.

4.8: *Weighted Most Degraded Priority (WMDP)*

Ο WMDP είναι ο δικός μας αλγόριθμος, τον οποίο υλοποιήσαμε μετά την εμπειρία που αποκτήσαμε κατά την ενασχόλησή μας με τους προηγούμενους αλγορίθμους. Κατά την υλοποίησή του βάλαμε στόχο να δημιουργήσουμε έναν αλγόριθμο ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη ως μείζον κριτήριο προτεραιότητας τον συνδυασμό δύο βασικών στοιχείων. Το πρώτο είναι το πόσο επείγουσα είναι η ανάγκη του κάθε χρήστη για μετάδοση και το δεύτερο το αν είναι δίκαιο να μεταδώσει, λαμβάνοντας υπόψη το πόσο υποβαθμισμένη είναι η εξυπηρέτηση που έχει λάβει μέχρι εκείνη τη στιγμή.

Επιπλέον θελήσαμε να ελέγξουμε πώς θα συμπεριφερθεί το σύστημά μας αν ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού δε δίνει πάντοτε σαφείς προτεραιότητες μεταξύ των διαφορετικών τύπων χρηστών, αφήνοντας τα παραπάνω δύο κριτήρια να δώσουν προτεραιότητα στους χρήστες κάποιων τύπων δεδομένων τους οποίους βάζουμε ομαδικά σε μια κοινή ουρά προς εξυπηρέτηση. Αυτό το επιλέξαμε με σκοπό να διαπιστώσουμε αν ένας αλγόριθμος, λαμβάνοντας υπόψη όσο το δυνατόν σωστότερα κριτήρια για την προτεραιότητα που δίνει, μπορεί να δουλέψει καλύτερα χωρίς να δίνει ντετερμινιστική προτεραιότητα σε κάθε τύπο δεδομένων. Δηλαδή χωρίς να σπαταλά πόρους για χρήστες που ίσως εκείνη τη στιγμή έχουν πολύ μικρότερη ανάγκη να μεταδώσουν από άλλους που ανήκουν σε άλλο τύπο. Για παράδειγμα, ένας χρήστης τηλεϊατρικού βίντεο, του οποίου το VF μόλις έχει αφιχθεί, ίσως είναι υπερβολικό να προηγείται πάντα-ντετερμινιστικά ενός π.χ. χρήστη φωνής, του οποίου μέσα στα επόμενα 1-5 slots ένα πακέτο έχει deadline και θα αναγκαστεί να το χάσει.

Στον WMDP δεν εκχωρούνται σαφείς προτεραιότητες στους διαφορετικούς τύπους χρηστών με τον τρόπο που περιγράψαμε στη βασική λογική χρονοπρογραμματισμού στο κεφάλαιο 3. Υπάρχει σαφής

προτεραιότητα μεταξύ των περισσότερων τύπων χρηστών εκτός τριών τύπων· των δύο τύπων βίντεο και της φωνής. Η προτεραιότητα έχει ως εξής: ECG, X-Ray, τηλεϊατρική εικόνα, τηλεϊατρικό βίντεο - κανονικό βίντεο - φωνή μαζί χωρίς σαφή προτεραιότητα του ενός τύπου έναντι των άλλων, Email, SMS.

Στη συνέχεια, η προτεραιότητα που ακολουθείται από τους χρήστες ακολουθεί δύο διαφορετικές λογικές εντός συγκεκριμένων τύπων δεδομένων ή της ομάδας των τριών τύπων δεδομένων (τηλεϊατρικό βίντεο - κανονικό βίντεο - φωνή μαζί).

Στην ομάδα των τριών τύπων οι χρήστες τοποθετούνται στην ουρά με τη λογική FCFS. Επιλέγονται όμως με βάση το ποιός έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα P (Priority). Επιλέξαμε η προτεραιότητα του κάθε χρήστη να δίδεται από το γινόμενο D (Degradation) επί U (Urgency). Για την ακρίβεια τα P , D και U υπολογίζονται ως ακολούθως.

$$P = D * U \quad (4.6)$$

$$D = \frac{\text{Packets Generated} - \text{Packets Transmitted}}{\text{Packets Generated}} \quad (4.7)$$

$$U = \frac{1}{\text{Av Slots Until Deadline} - \text{Packets to Transmit}} \quad (4.8)$$

Το D υπολογίζει το ποσοστό των πακέτων που δε μεταδόθηκαν (έχουν γίνει drop) επί του συνόλου των πακέτων που έχει “γεννήσει” ο χρήστης μέχρι εκείνη τη στιγμή. Στον υπολογισμό δε λαμβάνονται υπόψη

τα τρέχοντα πακέτα προς μετάδοση, δηλαδή τα πακέτα που έχει "γεννήσει" ο χρήστης θεωρούνται εκείνα που το deadline τους έχει ήδη περάσει. Αν $D = 0$, είτε γιατί βρισκόμαστε στην αρχή της προσομοίωσης είτε γιατί ο χρήστης απολαμβάνει άριστη εξυπηρέτηση μέχρι εκείνη τη στιγμή, τότε το γινόμενο $P = D \cdot U$ είναι μηδενικό. Επειδή δεν επιθυμούμε να έχουμε $P = 0$ γιατί έτσι δε λαμβάνεται υπόψη το U , σε αυτές τις περιπτώσεις δίνουμε μια πολύ μικρή τιμή, $D = 10^{-9}$, ώστε και να λαμβάνεται υπόψη η πολύ καλή εξυπηρέτηση που έχει ήδη λάβει ο χρήστης αλλά και το τρέχον U του, αφού το γινόμενο δε μηδενίζεται.

Το τρέχον φορτίο προς μετάδοση χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του U , η τιμή του οποίου μεγαλώνει όσο μικρότερος είναι ο παρονομαστής. Τα διαθέσιμα (κενά) slots μετριούνται ξεχωριστά για κάθε χρήστη μέχρι το deadline που έχει. Ο υπολογισμός θεωρεί ως κενά όλα τα info slots των μελλοντικών channel frames, πλην του τρέχοντος. Δηλαδή, αν το deadline τοποθετείται χρονικά σε επόμενο channel frame, τότε μετριούνται τα εναπομείναντα κενά info slots του τρέχοντος channel frame και προστίθενται σε αυτά όλα τα info slots των επόμενων channel frames, μέχρι του σημείου του deadline. Όπως είναι σαφές, στο μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου το D είναι ένας θετικός αριθμός μικρότερος της μονάδας. Αν ο παρονομαστής γίνει αρνητικός, δηλαδή αν τα διαθέσιμα slots γίνουν λιγότερα από τα πακέτα προς μετάδοση, τότε είναι σίγουρο πως κάποια πακέτα θα χαθούν και είναι εξαιρετικά επείγουσα η ανάγκη να μεταδώσει ο χρήστης. Τότε στο U εκχωρείται η απόλυτη τιμή του παρονομαστή, δηλαδή αν αυτός είναι -3 τότε το $U = 3$, τιμή πολύ μεγάλη αν αναλογιστούμε ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου η τιμή είναι αισθητά μικρότερη της μονάδας. Αν ο παρονομαστής γίνει 0, δηλαδή αν τα διαθέσιμα slots μέχρι το deadline είναι ίσα με τα πακέτα προς μετάδοση, τότε $U = 1$. Όπως είναι σαφές, το U του χρήστη για το τρέχον φορτίο του αλλάζει συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου.

Στις προσομοιώσεις διαπιστώσαμε ότι η απώλεια πακέτων κανονικού και τηλεϊατρικού βίντεο ήταν, αθροιστικά, αισθητά μικρότερη από άλλους αλγορίθμους. Όμως η απώλεια πακέτων των χρηστών τηλεϊατρικού βίντεο ξεπερνούσε το επιθυμητό 0.01%. Την ίδια στιγμή αυτή των χρηστών κανονικού βίντεο ήταν αρκετά πιο κάτω από το επιθυμητό 1%. Έτσι αναζητήσαμε τρόπους ώστε να έχουμε την επιθυμητή αναλογία απώλειας μεταξύ κανονικού και τηλεϊατρικού βίντεο. Η απώλεια πακέτων του τηλεϊατρικού βίντεο πρέπει να είναι 100 φορές μικρότερη από του κανονικού. Σκεφτήκαμε λοιπόν να πολλαπλασιάσουμε το U των χρηστών τηλεϊατρικού βίντεο με μια τιμή >1 ώστε να τους δώσουμε τεχνητά μεγαλύτερο urgency με σκοπό να εξυπηρετούνται ακόμα καλύτερα. Θελήσαμε, στην πλειονότητα των φορτίων, η απώλεια πακέτων του τηλεϊατρικού βίντεο να είναι περισσότερο από 100 φορές μικρότερη από του κανονικού, δηλαδή να φτάνουν συνήθως πρώτοι στα όρια των QoS απαιτήσεων τους οι χρήστες κανονικού βίντεο. Πολλαπλασιάζουμε το U με την τιμή 200 γιατί ήταν η πιο ιδανική όπως διαπιστώσαμε από τις προσομοιώσεις. Μάλιστα τα μεγάλα ωφέλη στην απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο δεν έφεραν ανάλογη επιδείνωση σε αυτήν του κανονικού βίντεο και το σύστημα δουλεύει καλύτερα ακόμα και με κριτήριο την αθροιστική απώλεια τους.

Σε όλους τους υπόλοιπους τύπους δεδομένων, πλην των προαναφερθέντων τριών τύπων, η προτεραιότητα εντός του κάθε τύπου δίδεται στους χρήστες με χρήση του FCFS, ο οποίος λειτουργεί όπως ακριβώς έχει περιγραφεί προηγουμένως.

Στον WMDP γίνεται προσπάθεια κάθε χρήστης των δύο τύπων βίντεο να εξυπηρετηθεί πλήρως, με full allocation, από τη στιγμή που θα φτάσει η σειρά του να λάβει κράτηση.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεών μας. Τρέξαμε το σύστημά μας με διαφορετικά φορτία, χρησιμοποιώντας σε κάθε περίπτωση κάθε έναν από τους οκτώ αλγόριθμους χρονοπρογραμματισμού. Κάθε προσομοίωση φορτίου-αλγόριθμου αφορά χρονικό διάστημα 300000 channel frames (1 ώρα), εκ των οποίων τα πρώτα 5000 (1 λεπτό) είναι περίοδος warm up. Για να έχουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, κάθε προσομοίωση των 300000 channel frames γίνεται 20 φορές και κατόπιν βγαίνουν οι μέσοι όροι των μετρήσεων.

Για να εξετάσουμε πιο αποτελεσματικά τη δικαιοσύνη που προσφέρει κάθε αλγόριθμος κατά την εξυπηρέτηση των χρηστών του ίδιου τύπου χρησιμοποιήσαμε τέσσερις διαφορετικούς δείκτες δικαιοσύνης (fairness indices): τους Jain's Fairness Index (JFI), Min-Max Fairness Index (MMFI), Standard Deviation Fairness Index (SDFI) και Gini Coefficient (GC). Αυτοί χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες μετρήσεις που αφορούν την εξυπηρέτηση τριών τύπων δεδομένων, του τηλεϊατρικού βίντεο, του κανονικού βίντεο και της φωνής γιατί είναι οι τρεις τύποι που μπορούν να υποστούν απώλεια πληροφορίας.

5.1: Δείκτες Δικαιοσύνης

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τη λειτουργία και την ερμηνεία των τεσσάρων δεικτών δικαιοσύνης που χρησιμοποιήσαμε στις προσομοιώσεις μας.

5.1.1: Jain's Fairness Index (JFI)

Ο JFI [40] είναι ένας δείκτης δικαιοσύνης που, όσο μεγαλύτερος είναι, τόσο μεγαλύτερη δικαιοσύνη δείχνει ότι προσφέρει ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Ορίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$JFI(x_1, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (5.1)$$

Στον παραπάνω τύπο n είναι ο αριθμός των χρηστών του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων για τον οποίο υπολογίζουμε τον JFI. Το x_i είναι η μέτρηση κάθε συγκεκριμένου χρήστη του δείγματος-συνόλου, για το οποίο υπολογίζουμε τον JFI.

Στην ιδανική περίπτωση, που κάθε χρήστης απολαμβάνει ισότιμη εξυπηρέτηση με τους ομοίους του και οι μετρήσεις καθενός είναι ίσες (π.χ. για την απώλεια πακέτων), τότε ο JFI ισούται με το 1, η οποία είναι και η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει, μιας και το εύρος τιμών του εκτείνεται μεταξύ $\frac{1}{n}$ και 1. Τιμές κοντά στο $\frac{1}{n}$ παίρνει σε περιπτώσεις μεγάλης ανισότητας στην εξυπηρέτηση των χρηστών.

Επίσης στην περίπτωση που k χρήστες έχουν ταυτόσημη τιμή $x_i > 0$ και $n-k$ έχουν $x_i = 0$ τότε ο JFI παίρνει την τιμή $JFI = \frac{k}{n}$, που σημαίνει ότι ποσοστό k των χρηστών εξυπηρετήθηκε ισότιμα και το υπόλοιπο $1-k$ έμεινε εντελώς “πεινασμένο”.

Όπως είναι σαφές, όταν οι τιμές των μετρήσεων των περισσότερων χρηστών είναι κοντινές τότε ο JFI πλησιάζει στο 1, εκτός αν αυτές οι τιμές, των περισσότερων χρηστών, είναι 0. Αυτό συμβαίνει γιατί ο JFI

σχεδιάστηκε ώστε να αξιολογεί ως καλύτερη εξυπηρέτηση τις μετρήσεις με τις μεγαλύτερες τιμές.

Επομένως, όταν χρησιμοποιούμε τον JFI για μετρήσεις που όσο μικρότερες είναι τόσο καλύτερη θεωρούμε την εξυπηρέτηση που λαμβάνει ο χρήστης, υπάρχει πρόβλημα, ειδικά όταν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των χρηστών.

Γι' αυτό το λόγο στις μετρήσεις που η μικρότερη τιμή σημαίνει καλύτερη εξυπηρέτηση χρησιμοποιούμε τις τιμές ανεστραμμένες κατά τον υπολογισμό του JFI, δηλαδή $x_{i\beta} = \frac{1}{x_{ia}}$. Αυτό συμβαίνει στον υπολογισμό του JFI για το drop (απώλεια πακέτων) και για τα delays (access delay και video frame delay). Στην περίπτωση που το drop ενός χρήστη είναι 0 η εξυπηρέτηση είναι η υψηλότερη δυνατή, αλλά το $\frac{1}{0}$ δεν ορίζεται. Επομένως επιλέξαμε η τιμή $x_{i\beta}$ σε αυτήν την περίπτωση να είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από το μεγαλύτερο δυνατό ανεστραμμένο drop, $x_{i\beta} = \frac{1}{x_{ia}}$, που μπορεί να υπάρξει στην προσομοίωσή μας για το συγκεκριμένο τύπο.

5.1.2: Min-Max Fairness Index (MMFI)

Ο MMFI είναι ένας δείκτης δικαιοσύνης που, όσο μεγαλύτερος είναι, τόσο μεγαλύτερη δικαιοσύνη δείχνει ότι προσφέρει ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Ορίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$MMFI(x_1, \dots, x_n) = \frac{\text{Min}(x_1, \dots, x_n)}{\text{Max}(x_1, \dots, x_n)} \quad (5.2)$$

Στον παραπάνω τύπο η είναι ο αριθμός των χρηστών του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων για τον οποίο υπολογίζουμε τον MMFI. Το x_i είναι η μέτρηση κάθε συγκεκριμένου χρήστη του δείγματος-συνόλου για το οποίο υπολογίζουμε τον MMFI.

Ο δείκτης αυτός είναι απλός στη σύλληψη και στην υλοποίηση αλλά και πολύ χρήσιμος όπως θα δούμε αργότερα. Μας δίνει την αναλογία μεταξύ της ελάχιστης μέτρησης και της μέγιστης μέτρησης που παρατηρήθηκε στο σύνολο των χρηστών του ίδιου τύπου.

Για παράδειγμα, αν η μέτρηση αφορά το throughput του κάθε χρήστη και $MMFI = 0.625$, σημαίνει ότι το throughput του χρήστη που εξυπηρετήθηκε καλύτερα απ' όλους είναι 1.6 μεγαλύτερο (καλύτερο) από του χρήστη που εξυπηρετήθηκε χειρότερα απ' όλους.

Αν η μέτρηση αφορά το drop του κάθε χρήστη και $MMFI = 0.625$ σημαίνει ότι το drop του χρήστη που εξυπηρετήθηκε χειρότερα απ' όλους είναι 1.6 φορές ($1/0.625$) μεγαλύτερο (χειρότερο) από του χρήστη που εξυπηρετήθηκε καλύτερα απ' όλους.

Στην ιδανική περίπτωση που κάθε χρήστης απολαμβάνει ισότιμη εξυπηρέτηση με τους ομοίους του και οι μετρήσεις καθενός είναι ίσες, τότε ο MMFI ισούται με το 1. Αυτή είναι και η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει μιας και το εύρος τιμών του εκτείνεται μεταξύ 0 και 1. Τιμές κοντά στο 0 παίρνει σε περιπτώσεις μεγάλης ανισότητας στην εξυπηρέτηση των χρηστών.

5.1.3: Standard Deviation Fairness Index (SDFI)

Ο SDFI είναι ένας δείκτης δικαιοσύνης που, όσο μικρότερος είναι, τόσο μεγαλύτερη δικαιοσύνη δείχνει ότι προσφέρει ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Ορίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$SDFI(x_1, \dots, x_n) = \frac{St.Dev.(x_1, \dots, x_n)}{Mean(x_1, \dots, x_n)} \quad (5.3)$$

Στον παραπάνω τύπο η είναι ο αριθμός των χρηστών του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων για τον οποίο υπολογίζουμε τον SDFI. Το x_i είναι η μέτρηση κάθε συγκεκριμένου χρήστη του δείγματος-συνόλου για το οποίο υπολογίζουμε τον SDFI.

Ο δείκτης αυτός είναι απλός στη σύλληψη και στην υλοποίηση αλλά και αυτός είναι πολύ χρήσιμος, όπως θα δούμε αργότερα. Μας δίνει την αναλογία μεταξύ της τυπικής απόκλισης και της μέσης τιμής του δείγματος των μετρήσεων. Το δείγμα αποτελείται από τη μέτρηση καθενός χρήστη του συγκεκριμένου τύπου.

Για παράδειγμα, αν για μια μέτρηση, είτε throughput, είτε drop, είτε κάποιου delay έχουμε $SDFI = 0.2$, σημαίνει ότι η τυπική απόκλιση των τιμών των μετρήσεων είναι το 20% της μέσης τιμής. Χρησιμοποιήσαμε την αναλογία μεταξύ τυπικής απόκλισης και μέσης τιμής γιατί μας δίνει διαισθητικά καλύτερη αξιολόγηση της δικαιοσύνης. Γνωρίζοντας τι ποσοστό της μέσης τιμής είναι η τυπική απόκλιση κατανοούμε καλύτερα πόσο “μακριά” βρίσκονται κατά μέσο όρο οι χρήστες από τη μέση τιμή του δείγματός τους.

Στην ιδανική περίπτωση που κάθε χρήστης απολαμβάνει ισότιμη εξυπηρέτηση με τους ομοίους του και οι μετρήσεις καθενός είναι ίσες τότε ο SDFI ισούται με το 0, η οποία είναι και η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει μιας και το εύρος τιμών του εκτείνεται μεταξύ 0 και τιμών αρκετά μεγαλύτερων του 1. Μεγάλες τιμές παίρνει σε περιπτώσεις μεγάλης ανισότητας στην εξυπηρέτηση των χρηστών.

5.1.4: Gini Coefficient (GC)

Ο GC [41] είναι ένας δείκτης δικαιοσύνης που, όσο μικρότερος είναι, τόσο μεγαλύτερη δικαιοσύνη δείχνει ότι προσφέρει ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη προσομοίωση. Ορίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$GC(x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |x_i - x_j|}{n^2} \cdot \frac{1}{\bar{x}} \quad (5.4)$$

Στον παραπάνω τύπο n είναι ο αριθμός των χρηστών του συγκεκριμένου τύπου δεδομένων για τον οποίο υπολογίζουμε τον GC. Το x_i είναι η μέτρηση κάθε συγκεκριμένου χρήστη του δείγματος-συνόλου για το οποίο υπολογίζουμε τον GC.

Ο GC είναι συντελεστής μέτρησης της ανισότητας και δημιουργήθηκε από τον Corrado Gini με σκοπό να μετρήσει την ανισότητα στα εισοδήματα μιας κοινωνίας. Από τον παραπάνω τύπο κατανοούμε ότι είναι το ήμισυ της μέσης τιμής των απόλυτων διαφορών μεταξύ όλων των ζευγαριών των μετρήσεων, κανονικοποιημένο με τη μέση τιμή των μετρήσεων.

Επειδή και ο GC αξιολογεί τις μετρήσεις με τις μεγαλύτερες τιμές ως καλύτερη εξυπηρέτηση, υπάρχει πρόβλημα όταν χρησιμοποιούμε τον GC για μετρήσεις που, όσο μικρότερες είναι, τόσο καλύτερη θεωρούμε την εξυπηρέτηση που λαμβάνει ο χρήστης, ειδικά όταν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των χρηστών.

Γι' αυτό το λόγο στις μετρήσεις που η μικρότερη τιμή σημαίνει καλύτερη εξυπηρέτηση χρησιμοποιούμε τις τιμές ανεστραμμένες κατά τον υπολογισμό του GC, δηλαδή $x_{i\beta} = \frac{1}{x_{i\alpha}}$. Αυτό συμβαίνει στον υπολογισμό του GC για το drop (απώλεια πακέτων) και για τα delays (access delay και video frame delay). Στην περίπτωση που το drop ενός

χρήστη είναι 0 η εξυπηρέτηση είναι η υψηλότερη δυνατή, αλλά το $\frac{1}{0}$ δεν ορίζεται. Επομένως επιλέξαμε η τιμή x_{ib} σε αυτήν την περίπτωση να είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από το μεγαλύτερο δυνατό αντεστραμμένο drop, $x_{ib} = \frac{1}{x_{ia}}$, που μπορεί να υπάρξει στην προσομοίωσή μας για το συγκεκριμένο τύπο.

Στην ιδανική περίπτωση που κάθε χρήστης απολαμβάνει ισότιμη εξυπηρέτηση με τους ομοίους του και οι μετρήσεις καθενός είναι ίσες τότε ο GC ισούται με το 0, η οποία είναι και η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει μιας και το εύρος τιμών του εκτείνεται μεταξύ 0 και 1. Παίρνει πιο μεγάλες τιμές σε περιπτώσεις μεγάλης ανισότητας στην εξυπηρέτηση των χρηστών. Τείνει στο 1 όταν το n τείνει στο άπειρο, $n-1$ χρήστες έχουν μέτρηση 0 και μόνο ένας χρήστης μέτρηση μεγαλύτερη του 0.

5.2: Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που έδωσε το σύστημά μας για κάθε συνδυασμό φορτίου - αλγορίθμου χρονοπρογραμματισμού.

Στα αποτελέσματα παραθέτουμε τους παρακάτω μέσους όρους.

- Του channel throughput το οποίο είναι ο λόγος (συνολικά πακέτα που μεταδόθηκαν / διαθέσιμα slots).
- Του load throughput το οποίο είναι ο λόγος (συνολικά πακέτα που μεταδόθηκαν / συνολικά πακέτα που γεννήθηκαν).
- Της απώλειας πακέτων (drop) για τους χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο, κανονικού βίντεο και φωνής.
- Της access delay για όλους του χρήστες.
- Της video frame transmission delay για τους δύο χρήστες βίντεο.

- Της message transmission delay για όλους τους χρήστες πλην των χρηστών τηλεϊατρικού βίντεο, κανονικού βίντεο και φωνής.

Την access delay της μετράμε ως εξής:

Για τους χρήστες φωνής μετράμε τη μέση καθυστέρηση από την εκκίνηση της κάθε περιόδου ομιλίας μέχρι τη χρονική στιγμή της εκκίνησης της μετάδοσης του χρήστη στο κανάλι.

Για τους χρήστες βίντεο μετράμε τη μέση καθυστέρηση από την άφιξη κάθε νέου VF μέχρι τη χρονική στιγμή της εκκίνησης της μετάδοσης του χρήστη στο κανάλι. Αν ο χρήστης δεν έχει προλάβει να εκκινήσει τη μετάδοσή του στο κανάλι πριν το deadline του παρόντος VF τότε θεωρούμε ως χρονικό σημείο πρόσβασης στο κανάλι τη στιγμή του deadline.

Για τους υπόλοιπους πέντε τύπους χρηστών μετράμε τη μέση καθυστέρηση από την άφιξη κάθε νέου μηνύματος μέχρι τη χρονική στιγμή της εκκίνησης της μετάδοσης του χρήστη στο κανάλι.

Τη video frame transmission delay τη μετράμε ως εξής:

Μετράμε τη μέση καθυστέρηση από την άφιξη κάθε νέου VF μέχρι τη χρονική στιγμή που τελειώνει η μετάδοση και του τελευταίου πακέτου του VF. Επομένως τη μετράμε μόνο στην περίπτωση επιτυχών μεταδόσεων, δηλαδή όταν μεταδοθούν όλα τα πακέτα ενός VF.

Γι' αυτό το λόγο όπως θα δούμε και στη συνέχεια η μέση video frame transmission delay μπορεί να είναι μικρότερη από τη μέση access delay των βίντεο χρηστών σε περιπτώσεις μεγάλης απώλειας πακέτων, μιας και η δεύτερη λαμβάνει υπόψη και τις περιπτώσεις μη επιτυχών μεταδόσεων των VFs.

Τη message transmission delay τη μετράμε ως εξής:

Μετράμε τη μέση καθυστέρηση από την άφιξη κάθε νέου μηνύματος μέχρι τη χρονική στιγμή που τελειώνει η μετάδοση και του τελευταίου

πακέτου του μηνύματος. Τα πακέτα των μηνυμάτων δεν μπορούν να χαθούν γιατί δεν υπάρχει deadline κατά το οποίο να γίνονται drop, επομένως τη μετράμε για κάθε μήνυμα.

Επίσης στα αποτελέσματα παραθέτουμε και τους δείκτες δικαιοσύνης που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Υπολογίσαμε δείκτες δικαιοσύνης για τους χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο, κανονικού βίντεο και φωνής για τέσσερις λόγους.

Πρώτον γιατί είναι οι πιο δύσκολοι τύποι για το σύστημα λαμβάνοντας ως κριτήριο το συνδυασμό της φύσης τους και τις απαιτήσεις QoS.

Δεύτερον γιατί είναι οι μόνοι τύποι στους οποίους μπορεί να συμβεί απώλεια πακέτων, επομένως μπορούμε να μετρήσουμε τους δείκτες για το throughput και το drop του κάθε χρήστη.

Τρίτον γιατί, λόγω της φύσης των 5 υπόλοιπων τύπων δεδομένων και της λειτουργίας του κώδικά μας (ροίσση αφίξεις μηνυμάτων με ρυθμό λ και κατόπιν ανάθεση τους στους χρήστες), τα αποτελέσματα των δεικτών (που μπορούν να γίνουν μόνο για delays) δεν μπορούσαν να είναι όσο αντιπροσωπευτικά είναι αυτά για τους χρήστες τηλεϊατρικού βίντεο, κανονικού βίντεο και φωνής.

Τέταρτον γιατί από τα αποτελέσματα που παίρναμε μετά από κάθε run, για να έχουμε μια εικόνα της συμπεριφοράς του συστήματος, διαπιστώσαμε μια αρκετά ομοιόμορφη συμπεριφορά στις message transmission delays με πολύ κοντινές τιμές για κάθε χρήστη. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Ο ένας είναι ότι λόγω της φύσης των τεσσάρων από τους πέντε τύπους χρηστών (πλην ECG) η message transmission delay είναι αρκετά μεγαλύτερη από την access delay, η οποία είναι μέρος της πρώτης, και η μόνη που μπορεί να έχει διακυμάνσεις από χρήστη σε χρήστη. Οι χρήστες ECG, που δεν έχουν αυτό το χαρακτηριστικό, απολαμβάνουν απόλυτη προτεραιότητα και καταλαμβάνουν πολύ μικρό μέρος του bandwidth οπότε και αυτοί

παρουσιάζουν ομοιόμορφες message transmission delays. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι χρήστες, σε κάθε άφιξη νέου μηνύματος, περιμένουν μέχρι το επόμενο channel frame και συμμετέχουν στη διαμάχη για μετάδοση αίτησης, την οποία μεταδίδουν επιτυχώς με τυχαίο τρόπο. Οπότε, ακόμα και στις περιπτώσεις αλγορίθμων όπως ο FCFS, δε γίνεται χρήστες να παίρνουν σταθερά προτεραιότητα έναντι άλλων, γιατί άφιξη στο σύστημα θεωρείται η επιτυχής μετάδοση αίτησης που είναι τυχαία.

Υπολογίσαμε τους δείκτες δικαιοσύνης για το throughput, το access delay, το video frame transmission delay και το drop. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζουμε τους δείκτες δικαιοσύνης του drop για οικονομία χώρου αλλά και γιατί είναι οι πιο αντιπροσωπευτικοί της δικαιοσύνης που καταφέρει ο κάθε αλγόριθμος. Ειδικά σε σχέση με το throughput το drop δίνει πολύ εντονότερες διαφορές στους δείκτες δικαιοσύνης γιατί η διακύμανση των τιμών του είναι πολύ μεγαλύτερη, ειδικά αν την παρατηρήσουμε ως ποσοστό της μέσης τιμής του.

Παρακάτω παραθέτουμε τα αποτελέσματα που έδωσε το σύστημά μας με τη χρήση κάθε αλγορίθμου για επτά (7) διαφορετικά φορτία. Σε κάθε περίπτωση αναγράφονται τα ποσοστά επί του bandwidth.

Κάθε φορτίο επιλέχθηκε να είναι τέτοιο ώστε, όταν το σύστημα επιβαρυνθεί με αυτό, ο αλγόριθμος που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ανά περίπτωση να φτάνει στα όρια των απαιτήσεων QoS που έχουμε θέσει.

Από τα επτά συνολικά φορτία, στο φορτίο 1 υπάρχει μόνο συμμετοχή κανονικής κίνησης, στα επόμενα πέντε φορτία συμμετέχουν όλοι οι τύποι κανονικής και τηλεϊατρικής κίνησης και στο φορτίο 7 συμμετέχουν μόνο οι τύποι κανονικού βίντεο, φωνής και τηλεϊατρικού βίντεο. Στα φορτία 2 και 3 η συμμετοχή της τηλεϊατρικής κίνησης είναι στο 5% του bandwidth και το ποσοστό του κάθε τύπου της σταθερό και στις δύο περιπτώσεις. Στα φορτία 4 και 5 η συμμετοχή της τηλεϊατρικής

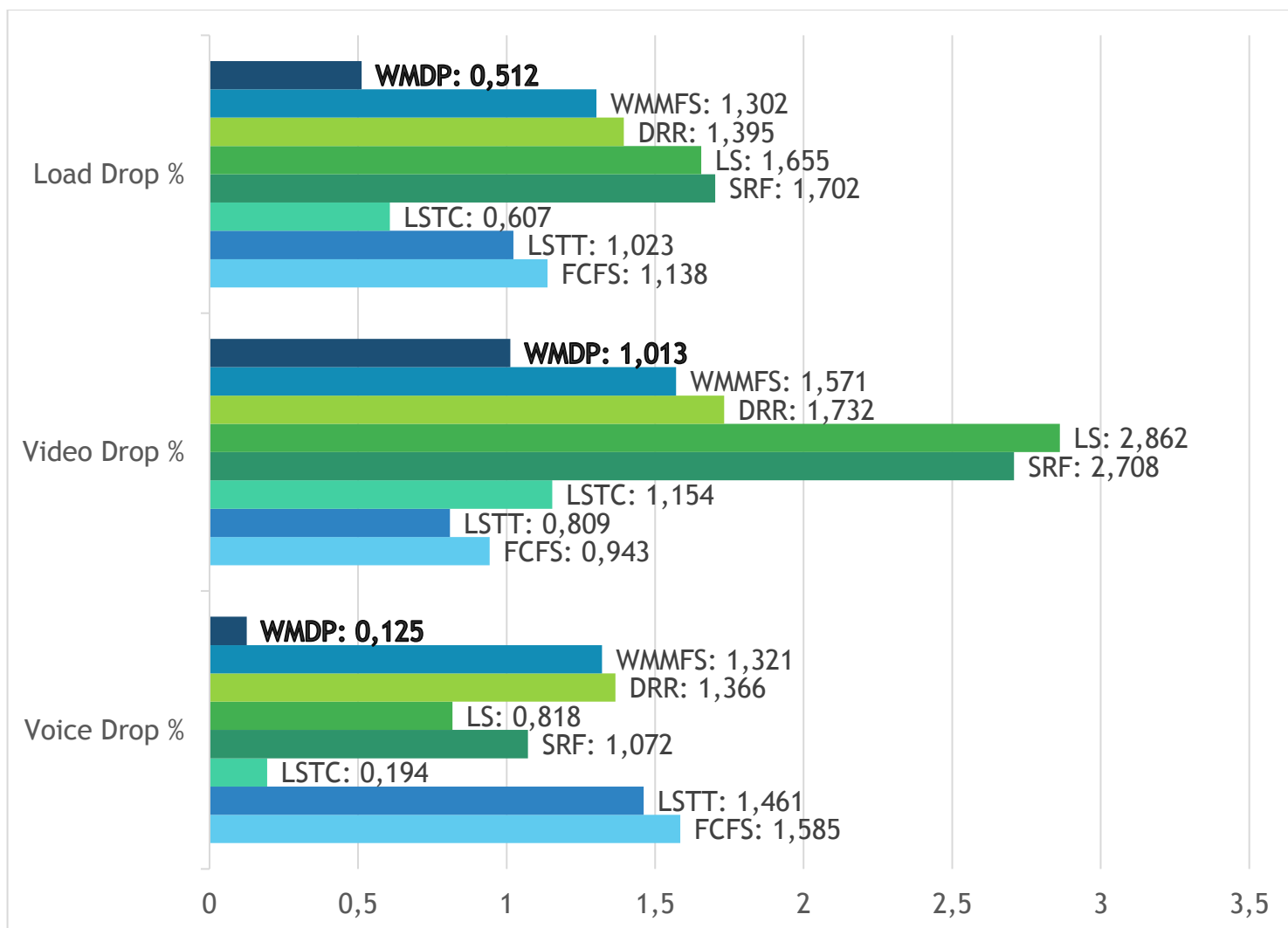
κίνησης είναι στο 10% του bandwidth και το ποσοστό του κάθε τύπου της σταθερό (και διπλάσιο των φορτίων 2 και 3) και στις δύο περιπτώσεις. Στο φορτίο 6 η συμμετοχή της τηλεϊατρικής κίνησης είναι στο 20% του bandwidth με αύξηση μόνο του ποσοστού του τηλεϊατρικού βίντεο σε σχέση με τα φορτία 4 και 5. Στο φορτίο 7 γίνεται ισόποση κατανομή στους τρεις συμμετέχοντες τύπους, με τον καθένα να απαιτεί λίγο πάνω από το 30.5% του bandwidth.

Οι τιμές $\lambda = 0.01551$ M/F (Message/Channel Frame) και $\lambda = 0.00171$ (M/F), που είναι οι μικρότερες τιμές για τηλεϊατρική εικόνα και X-Ray αντίστοιχα, αντιστοιχούν σε 1.2925 αφίξεις ανά δευτερόλεπτο και σε 1.425 αφίξεις ανά δέκα δευτερόλεπτα, δηλαδή τιμές που είναι ήδη πολύ υψηλές για τη φύση αυτών των δύο τύπων κίνησης.

5.2.1: Φορτίο 1

Φορτίο 1 – Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 90.78 %								
Regular Traffic Load: 90.78 %				Telemedicine Traffic Load: 0 %				
Voice: 40.97 % - 545 Users				Telemedicine Video: 0 % - 0 Users				
Video: 40.79 % - 24 Users				Telemedicine Image: 0 % - λ: 0 M/F				
Email: 8.48 % - λ: 0.6 M/F				X-Ray: 0 % - λ: 0 M/F				
SMS: 0.53 % - λ: 1 M/F				ECG: 0 % - λ: 0 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	89.57650	89.69873	90.10689	89.28176	89.24974	89.37693	89.43790	90.25742
Load Throughput %	98.86221	98.97708	99.39275	98.29802	98.34543	98.60487	98.69796	99.48773
Voice Drop %	1.5852550	1.4607161	0.1941967	1.0717847	0.8183168	1.3657487	1.3207351	0.1251272
Voice Access Delay (ms)	36.74	37.12	19.88	32.25	28.08	35.30	34.81	24.13
Voice JFI Drop	0.9969458	0.9970546	0.9913518	0.9967085	0.9957273	0.9967837	0.9968958	0.9982866
Voice MMFI Drop	0.7265333	0.7208252	0.5641020	0.7110036	0.6770509	0.7043551	0.7157086	0.7608089
Voice SDFI Drop	0.0550672	0.0539116	0.0924392	0.0570711	0.0651872	0.0564799	0.0554878	0.0406569
Voice GC Drop	0.0311705	0.0305407	0.0523515	0.0322954	0.0369158	0.0319775	0.0313820	0.0228660
Video Drop %	0.9425127	0.8088129	1.1542832	2.7078197	2.8624067	1.7318637	1.5712109	1.0131722
Video Access Delay (ms)	12.849	14.474	15.136	6.495	14.835	12.628	9.116	15.749
Video VF Delay (ms)	14.994	16.511	17.086	8.563	15.956	14.618	14.129	17.458
Video JFI Drop	0.1461012	0.0808890	0.1045120	0.7077492	0.8903587	0.0636317	0.7088799	0.9376428
Video MMFI Drop	0.0000788	0.0000426	0.0002123	0.1381735	0.3299061	0.0003248	0.1543268	0.4412671
Video SDFI Drop	1.5535568	1.1026245	1.1040917	0.4761186	0.1648264	0.9128538	0.4258548	0.2245457
Video GC Drop	0.8448974	0.9128950	0.8912452	0.3163787	0.1156908	0.9204943	0.3035738	0.1387395
Email Access Delay (ms)	37.98	38.67	50.81	33.35	18.10	37.12	36.25	48.30
Email Message Delay (ms)	984.41	979.07	995.62	984.57	974.04	982.63	981.28	993.98
SMS Access Delay (ms)	39.35	39.96	48.81	34.60	29.86	38.29	37.48	49.96
SMS Message Delay (ms)	63.37	63.99	72.83	58.63	53.89	62.31	61.50	73.98

Πίνακας 5.1: Φορτίο 1 - Αποτελέσματα

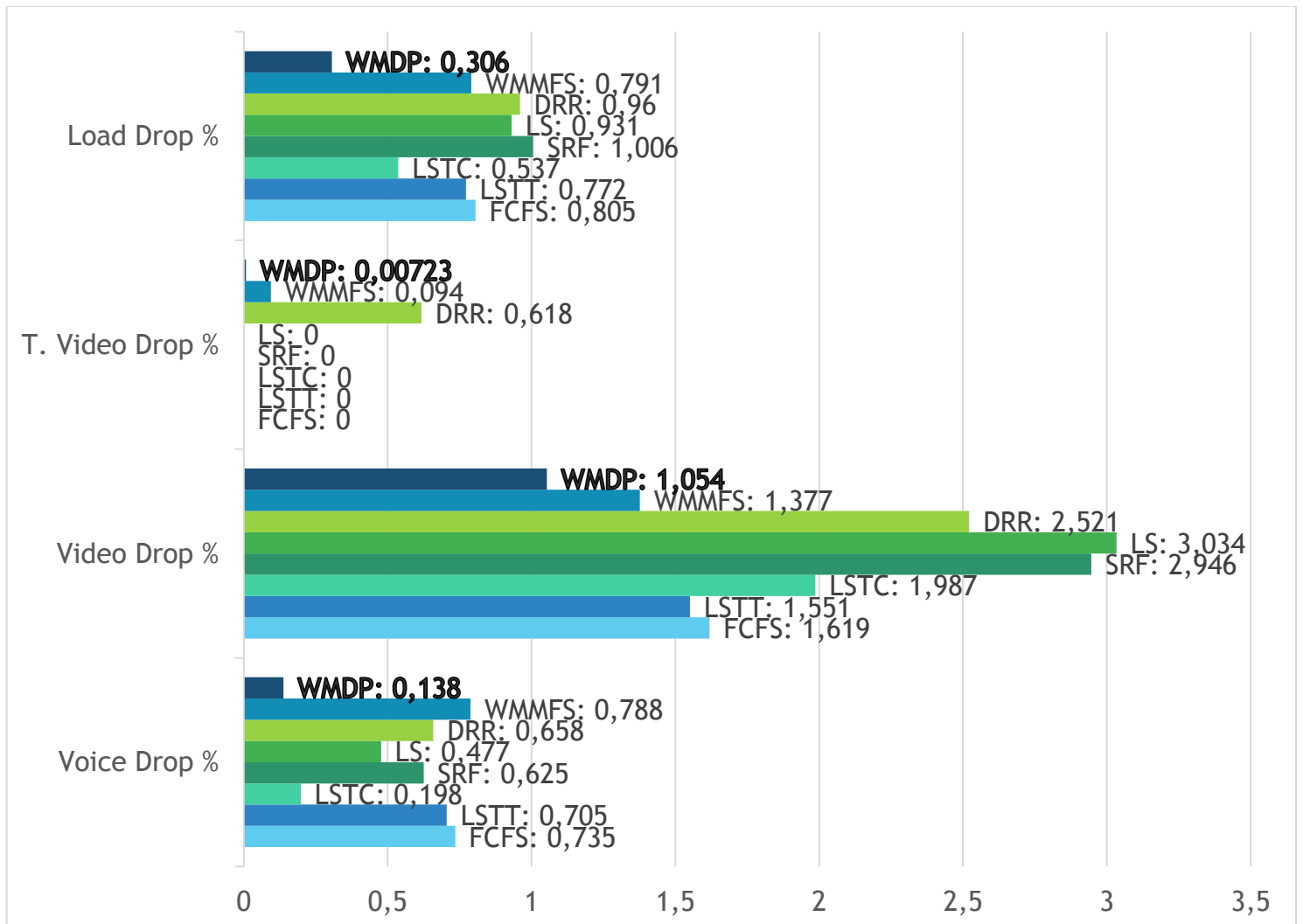


5.2.2: Φορτίο 2

Φορτίο 2 – Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 90.60 %								
Regular Traffic Load: 85.60 %				Telemedicine Traffic Load: 5.00 %				
Voice: 57.89 % - 770 Users				Telemedicine Video: 2.56 % - 5 Users				
Video: 18.70 % - 11 Users				Telemedicine Image: 1.00 % - λ: 0.01551 M/F				
Email: 8.48 % - λ: 0.6 M/F				X-Ray: 1.26 % - λ: 0.00171 M/F				
SMS: 0.53 % - λ: 1 M/F				ECG: 0.18 % - λ: 1 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	89.74507	89.81673	90.01291	89.44207	89.70721	89.55956	89.71062	90.18696
Load Throughput %	99.19532	99.22842	99.46334	98.99357	99.06886	99.03963	99.20927	99.69425
Voice Drop %	0.7349399	0.7054858	0.1978071	0.6250776	0.4767962	0.6580700	0.7877697	0.1377501
Voice Access Delay (ms)	26.55	26.88	18.14	25.50	21.85	25.29	27.26	19.87
Voice JFI Drop	0.9957988	0.9958470	0.9911043	0.9956587	0.9941769	0.9955911	0.9959554	0.9992005
Voice MMFI Drop	0.6629593	0.6716855	0.5491904	0.6511121	0.6077441	0.6453343	0.6654520	0.8140016
Voice SDFI Drop	0.0645410	0.0641280	0.0933791	0.0654818	0.0759196	0.0660513	0.0632302	0.0276779
Voice GC Drop	0.0364776	0.0363221	0.0530044	0.0370217	0.0428776	0.0372852	0.0357927	0.0154379
Video Drop %	1.6188716	1.5513092	1.9872312	2.9462991	3.0342087	2.5212692	1.3765274	1.0536227
Video Access Delay (ms)	11.493	12.342	12.791	7.692	12.519	11.557	7.545	11.383
Video VF Delay (ms)	14.837	15.503	15.828	10.947	14.967	14.738	11.402	14.577
Video JFI Drop	0.1210358	0.2251327	0.1683137	0.7560123	0.8328838	0.2138158	0.8374616	0.9684844
Video MMFI Drop	0.0003491	0.0106021	0.0055288	0.2127427	0.3967800	0.0179629	0.2608748	0.5824855
Video SDFI Drop	1.0971599	0.8569333	0.8596200	0.4103221	0.2123074	0.7434412	0.3808796	0.1600679
Video GC Drop	0.8737141	0.7536942	0.8044289	0.2786187	0.1676094	0.7654349	0.2257095	0.0943551
T. Video Drop %	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6182899	0.0943331	0.0072321
T. Video Access Delay (ms)	2.804	2.951	2.949	1.793	2.968	2.976	9.793	20.920
T. Video VF Delay (ms)	5.257	5.464	5.421	4.182	5.347	5.134	21.534	23.357
T. Video JFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.3860222	0.8939797	0.9830563
T. Video MMFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0252063	0.4431754	0.7069654
T. Video SDFI Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.0640874	0.2982170	0.1228689
T. Video GC Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6169141	0.1715610	0.0683330

Email Access Delay (ms)	26.88	27.47	32.85	24.01	17.47	25.54	28.05	36.06
Email Message Delay (ms)	969.25	975.21	979.44	966.62	968.26	963.82	973.58	986.63
SMS Access Delay (ms)	28.10	28.61	31.97	25.29	25.37	26.85	29.20	37.68
SMS Message Delay (ms)	52.13	52.64	55.99	49.31	49.40	50.87	53.22	61.70
T. Img Access Delay (ms)	8.19	8.18	9.15	8.29	8.28	8.27	7.00	8.74
T. Img Message Delay (ms)	4378.24	4376.73	4376.14	4376.30	4377.87	4376.20	4373.05	4376.18
X-Ray Access Delay (ms)	8.26	8.20	9.26	8.29	8.28	8.26	6.95	8.68
X-Ray Message Delay (ms)	50004.21	50011.40	50005.37	50004.33	50004.36	50004.15	50002.97	50004.75
ECG Access Delay (ms)	8.11	8.08	9.00	8.17	9.16	8.15	6.89	8.53
ECG Message Delay (ms)	8.13	8.10	9.02	8.19	9.18	8.17	6.91	8.55

Πίνακας 5.2: Φορτίο 2 - Αποτελέσματα

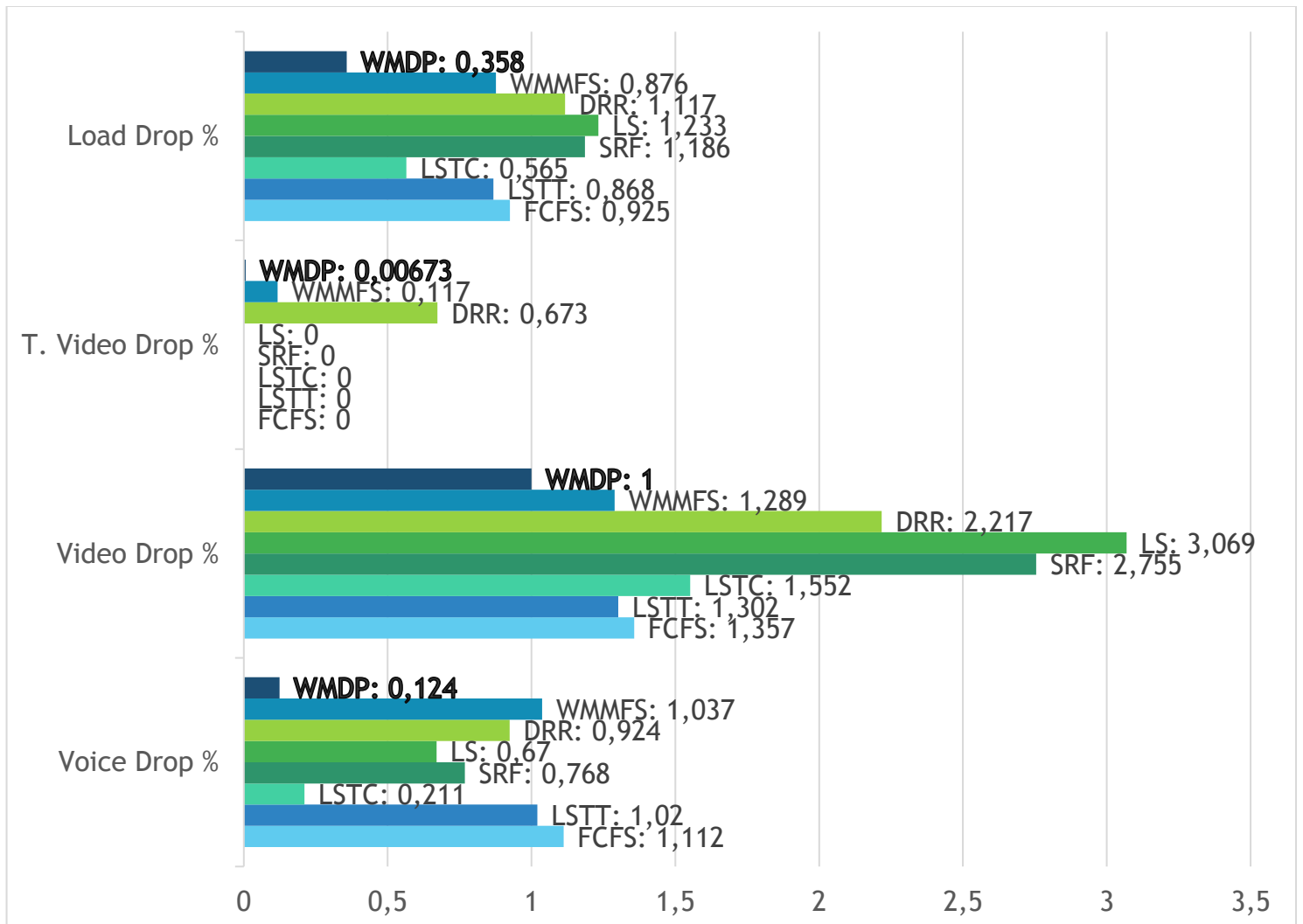


5.2.3: Φορτίο 3

Φορτίο 3 – Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 90.79 %								
Regular Traffic Load: 85.79 %				Telemedicine Traffic Load: 5.00 %				
Voice: 42.48 % - 565 Users				Telemedicine Video: 2.56 % - 5 Users				
Video: 27.19 % - 16 Users				Telemedicine Image: 1.00 % - λ: 0.01551 M/F				
Email: 15.27 % - λ: 1.08 M/F				X-Ray: 1.26 % - λ: 0.00171 M/F				
SMS: 0.85 % - λ: 1.6037 M/F				ECG: 0.18 % - λ: 1 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	89.79028	89.95424	90.14859	89.54771	89.53498	89.71555	89.86014	90.30752
Load Throughput %	99.07497	99.13220	99.43543	98.81367	98.76728	98.88302	99.12407	99.64157
Voice Drop %	1.1117081	1.0198905	0.2107715	0.7678834	0.6696241	0.9243584	1.0371388	0.1235434
Voice Access Delay (ms)	30.26	31.06	19.59	27.84	25.64	29.39	30.94	21.80
Voice JFI Drop	0.9964209	0.9964678	0.9920592	0.9960077	0.9950993	0.9962255	0.9964965	0.9985844
Voice MMFI Drop	0.6890221	0.6968574	0.5931630	0.6760868	0.6561746	0.6894966	0.6899727	0.7724216
Voice SDFI Drop	0.0595446	0.0593027	0.0882641	0.0630284	0.0696772	0.0611370	0.0589608	0.0367731
Voice GC Drop	0.0336781	0.0334909	0.0501201	0.0355426	0.0394711	0.0345929	0.0332782	0.0206079
Video Drop %	1.3568656	1.3020894	1.5517213	2.7550089	3.0686026	2.2174734	1.2885972	0.9998697
Video Access Delay (ms)	12.649	13.990	14.559	7.561	14.175	12.514	8.411	13.198
Video VF Delay (ms)	15.277	16.466	16.953	10.174	15.818	15.015	12.834	15.604
Video JFI Drop	0.1200469	0.1385685	0.1678235	0.7202350	0.8866925	0.1314124	0.7911874	0.9379168
Video MMFI Drop	0.0001047	0.0020641	0.0033740	0.1594671	0.3996209	0.0031558	0.2085612	0.4688985
Video SDFI Drop	1.3526982	0.9834473	0.9793664	0.4721617	0.1740009	0.8855835	0.4006306	0.2144200
Video GC Drop	0.8789950	0.8458885	0.8093514	0.3021043	0.1249186	0.8531259	0.2498323	0.1340357
T. Video Drop %	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6725306	0.1174318	0.0067260
T. Video Access Delay (ms)	2.035	2.511	2.453	1.595	2.620	2.573	9.931	21.755
T. Video VF Delay (ms)	3.970	4.512	4.415	3.508	4.484	4.137	22.152	23.700
T. Video JFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.3672698	0.8060302	0.9707240
T. Video MMFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0280881	0.3655567	0.6411383
T. Video SDFI Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.9811197	0.3551420	0.1624449
T. Video GC Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6335171	0.2365880	0.0871660

Email Access Delay (ms)	32.47	33.35	40.17	29.18	18.80	31.67	33.37	41.32
Email Message Delay (ms)	977.04	980.29	984.99	971.45	962.82	976.20	975.91	983.18
SMS Access Delay (ms)	35.46	36.32	39.10	31.80	29.63	34.66	36.24	43.63
SMS Message Delay (ms)	59.48	60.35	63.12	55.83	53.65	58.69	60.27	67.65
T. Img Access Delay (ms)	7.92	7.89	8.64	8.15	8.04	7.92	6.89	8.35
T. Img Message Delay (ms)	4376.14	4376.62	4378.44	4376.21	4375.11	4377.31	4377.32	4376.16
X-Ray Access Delay (ms)	7.93	7.85	8.61	8.09	8.03	7.93	6.86	8.40
X-Ray Message Delay (ms)	50004.07	50003.91	50008.27	50007.44	50004.14	50003.93	50002.98	50004.39
ECG Access Delay (ms)	7.82	7.80	8.53	8.03	8.68	7.83	6.78	8.22
ECG Message Delay (ms)	7.85	7.82	8.55	8.05	8.70	7.85	6.81	8.25

Πίνακας 5.3: Φορτίο 3 - Αποτελέσματα

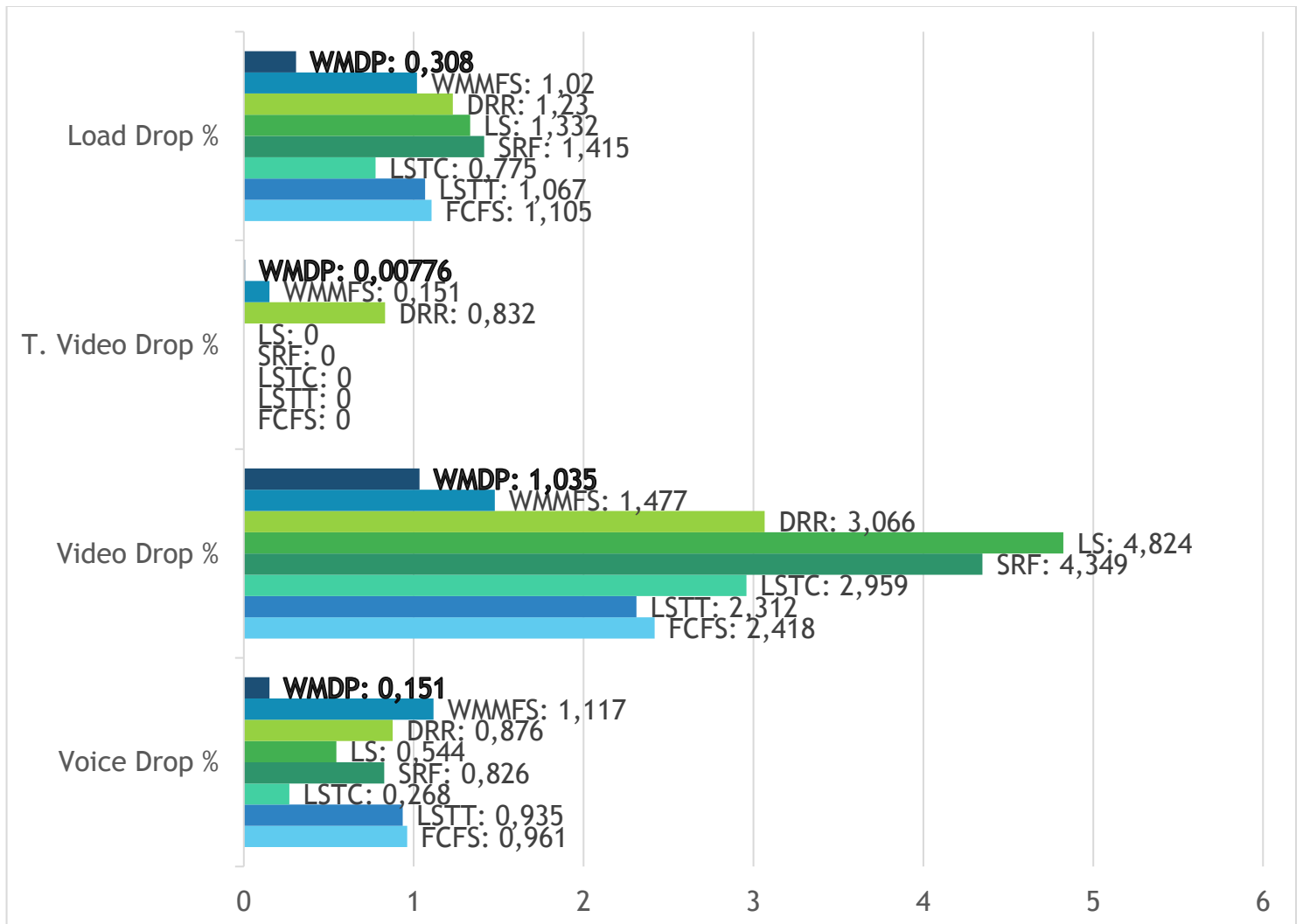


5.2.4: Φορτίο 4

Φορτίο 4 – Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 91.32 %								
Regular Traffic Load: 81.32 %				Telemedicine Traffic Load: 10.00 %				
Voice: 57.89 % - 770 Users				Telemedicine Video: 5.13 % - 10 Users				
Video: 18.70 % - 11 Users				Telemedicine Image: 2.00 % - λ: 0.03102 M/F				
Email: 4.20 % - λ: 0.2975 M/F				X-Ray: 2.52 % - λ: 0.00342 M/F				
SMS: 0.53 % - λ: 1 M/F				ECG: 0.35 % - λ: 2 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	90.14794	90.20621	90.49428	89.86858	89.91524	89.91331	90.17984	90.84980
Load Throughput %	98.89463	98.93254	99.22481	98.58469	98.66765	98.77010	98.98017	99.69177
Voice Drop %	0.9609273	0.9347611	0.2678690	0.8263622	0.5441223	0.8760845	1.1172797	0.1510731
Voice Access Delay (ms)	30.55	30.73	20.64	29.24	23.73	29.19	32.55	22.33
Voice JFI Drop	0.9966537	0.9967354	0.9932396	0.9965425	0.9949787	0.9963953	0.9968394	0.9992784
Voice MMFI Drop	0.6973921	0.6943970	0.5889667	0.6918276	0.6334537	0.6919705	0.7019634	0.8269569
Voice SDFI Drop	0.0576460	0.0570348	0.0814791	0.0585403	0.0703877	0.0598674	0.0561412	0.0263289
Voice GC Drop	0.0325885	0.0321739	0.0461592	0.0331219	0.0397843	0.0338184	0.0316712	0.0146842
Video Drop %	2.4180006	2.3123680	2.9592421	4.3487781	4.8237629	3.0655724	1.4769405	1.0346929
Video Access Delay (ms)	13.880	15.026	15.847	9.868	15.119	13.961	8.103	12.057
Video VF Delay (ms)	16.746	17.655	18.368	12.787	16.782	16.697	11.968	15.054
Video JFI Drop	0.1182645	0.1784367	0.2638237	0.7879847	0.9427688	0.2440498	0.8262341	0.9681273
Video MMFI Drop	0.0008577	0.0099771	0.0232078	0.2366258	0.5121220	0.0192662	0.2617607	0.5832044
Video SDFI Drop	0.9853853	0.7458747	0.7721576	0.3770371	0.1966984	0.8321197	0.4006273	0.1627878
Video GC Drop	0.8665235	0.7666552	0.6889703	0.2464583	0.1177341	0.7175172	0.2366916	0.0965900
T. Video Drop %	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.8317615	0.1511849	0.0077611
T. Video Access Delay (ms)	4.147	4.421	3.621	2.912	3.812	4.385	10.513	22.819
T. Video VF Delay (ms)	6.526	6.812	5.966	5.218	6.123	6.433	25.998	25.111
T. Video JFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.2130566	0.7073226	0.9644670
T. Video MMFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0017334	0.2684667	0.5570160
T. Video SDFI Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.9269424	0.3370069	0.1795751
T. Video GC Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.7841048	0.2980454	0.1018310

Email Access Delay (ms)	29.86	30.48	36.71	27.04	19.13	29.21	32.29	45.67
Email Message Delay (ms)	976.83	977.97	988.02	972.47	960.43	965.20	970.78	992.42
SMS Access Delay (ms)	31.24	31.66	36.05	28.33	27.46	30.37	33.46	47.52
SMS Message Delay (ms)	55.27	55.68	60.08	52.36	51.48	54.39	57.49	71.55
T. Img Access Delay (ms)	8.11	8.10	10.02	8.14	8.14	8.10	7.11	8.73
T. Img Message Delay (ms)	4378.61	4377.39	4379.43	4376.80	4376.53	4376.81	4376.99	4376.91
X-Ray Access Delay (ms)	8.10	8.10	10.03	8.14	8.12	8.12	7.09	8.73
X-Ray Message Delay (ms)	50007.60	50004.12	50006.09	50007.54	50004.16	50004.18	50006.34	50007.25
ECG Access Delay (ms)	7.93	7.91	9.75	7.95	9.82	7.93	6.87	8.41
ECG Message Delay (ms)	7.95	7.94	9.77	7.98	9.84	7.95	6.89	8.43

Πίνακας 5.4: Φορτίο 4 - Αποτελέσματα

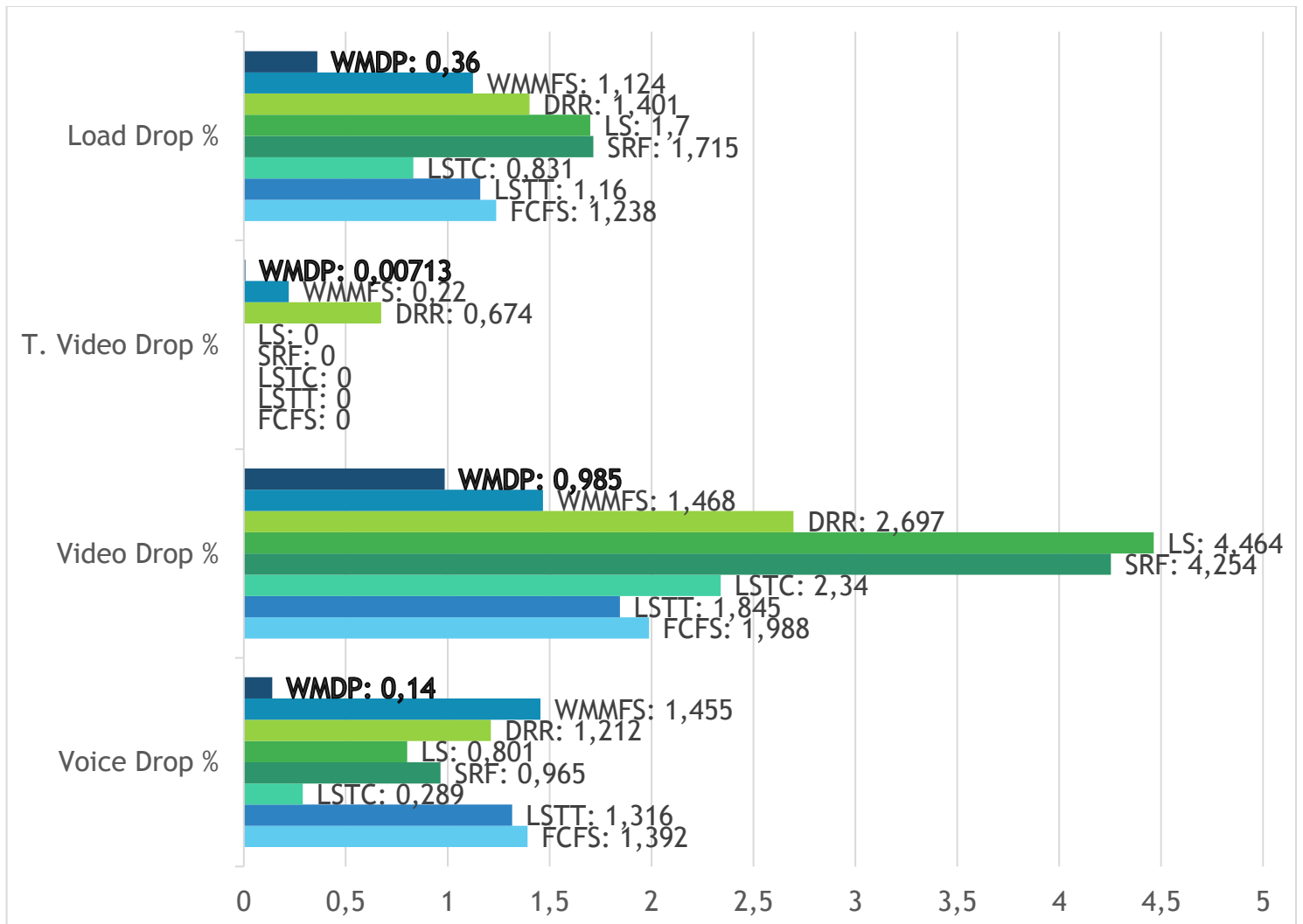


5.2.5: Φορτίο 5

Φορτίο 5 – Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 91.51 %								
Regular Traffic Load: 81.51 %				Telemedicine Traffic Load: 10.00 %				
Voice: 42.48 % - 565 Users				Telemedicine Video: 5.13 % - 10 Users				
Video: 27.19 % - 16 Users				Telemedicine Image: 2.00 % - λ: 0.03102 M/F				
Email: 10.99 % - λ: 0.7775 M/F				X-Ray: 2.52 % - λ: 0.00342 M/F				
SMS: 0.85 % - λ: 1.6037 M/F				ECG: 0.35 % - λ: 2 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	90.28241	90.29351	90.74588	89.86844	89.84261	90.11712	90.37653	91.04112
Load Throughput %	98.76157	98.84026	99.16926	98.28462	98.30040	98.59858	98.87586	99.63975
Voice Drop %	1.3921719	1.3164841	0.2892009	0.9645842	0.8011322	1.2124380	1.4546339	0.1400604
Voice Access Delay (ms)	35.47	35.32	22.24	31.26	28.16	33.87	37.11	24.22
Voice JFI Drop	0.9969751	0.9970479	0.9938439	0.9966900	0.9959423	0.9970072	0.9972634	0.9989579
Voice MMFI Drop	0.7150783	0.7145693	0.6198593	0.7018386	0.6565277	0.7197051	0.7258644	0.8039636
Voice SDFI Drop	0.0546760	0.0540084	0.0776907	0.0573269	0.0635779	0.0547538	0.0520991	0.0319330
Voice GC Drop	0.0309168	0.0305263	0.0440120	0.0323620	0.0358737	0.0308012	0.0294395	0.0178756
Video Drop %	1.9883071	1.8448450	2.3398813	4.2541361	4.4642312	2.6972240	1.4683104	0.9850721
Video Access Delay (ms)	14.398	15.716	16.776	9.402	16.346	14.715	8.861	13.969
Video VF Delay (ms)	16.772	17.905	18.814	11.735	17.431	16.929	13.123	16.259
Video JFI Drop	0.1144185	0.1543707	0.1972562	0.7979238	0.9118206	0.1388606	0.7830743	0.9541275
Video MMFI Drop	0.0001037	0.0033126	0.0053194	0.1999936	0.4755544	0.0030952	0.2087395	0.5186080
Video SDFI Drop	1.3179705	0.9799354	0.9744194	0.4309161	0.1677774	0.8870567	0.3838773	0.2022728
Video GC Drop	0.8801119	0.8111909	0.7692132	0.2628522	0.1146348	0.8419075	0.2501632	0.1200356
T. Video Drop %	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6736818	0.2196479	0.0071298
T. Video Access Delay (ms)	2.989	3.067	3.522	1.957	3.226	2.960	10.404	25.168
T. Video VF Delay (ms)	4.829	4.883	5.394	3.735	5.040	4.455	27.347	26.969
T. Video JFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.2523152	0.7259519	0.9764286
T. Video MMFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0010132	0.2635977	0.6007828
T. Video SDFI Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.0828513	0.3136863	0.1517287
T. Video GC Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.7389204	0.2640649	0.0834242

Email Access Delay (ms)	36.89	37.04	46.91	32.48	20.72	35.73	38.76	53.11
Email Message Delay (ms)	984.67	980.07	995.56	980.95	966.03	987.29	982.45	996.48
SMS Access Delay (ms)	40.39	40.38	45.76	35.23	32.68	39.03	42.17	55.26
SMS Message Delay (ms)	64.41	64.40	69.79	59.26	56.70	63.05	66.20	79.29
T. Img Access Delay (ms)	7.90	7.88	9.27	8.09	7.91	7.88	7.03	8.41
T. Img Message Delay (ms)	4374.91	4377.39	4379.86	4379.41	4376.72	4375.64	4375.09	4376.41
X-Ray Access Delay (ms)	7.92	7.89	9.37	8.07	7.89	7.87	6.99	8.40
X-Ray Message Delay (ms)	50003.91	50008.69	50005.33	50004.17	50004.04	50008.53	50003.03	50004.38
ECG Access Delay (ms)	7.73	7.75	9.06	7.88	9.11	7.74	6.79	8.17
ECG Message Delay (ms)	7.76	7.77	9.08	7.90	9.13	7.76	6.81	8.19

Πίνακας 5.5: Φορτίο 5 - Αποτελέσματα

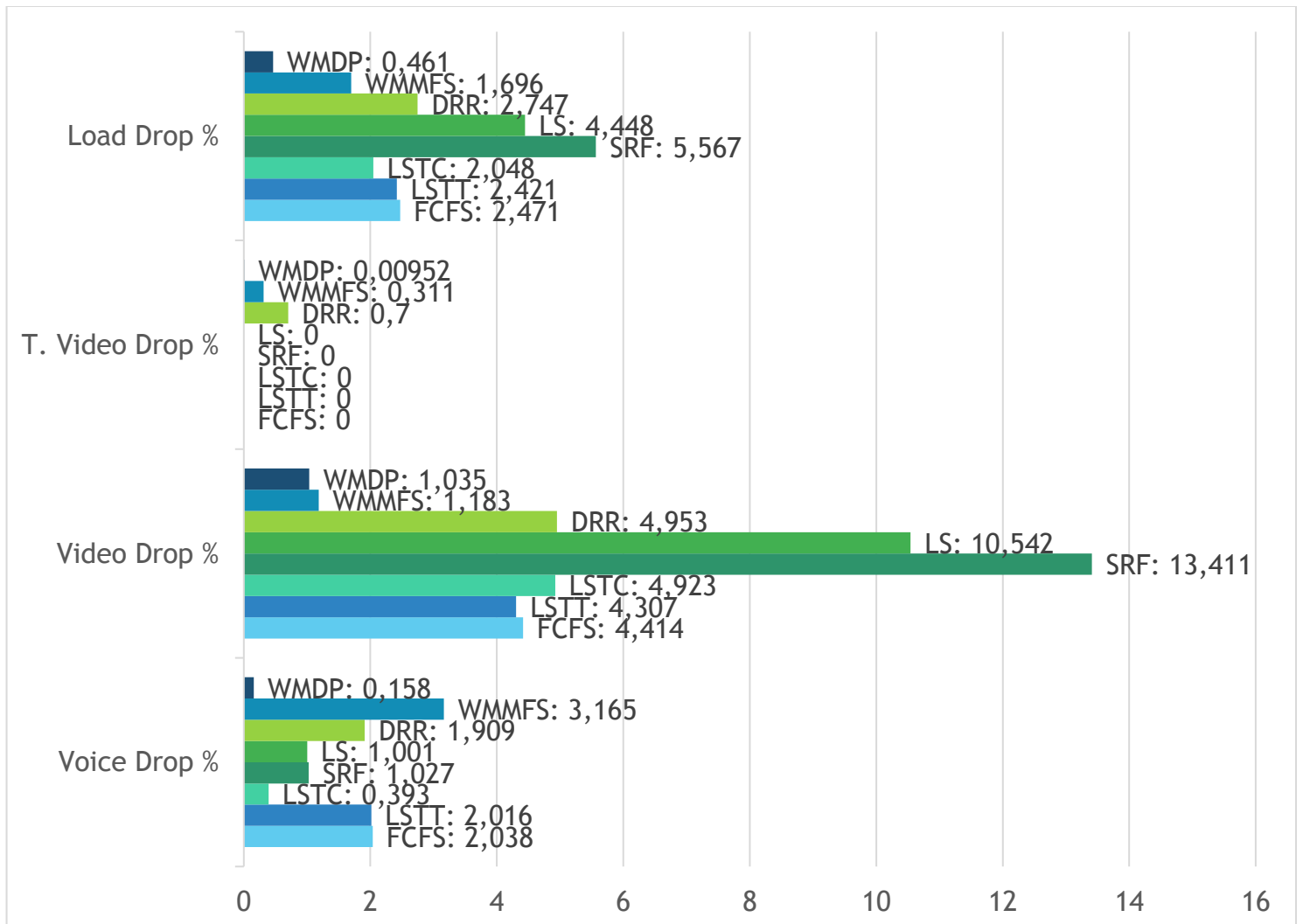


5.2.6: Φορτίο 6

Φορτίο 6 – Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 92.60 %								
Regular Traffic Load: 72.18 %				Telemedicine Traffic Load: 20.42 %				
Voice: 34.81 % - 463 Users				Telemedicine Video: 15.37 % - 30 Users				
Video: 35.69 % - 21 Users				Telemedicine Image: 2.00 % - λ: 0.03102 M/F				
Email: 1.41 % - λ: 0.1 M/F				X-Ray: 2.52 % - λ: 0.00342 M/F				
SMS: 0.27 % - λ: 0.5 M/F				ECG: 0.53 % - λ: 3 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	90.08032	90.26875	90.51088	87.33162	88.28975	89.85378	90.74683	91.94139
Load Throughput %	97.52927	97.57861	97.95221	94.43328	95.55168	97.25323	98.30447	99.53935
Voice Drop %	2.0375630	2.0156236	0.3931348	1.0272829	1.0011012	1.9085875	3.1650758	0.1581672
Voice Access Delay (ms)	45.71	47.16	26.46	33.55	32.52	44.19	58.24	30.51
Voice JFI Drop	0.9979436	0.9980155	0.9957705	0.9973860	0.9972213	0.9978717	0.9982696	0.9988978
Voice MMFI Drop	0.7518224	0.7744447	0.6844785	0.7354405	0.7280331	0.7601794	0.7828756	0.8010264
Voice SDFI Drop	0.0452738	0.0444789	0.0648363	0.0510369	0.0526380	0.0460156	0.0415402	0.0329404
Voice GC Drop	0.0255087	0.0251171	0.0366930	0.0288094	0.0296485	0.0259662	0.0235127	0.0182916
Video Drop %	4.4140920	4.3067782	4.9232048	13.4111722	10.5422928	4.9526324	1.1827913	1.0345934
Video Access Delay (ms)	20.675	22.094	22.581	14.337	20.931	21.070	10.247	16.983
Video VF Delay (ms)	21.682	22.783	23.133	14.979	19.443	22.036	14.274	18.469
Video JFI Drop	0.1054619	0.3292211	0.2979619	0.9604077	0.9464739	0.2879309	0.7149516	0.9420230
Video MMFI Drop	0.0008883	0.0227531	0.0201484	0.4711075	0.4406127	0.0171883	0.1526540	0.4729947
Video SDFI Drop	1.0997268	0.8134132	0.7757307	0.1760399	0.2235495	0.8938138	0.4041991	0.2316357
Video GC Drop	0.8627936	0.6365209	0.6398703	0.1035640	0.1236506	0.6760333	0.2863355	0.1371323
T. Video Drop %	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.6998797	0.3113420	0.0095229
T. Video Access Delay (ms)	5.914	5.912	6.459	4.822	6.269	6.303	10.910	27.961
T. Video VF Delay (ms)	7.218	7.209	7.781	6.104	7.564	7.318	35.146	29.257
T. Video JFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.2178784	0.4735589	0.9487477
T. Video MMFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0000000	0.0849661	0.4360909
T. Video SDFI Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	1.1122930	0.3604781	0.2097658
T. Video GC Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.7820250	0.3611839	0.1268155

Email Access Delay (ms)	47.31	48.44	53.35	37.24	23.27	46.06	58.94	127.57
Email Message Delay (ms)	979.19	991.04	995.26	988.15	973.07	973.48	1006.30	1068.46
SMS Access Delay (ms)	47.96	49.17	53.40	37.56	35.44	46.62	59.80	130.38
SMS Message Delay (ms)	71.99	73.20	77.43	61.58	59.47	70.65	83.83	154.40
T. Img Access Delay (ms)	7.52	7.51	11.11	7.58	7.61	7.53	6.96	8.12
T. Img Message Delay (ms)	4376.14	4375.51	4380.78	4375.11	4374.37	4375.85	4374.77	4376.33
X-Ray Access Delay (ms)	7.50	7.51	10.98	7.56	7.48	7.55	6.94	8.11
X-Ray Message Delay (ms)	50003.65	50003.60	50007.18	50003.56	50003.47	50003.62	50007.99	50009.31
ECG Access Delay (ms)	7.37	7.39	10.92	7.40	10.86	7.38	6.77	7.88
ECG Message Delay (ms)	7.40	7.42	10.94	7.42	10.88	7.41	6.79	7.90

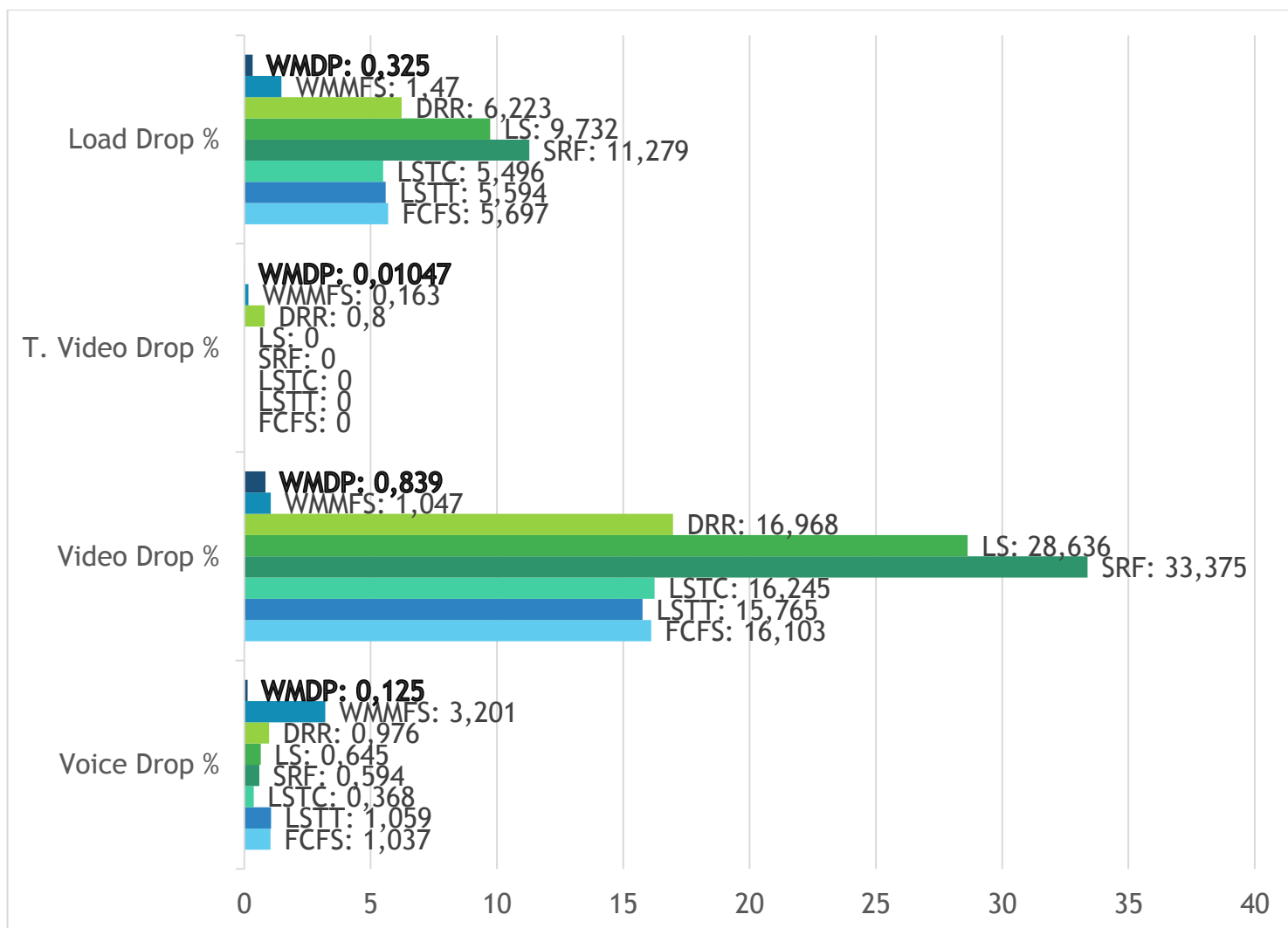
Πίνακας 5.6: Φορτίο 6 - Αποτελέσματα



5.2.7: Φορτίο 7

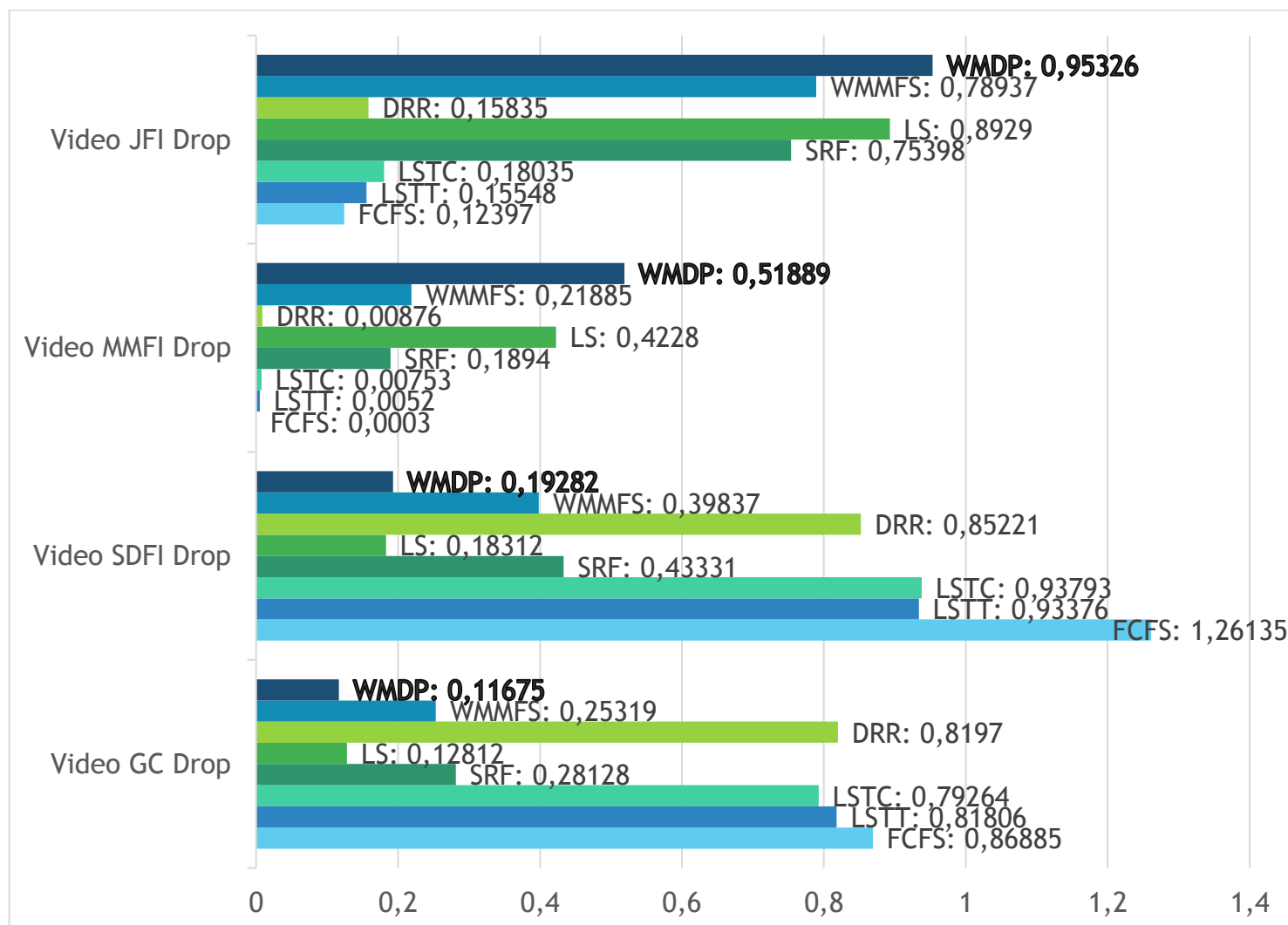
Φορτίο 7 - Αποτελέσματα								
Overall Traffic Load: 92.16 %								
Regular Traffic Load: 61.42 %				Telemedicine Traffic Load: 30.74 %				
Voice: 30.83 % - 410 Users				Telemedicine Video: 30.74 % - 60 Users				
Video: 30.59 % - 18 Users				Telemedicine Image: 0 % - λ: 0 M/F				
Email: 0 % - λ: 0 M/F				X-Ray: 0 % - λ: 0 M/F				
SMS: 0 % - λ: 0 M/F				ECG: 0 % - λ: 0 M/F				
	FCFS	LSTT	LSTC	SRF	LS	DRR	WMMFS	WMDP
Channel Throughput %	86.74305	86.87234	86.88021	81.62409	83.05124	86.24983	90.61859	91.71228
Load Throughput %	94.30303	94.40571	94.50363	88.72086	90.26772	93.77708	98.52958	99.67505
Voice Drop %	1.0370949	1.0589616	0.3680072	0.5940856	0.6449670	0.9761559	3.2008972	0.1254027
Voice Access Delay (ms)	33.96	34.18	24.92	26.78	27.36	33.09	59.05	31.45
Voice JFI Drop	0.9977744	0.9977318	0.9965511	0.9973409	0.9975971	0.9977316	0.9980877	0.9966609
Voice MMFI Drop	0.7520633	0.7523519	0.7090387	0.7504663	0.7442079	0.7510804	0.7633300	0.6126531
Voice SDFI Drop	0.0469457	0.0475583	0.0586797	0.0514219	0.0487223	0.0474553	0.0437817	0.0611688
Voice GC Drop	0.0265187	0.0268282	0.0331198	0.0291309	0.0275930	0.0268325	0.0246678	0.0307673
Video Drop %	16.102739	15.764643	16.244841	33.375342	28.636290	16.96846	1.046759	0.839383
Video Access Delay (ms)	25.262	25.895	26.015	19.735	23.692	25.216	11.576	21.886
Video VF Delay (ms)	23.936	23.463	23.492	15.280	16.745	23.758	14.599	23.258
Video JFI Drop	0.7217097	0.8713370	0.8547014	0.9145518	0.9322656	0.7509182	0.7366826	0.9672570
Video MMFI Drop	0.1519694	0.4000706	0.2855427	0.5721193	0.4205836	0.1543412	0.1825253	0.5570501
Video SDFI Drop	0.4700396	0.2425492	0.3102866	0.1481360	0.2809457	0.5583339	0.3980094	0.1757884
Video GC Drop	0.3063185	0.1784110	0.1972747	0.1072731	0.1523630	0.2917612	0.2819952	0.1013300
T. Video Drop %	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.7996085	0.1626050	0.0104708
T. Video Access Delay (ms)	13.048	13.190	13.294	10.337	13.721	13.354	10.507	26.131
T. Video VF Delay (ms)	14.185	14.328	14.432	11.466	14.843	14.194	40.342	27.225
T. Video JFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.1850676	0.3135145	0.9457234
T. Video MMFI Drop	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000	0.0000000	0.0312194	0.4260807
T. Video SDFI Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.9900482	0.4788240	0.2118617
T. Video GC Drop	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.8151161	0.5460533	0.1305997

Πίνακας 5.7: Φορτίο 7 - Αποτελέσματα



5.2.8: Μέσος Όρος Δεικτών Δικαιοσύνης

Παρακάτω παρουσιάζουμε σε γράφημα το μέσο όρο των δεικτών δικαιοσύνης στην απώλεια βίντεο, για τα πρώτα πέντε φορτία από τα συνολικά επτά. Κάναμε αυτήν την επιλογή γιατί στο φορτίο 6 και στο φορτίο 7 τα ποσοστά συμμετοχής του τηλεϊατρικού βίντεο είναι πολύ υψηλά. Αυτό οδηγεί πολλούς από τους αλγορίθμους να έχουν πολύ μεγάλες απώλειες πακέτων βίντεο γεγονός που ομαλοποιεί πολύ τους δείκτες δικαιοσύνης και δεν αφήνει να φανεί η πραγματική συμπεριφορά που έχουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων χρήσης, μιας και αυτά τα φορτία τηλεϊατρικού βίντεο είναι πολύ σπάνιο να υπάρξουν στην πραγματική ζωή.



Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο, έχοντας πολλά διαθέσιμα στοιχεία από τα αποτελέσματα που έδωσαν οι αλγόριθμοι για επτά διαφορετικά φορτία, κάνουμε αξιολόγηση και σχολιασμό της απόδοσης και ερμηνεία της συμπεριφοράς του καθενός.

6.1: Αξιολόγηση FCFS

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του FCFS.

Στο channel throughput ο FCFS τοποθετείται μεταξύ 4ης και 5ης θέσης, κατά βάση 5ης, δηλαδή λίγο κάτω από το μέσο όρο. Σε κάθε φορτίο είναι πίσω από τους WMDP, LSTC, LSTT και στις περισσότερες περιπτώσεις πίσω και από τον WMMFS πλην των περιπτώσεων που το φορτίο έχει είτε μόνο κανονική κίνηση, είτε πολύ χαμηλό ποσοστό τηλεϊατρικής. Το τελευταίο συμβαίνει γιατί ο WMMFS δεν μπορεί να ξεδιπλώσει τα πλεονεκτήματά του όταν δεν υπάρχει σεβαστό φορτίο τηλεϊατρικού βίντεο, όπως θα δούμε παρακάτω.

Στη μέση απώλεια φωνής ο FCFS βρίσκεται συνήθως στην 7η, δύο φορές στην 8η και μια φορά στην 6η, είτε γιατί βρίσκεται πίσω από αλγόριθμους που συμπεριφέρονται συνολικά καλύτερα και εξυπηρετούν καλύτερα κανονικό βίντεο και φωνή, είτε γιατί αυτοί που συνολικά συμπεριφέρονται χειρότερα από αυτόν έχουν αρκετά μεγαλύτερη απώλεια στο κανονικό βίντεο, οπότε έτσι ευνοούν την εξυπηρέτηση της φωνής.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο FCFS βρίσκεται συνήθως στην 4η θέση και μόνο μια φορά στη 2η. Η προτεραιότητα εντός των χρηστών κανονικού βίντεο είναι FCFS αλλά με τις παραδοχές που έχουμε κάνει για τη λειτουργία των δύο τύπων βίντεο (ενότητα 3.2) ουσιαστικά εξυπηρετεί σαν τον αλγόριθμο EDF (Earliest Deadline First). Αυτό συμβαίνει γιατί οι χρήστες των δύο τύπων έχουν σχεδόν συνέχεια δικαίωμα κράτησης και με την άφιξη του νέου VF τους ενημερώνουν το σταθμό βάσης άμεσα για τις απαιτήσεις τους μπαίνοντας άμεσα στην ουρά. Επομένως ως άφιξη στο σύστημα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, θεωρείται η άφιξη του νέου VF και όχι η επιτυχής μετάδοση αίτησης για κράτηση στη διαμάχη, στην οποία οι χρήστες συμμετέχουν σπάνια. Επιλέγοντας λοιπόν τους χρήστες βίντεο με τη σειρά άφιξης είναι ουσιαστικά σα να τους επιλέγουμε με τη σειρά που αφίχθηκε το VF τους, το οποίο όμως έχει deadline σε συγκεκριμένο χρόνο μετά την άφιξη. Έτσι ο χρήστης που επιλέγεται εκτός από νωρίτερη άφιξη έχει και νωρίτερο deadline. Με αυτόν το τρόπο ο FCFS εισάγει, τελικά, ένα κριτήριο urgency το οποίο δίνει μέση απώλεια κανονικού βίντεο λίγο καλύτερη του μέσου όρου αλλά χειρότερη από άλλους αλγορίθμους, που όπως φάνηκε έχουν καλύτερο κριτήριο urgency.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο FCFS είναι άριστος γιατί δεν υπάρχει καμία απώλεια. Μοιράζεται βέβαια την πρωτιά του με άλλους 4 αλγορίθμους, τους LSTT, LSTC, SRF και LS. Αυτό συμβαίνει πρώτον γιατί στον FCFS το τηλεϊατρικό βίντεο έχει απόλυτη προτεραιότητα έναντι οποιουδήποτε τύπου κανονικής κίνησης και δεύτερον γιατί έχει ανεκτικότητα σαφώς μεγαλύτερη από του κανονικού βίντεο.

Όσον αφορά την ανεκτικότητα, αρκεί να θυμηθούμε ότι το μέσο bit rate του είναι 3.355 φορές μικρότερο, η τυπική απόκλιση του bit rate είναι ποσοστιαία μικρότερη αναλογικά με τη μέση τιμή του και οι αφίξεις των

VF του γίνονται στο διπλάσιο χρόνο (80 ms έναντι 40 ms). Επομένως δίδεται διπλάσιο χρονικό περιθώριο στα πακέτα του VF μέχρι να φτάσει το deadline που θα υπάρξει απώλεια. Λόγω της κοινής συμπεριφοράς 5 αλγορίθμων, παρά τις μεγάλες διαφορές τους σε άλλα αποτελέσματα, κατανοήσαμε ότι οι δύο παραπάνω αιτίες (προτεραιότητα και ανεκτικότητα) είναι υπεραρκετές για την εξασφάλιση άψογης εξυπηρέτησης του τηλεϊατρικού βίντεο, πράγμα που μας έβαλε σε σκέψεις για το πώς θα μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε αυτήν την ανεκτικότητα προς όφελος των υπόλοιπων τύπων και ειδικότερα του κανονικού βίντεο και της φωνής.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο FCFS καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο FCFS είναι κατά μέσο όρο ο χειρότερος απ' όλους.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους. Ο FCFS μαζί με τους LSTT, SRF, DRR και WMMFS δίνουν σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα ενώ οι υπόλοιποι τρεις είναι αρκετά κοντά. Οι βασικοί λόγοι της καλής δικαιοσύνης, απ' όλους τους αλγορίθμους, στη φωνή είναι τρεις. Πρώτος, το ότι σε κάθε νέα περίοδο ομιλίας οι χρήστες φωνής μπαίνουν στη διαμάχη και μεταδίδουν επιτυχώς αίτηση για κράτηση τυχαία, οπότε μπαίνουν στην ουρά τυχαία (τυχαία άφιξη στο σύστημα). Δεύτερος, το ότι οι χρήστες φωνής δεν μπορούν να έχουν πάνω από 4 πακέτα προς μετάδοση κάθε στιγμή (αν ξεπεραστεί το χρονικό όριο των 40 ms ένα πακέτο πετάγεται, και νέα πακέτα γεννιούνται ανά 12 ms), οπότε το urgency του κάθε χρήστη δεν έχει τόσο μεγάλες διαφορές όσο εκείνο των χρηστών βίντεο και οι διαφορές μεταξύ των αλγορίθμων δεν μπορούν να φανούν τόσο καλά. Τρίτος, το ότι όλες οι ομιλίες ξεκινούν και σταματούν την ίδια χρονική

στιγμή σύμφωνα με τη μοντελοποίηση της φωνής που περιγράψαμε στην ενότητα 2.1.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματά του FCFS είναι τα χειρότερα από όλους τους αλγόριθμους που εξετάσαμε (πολύ χαμηλές τιμές JFI και MMFI, πολύ υψηλές τιμές SDFI και GC). Είναι κοντά στις τιμές των LSTT, LSTC και DRR αλλά κατά βάση χειρότερες. Αυτό συμβαίνει γιατί ως κριτήριο προτεραιότητας έχει μόνο την άφιξη και το deadline, οπότε κάποιος χρήστης που έχει άφιξη νωρίς και έχει μεγάλο χρονικό κενό με άλλες αφίξεις βίντεο απολαμβάνει σχεδόν άριστη εξυπηρέτηση.

6.2: Αξιολόγηση LSTT

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του LSTT.

Στο channel throughput ο LSTT τοποθετείται μεταξύ 3ης και 4ης θέσης, κατά βάση 3ης. Σε κάθε φορτίο είναι πίσω από τους WMDP, LSTC και σε περιπτώσεις φορτίων με υψηλό ποσοστό κανονικού και τηλεϊατρικού βίντεο πίσω και από τον WMMFS.

Στη μέση απώλεια φωνής ο LSTT βρίσκεται συνήθως στην 6η και δύο φορές στην 7η θέση. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι ανάλογοι με αυτούς που περιγράφηκαν παραπάνω για τον FCFS, ενώ ο LSTT είναι λίγο καλύτερος του FCFS.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο LSTT βρίσκεται συνήθως στην 3η θέση και μόνο μια φορά στην 1η. Είναι πάντα λίγο καλύτερος του FCFS, όπως και στη μέση απώλεια φωνής, γιατί όπως αποδείχτηκε ο least slack time είναι πολύ ικανοποιητικό κριτήριο προτεραιότητας και ανώτερο από αυτό του FCFS (που όπως είδαμε για τους τύπους βίντεο ομοιάζει με τον EDF), προσεγγίζοντας καλύτερα το urgency του χρήστη.

Είναι ένας συνδυασμός μεταξύ του deadline και του αριθμού των πακέτων που έχει να μεταδώσει ο χρήστης μέχρι το deadline. Έτσι μπορεί να δοθεί προτεραιότητα σε κάποιον χρήστη με μεταγενέστερο deadline αλλά με περισσότερα πακέτα προς μετάδοση, γι' αυτό και η access delay βλέπουμε να είναι αρκετά μεγάλη αλλά τα αποτελέσματα άνω του μέσου όρου. Γιατί οι χρήστες περιμένουν μεν κατά μέσο όρο περισσότερο αλλά περιμένουν με "αιτία".

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο LSTT είναι άριστος γιατί δεν υπάρχει καμία απώλεια. Μοιράζεται βέβαια την πρωτιά του με άλλους 4 αλγορίθμους, τους FCFS, LSTC, SRF και LS. Αυτό συμβαίνει για τους ίδιους ακριβώς λόγους που περιγράψαμε στην ανάλογη παράγραφο για τον FCFS.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο LSTT καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο LSTT είναι κατά μέσο όρο στην προτελευταία θέση μαζί με τους LSTC και DRR, με τα αποτελέσματα τους να είναι αρκετά κοντά σε κάθε τύπο πλην της φωνής που ο LSTC είναι ελαφρώς, αλλά ξεκάθαρα, χειρότερος.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματα του LSTT είναι στην προτελευταία θέση μαζί με τους LSTC και DRR (πολύ χαμηλές τιμές JFI και MMFI, πολύ υψηλές τιμές SDFI και GC). Είναι λίγο καλύτερος από τον FCFS γιατί έχει καλύτερο κριτήριο προσδιορισμού του urgency του κάθε χρήστη. Παρότι και στον LSTT αν κάποιος χρήστης έχει άφιξη νωρίς και μεγάλο χρονικό κενό με άλλες αφίξεις βίντεο απολαμβάνει σχεδόν άριστη εξυπηρέτηση έναντι άλλων, το φαινόμενο είναι λίγο ηπιότερο γιατί λόγω του least slack

time μπορεί να προηγηθούν σε κάποιες περιπτώσεις και χρήστες με μεταγενέστερες αφίξεις.

6.3: Αξιολόγηση LSTC

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του LSTC.

Στο channel throughput ο LSTC τοποθετείται μεταξύ 2ης και 3ης θέσης, κατά βάση 2ης. Σε κάθε φορτίο είναι πίσω από τον WMDP και μόνο σε περιπτώσεις φορτίων με υψηλό ποσοστό κανονικού και τηλεϊατρικού βίντεο είναι πίσω από τον WMMFS.

Στη μέση απώλεια φωνής ο LSTC βρίσκεται σταθερά στη 2η θέση και μάλιστα με μεγάλη απόσταση από του υπόλοιπους έξι αλγορίθμους. Αυτό συμβαίνει λόγω του συνδυασμού της χρήσης του least slack time ως κριτηρίου προτεραιότητας και της τοποθέτησης των χρηστών της κάθε ευρύτερης κατηγορίας (τηλεϊατρική - κανονική κίνηση) σε μια κοινή ουρά προς εξυπηρέτηση. Αυτός ο συνδυασμός δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες φωνής να προηγούνται των χρηστών κανονικού βίντεο στις περιπτώσεις που ο slack time τους είναι πολύ μικρός και η αναγκαιότητα να λάβουν κράτηση άμεσα είναι πολύ μεγάλη. Έτσι το πλεονέκτημα του least slack time ως κριτηρίου προτεραιότητας διευρύνεται σε μεγαλύτερο εύρος τύπων χρηστών, με ευεργετικά αποτελέσματα επειδή ο slack time των χρηστών φωνής είναι συνήθως αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν των χρηστών κανονικού βίντεο. Έτσι, οι φορές που η φωνή προηγείται του βίντεο είναι πολύ λίγες, δηλαδή όταν είναι πραγματικά αναγκαίο και η μείωση της μέσης απώλειας φωνής είναι μεγάλη χωρίς να φέρνει κατάρρευση σε άλλους τύπους.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο LSTC βρίσκεται συνήθως στην 5η θέση και μόνο μια φορά στην 4η. Είναι πάντα λίγο χειρότερος των LSTT και FCFS παρότι συνολικά είναι πιο αποδοτικός αλγόριθμος. Αυτό συμβαίνει γιατί το κέρδος που απολαμβάνει η φωνή για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω, όπως αναμενόταν, επηρεάζει αρνητικά τη μέση απώλεια του κανονικού βίντεο. Όμως αυτή η επιδείνωση είναι αναλογικά μικρότερη από το μεγάλο κέρδος που λαμβάνει χώρα στη φωνή, γιατί τις περισσότερες φορές (από τις λίγες) που το βίντεο χάνει την προτεραιότητά του έναντι της φωνής, υπάρχει το περιθώριο να συμβεί αυτό και να μεταδώσει αργότερα χωρίς απώλειες.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο LSTC είναι άριστος γιατί δεν υπάρχει καμία απώλεια. Μοιράζεται βέβαια την πρωτιά του με άλλους 4 αλγορίθμους, τους FCFS, LSTT, SRF και LS. Αυτό συμβαίνει για τους λόγους που περιγράψαμε στην ανάλογη παράγραφο για τον FCFS.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο LSTC καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο LSTC είναι κατά μέσο όρο στην προτελευταία θέση μαζί με τους LSTT και DRR με τα αποτελέσματα τους να είναι αρκετά κοντά σε κάθε τύπο πλην της φωνής που ο LSTC είναι λίγο, αλλά ξεκάθαρα, χειρότερος.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS. Στον LSTC όμως η δικαιοσύνη είναι λίγο χειρότερη γιατί οι τιμές μέσης απώλειας φωνής είναι πολύ μικρότερες, οπότε οι διαφορές όταν συμβαίνουν είναι αναλογικά μεγαλύτερες.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματα του LSTC είναι στην προτελευταία θέση μαζί με τους LSTC και DRR (πολύ χαμηλές τιμές JFI και MMFI, πολύ

υψηλές τιμές SDFI και GC). Η περιγραφή που έγινε παραπάνω στον LSTT θεωρούμε πως καλύπτει και τον LSTC.

6.4: Αξιολόγηση SRF

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του SRF.

Στο channel throughput ο SRF τοποθετείται μεταξύ 7ης και 8ης θέσης, κατά βάση 8ης. Ανταγωνίζεται με τον LS στις δύο τελευταίες θέσεις, τρεις φορές περνάει μπροστά, τέσσερις φορές μένει πίσω.

Στη μέση απώλεια φωνής ο SRF συνήθως είναι χειρότερος από τον LS και βρίσκεται σταθερά στην 4η θέση ενώ μόνο μια φορά, στο φορτίο 7, ανεβαίνει στην 3η ξεπερνώντας τον LS. Ο SRF όπως έχουμε αναφέρει διαχωρίζει πρώτα την προτεραιότητα που δίνει ανά τύπο χρήστη και κατόπιν, εντός των τύπων, χρησιμοποιεί είτε τη λογική SRF για τους δύο τύπους βίντεο, είτε αυτή του FCFS για όλους τους υπόλοιπους. Ο λόγος λοιπόν για τον οποίο οι χρήστες φωνής έχουν ικανοποιητική εξυπηρέτηση και καλύτερη από τον ίδιο τον FCFS, τον LSTT, τον DRR και τον WMMFS είναι η κακή εξυπηρέτηση και η σημαντικά υψηλότερη απώλεια του κανονικού βίντεο. Το γεγονός αυτό αφήνει περισσότερα ελεύθερα info slots τα οποία εκμεταλλεύονται οι χρήστες φωνής.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο SRF βρίσκεται συνήθως στην 7η θέση και δύο φορές στην 8η. Είναι πάντα μακριά από όλους τους αλγορίθμους πλην του LS, από τον οποίο είναι συνήθως λίγο καλύτερος, εκτός από τις περιπτώσεις με μεγάλη συμμετοχή των δύο τύπων βίντεο. Μάλιστα σε αυτές η απώλεια ξεπερνά αισθητά το 10% και το 30% αντίστοιχα, τιμές εξαιρετικά υψηλές. Η αιτία για την οποία συμβαίνει αυτό είναι ότι ο SRF επί της ουσίας δεν προσπαθεί να προσεγγίσει, έστω

και λίγο, το urgency, το πόσο επείγουσα είναι η ανάγκη του κάθε χρήστη να μεταδώσει. Με κριτήριο προτεραιότητας ουσιαστικά το όσο δυνατόν μικρότερο φορτίο, παραβλέπει τους χρήστες με μικρό περιθώριο για μετάδοση και μεγάλο φορτίο. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι παρά τις πολύ μικρές μέσες τιμές σε access και VF transmission delay (που σημαίνει ότι, λόγω της προτεραιότητας των μικρών φορτίων, σε μικρό χρονικό διάστημα μεταδίδουν πολλοί διαφορετικοί χρήστες), τελικά οι απώλειες είναι πολύ υψηλότερες γιατί κατόπιν φτάνουν οι στιγμές που έχουμε μαζικές απώλειες από χρήστες που είχαν VF με υψηλό φορτίο εκείνη τη στιγμή. Ουσιαστικά “σπαταλά” το bandwidth σε όσους το έχουν λιγότερο ανάγκη και αφήνει “ξεκρέμαστους” αυτούς που το έχουν μεγαλύτερη.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο SRF είναι άριστος γιατί δεν υπάρχει καμία απώλεια. Μοιράζεται βέβαια την πρωτιά του με άλλους 4 αλγορίθμους, τους FCFS, LSTT, LSTC και LS. Αυτό συμβαίνει για τους ίδιους ακριβώς λόγους που περιγράψαμε στην ανάλογη παράγραφο για τον FCFS.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο SRF καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο SRF είναι κατά μέσο όρο στην 4η θέση και σαφώς καλύτερος από τους FCFS, LSTT, LSTC και DRR. Δεν είναι πολύ χειρότερος από τους WMDP, LS και είναι οριακά χειρότερος από τον WMMFS.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματα του SRF είναι στην 4η θέση και πολύ ανώτερα των FCFS, LSTT, LSTC και DRR. Αυτό συμβαίνει για δύο βασικούς λόγους. Ο πρώτος είναι το κριτήριο προτεραιότητας, που δεν προσεγγίζει το urgency του κάθε χρήστη, οπότε μειώνει το πλεονέκτημα

των χρηστών βίντεο με ευνοϊκή άφιξη VF στο σύστημα, το οποίο μεγαλοποιείται από αλγορίθμους που εστιάζουν μόνο στην καλή προσέγγιση του urgency. Να θυμίσουμε ότι με τον όρο ευνοϊκή άφιξη εννοούμε άφιξη στην αρχή του channel frame και κυρίως με μεγάλο χρονικό περιθώριο από αφίξεις VF άλλων χρηστών. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι μεγαλύτερες μέσες τιμές απώλειας ομαλοποιούν, αναλογικά, τις διαφορές μεταξύ των χρηστών και τους φέρνουν συγκριτικά πιο κοντά.

6.5: Αξιολόγηση LS

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του LS.

Στο channel throughput ο LS τοποθετείται μεταξύ 6ης και 8ης θέσης, κατά μέσο όρο είναι στην 7η. Κατά βάση ανταγωνίζεται με τον SRF στις δύο τελευταίες θέσεις, τις περισσότερες φορές είναι μπροστά του και σε φορτίο με υψηλό ποσοστό φωνής ξεπερνά οριακά και τον DRR.

Στη μέση απώλεια φωνής ο LS συνήθως είναι καλύτερος από τον SRF και βρίσκεται σταθερά στην 3η θέση ενώ μόνο μια φορά, στο φορτίο 7, πέφτει στην 4η. Ο LS, όπως έχουμε αναφέρει, διαχωρίζει πρώτα την προτεραιότητα που δίνει ανά ευρύτερη κατηγορία, πρώτα η τηλεϊατρική κίνηση και μετά η κανονική κίνηση. Κατόπιν, εντός των κατηγοριών, μοιράζει τόσους λαχνούς σε κάθε χρήστη όσους ο αριθμός των πακέτων του και στο τέλος επιλέγει τυχαία ένα λαχνό. Οι λόγοι για τους οποίους ο LS συμπεριφέρεται αρκετά καλά στη φωνή είναι δύο. Ο πρώτος είναι ότι δίνει τη δυνατότητα σε χρήστες φωνής να λάβουν προτεραιότητα, έστω και λίγες φορές, πριν από χρήστες κανονικού βίντεο, κάτι που είναι ιδιαίτερα ευεργετικό για τη μείωση της απώλειας. Μπορεί να μην

προηγούνται με τον σαφή, εστιασμένο και με αιτία τρόπο που γίνεται στους LSTC και WMDP, αλλά και μόνο το γεγονός ότι έχουν αυτή τη δυνατότητα οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα. Ο δεύτερος λόγος, αν και λιγότερο σημαντικός, είναι ότι ο LS δίνει μια μικρή σημασία στο urgency και η προτεραιότητα είναι μεν τυχαία αλλά όχι εντελώς, γιατί οι χρήστες φωνής που έχουν καθυστερήσει να λάβουν κράτηση έχουν περισσότερα πακέτα (μέχρι 4), οπότε παίρνουν και περισσότερους λαχνούς.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο LS βρίσκεται συνήθως στην 8η θέση και δύο φορές στην 7η. Όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι συνήθως λίγο χειρότερος του SRF εκτός από τις περιπτώσεις με μεγάλη συμμετοχή των δύο τύπων βίντεο. Η μέση απώλεια βίντεο είναι γενικά κακή λόγω συγκεκριμένου συνδυασμού αιτιών, πιο συγκεκριμένα γιατί οποιοσδήποτε τύπος κανονικής κίνησης μπορεί ενίοτε να προηγηθεί του βίντεο, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μια επιφανειακή προσέγγιση του urgency χωρίς σοβαρά κριτήρια. Οι χρήστες βίντεο ναι μεν έχουν περισσότερους λαχνούς αλλά λόγω της τυχαίας επιλογής λαχνού μπορεί να προηγηθεί ακόμα και χρήστης email ή SMS. Επίσης ο LS μένει συνήθως πίσω και από τον SRF γιατί παρότι οι χρήστες με περισσότερα πακέτα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να μεταδώσουν δεν έχει το πλεονέκτημα της ντετερμινιστικής προτεραιότητας του βίντεο έναντι των υπόλοιπων τύπων κανονικής κίνησης που δίνει ο SRF. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι στα φορτία με υψηλή συμμετοχή κανονικού και τηλεϊατρικού βίντεο ο LS περνά μπροστά, γιατί ακόμα και η μικρή προσέγγιση του urgency που κάνει αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική σε σχέση με τον SRF που δεν κάνει καμία.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο LS είναι άριστος γιατί δεν υπάρχει καμία απώλεια. Μοιράζεται βέβαια την πρωτιά του με άλλους 4 αλγορίθμους, τους FCFS, LSTT, LSTC και SRF. Αυτό συμβαίνει για τους

ίδιους ακριβώς λόγους που περιγράψαμε στην ανάλογη παράγραφο για τον FCFS.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο LS καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο LS είναι κατά μέσο όρο στην 2η θέση και σαφώς καλύτερος από τους FCFS, LSTT, LSTC και DRR, καλύτερος από τους SRF και WMMFS και λίγο χειρότερος από τον WMDP.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματα του LS είναι στην 2η θέση και πολύ ανώτερα των FCFS, LSTT, LSTC και DRR. Αυτό συμβαίνει για τρεις λόγους. Ο πρώτος είναι ότι το κριτήριο προτεραιότητάς του δεν προσεγγίζει καλά το urgency και δίνει μεγάλο βάρος στην τυχαία επιλογή, οπότε μειώνει το πλεονέκτημα των χρηστών βίντεο με ευνοϊκή άφιξη VF στο σύστημα. Ο δεύτερος είναι ότι στον LS όλοι οι χρήστες τύπων κανονικής κίνησης είναι σε μια ουρά, επομένως η ουρά έχει πολλούς χρήστες και ένας χρήστης με ευνοϊκή άφιξη VF πολύ δύσκολα θα είναι μόνος του στην ουρά για να παίρνει σταθερά προτεραιότητα. Ο τρίτος λόγος είναι ότι οι μεγαλύτερες μέσες τιμές απώλειας ομαλοποιούν, αναλογικά, τις διαφορές μεταξύ των χρηστών και τους φέρνουν συγκριτικά πιο κοντά.

6.6: Αξιολόγηση DRR

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του DRR.

Στο channel throughput ο DRR τοποθετείται μεταξύ 6ης και 7ης θέσης και κατά βάση είναι στην 6η. Είναι σταθερά πίσω από τους WMDP, LSTC, WMMFS, LSTT και FCFS ενώ είναι σχεδόν πάντα μπροστά από τους LS και SRF.

Στη μέση απώλεια φωνής ο DRR βρίσκεται σταθερά στην 5η θέση ενώ μόνο μια φορά, στο φορτίο 1, πέφτει στην 6η. Ο DRR, όπως έχουμε αναφέρει, δουλεύει σαν ένας FCFS με “περιορισμό”. Επομένως υπάρχει απώλεια και στους δύο τύπους βίντεο (το παρατηρούμε πρώτη φορά) και βέβαια μεγαλύτερη από τον FCFS. Γι’ αυτό το λόγο ευνοείται η μετάδοση φωνής και λαμβάνει καλύτερη εξυπηρέτηση απ’ ότι στους WMMFS, LSTT και FCFS. Όμως επειδή η απώλεια των δύο τύπων βίντεο είναι σημαντικά μικρότερη από τους LS και SRF είναι λίγο χειρότερός τους στην απώλεια φωνής.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο DRR βρίσκεται πάντα στην 6η θέση. Είναι αρκετά καλύτερος από τους LS και SRF, σε κάθε περίπτωση, αλλά χειρότερος απ’ όλους τους υπόλοιπους. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι κάνει μια προσέγγιση του urgency λόγω του κριτηρίου FCFS (όμοιο με το EDF στους χρήστες βίντεο όπως αναφέρθηκε), η οποία όμως περιορίζεται από το ότι μπορεί να μην επιτραπεί η μετάδοση αν τα πακέτα είναι περισσότερα από το τρέχον deficit. Η ύπαρξη του deficit ανεβάζει την απώλεια σε σχέση με τον FCFS όμως η βασική λογική FCFS είναι τελικά ισχυρότερη και αποτελεσματικότερη από τις προσεγγίσεις των SRF και LS.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο DRR είναι ο χειρότερος με απώλειες στο εύρος 0.6% - 0.85% οι οποίες σαν τιμές δεν είναι πολύ υψηλές αλλά είναι πολύ μεγαλύτερες από το επιθυμητό και απαιτητικό 0.01% .

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο DRR καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο DRR είναι κατά μέσο όρο στην 7η θέση και κοντά στους FCFS, LSTT, LSTC.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματα του DRR είναι στην προτελευταία θέση μαζί με τους LSTT και LSTC (πολύ χαμηλές τιμές JFI και MMFI, πολύ υψηλές τιμές SDFI και GC). Είναι λίγο καλύτερος από τον FCFS γιατί ο περιορισμός του deficit ορισμένες φορές “κόβει” τους χρήστες που ευνοούνται, αλλά η ομοιότητα του αλγορίθμου με τον FCFS αφήνει πολλά περιθώρια σε χρήστες με ευνοϊκή άφιξη VF στο σύστημα να εξυπηρετηθούν σχεδόν άριστα σε βάρος άλλων. Αποδεικνύεται λοιπόν ότι ο “κόφτης” του deficit δεν είναι επαρκής για να περιορίσει την αδικία.

Στο τηλεϊατρικό βίντεο η ύπαρξη του deficit φέρνει απώλειες και, όπως και στο κανονικό βίντεο, δεν μπορεί να περιορίσει την αδικία μεταξύ των χρηστών.

6.7: Αξιολόγηση WMMFS

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του WMMFS.

Στο channel throughput ο WMMFS παρουσιάζει μεταβαλλόμενη συμπεριφορά. Ξεκινά από την 5η θέση και σταδιακά, όσο αυξάνεται το ποσοστό των δύο τύπων βίντεο στο συνολικό φορτίο, ανεβαίνει για να

φτάσει στη 2η θέση στα δύο τελευταία φορτία. Ειδικότερα στο φορτίο 7 η διαφορά του με τους έξι χειρότερους του είναι μεγάλη.

Στη μέση απώλεια φωνής ο WMMFS βρίσκεται κατά βάση στην 8η θέση και μόνο από μια φορά στην 7η και στην 5η. Κατά μέσο όρο έχει τη μεγαλύτερη απώλεια φωνής απ' όλους. Αυτό συμβαίνει λόγω της σαφώς καλύτερης εξυπηρέτησης που παρέχει σε φορτία με αισθητή συμμετοχή και των δύο τύπων βίντεο, σε σχέση με άλλους αλγόριθμους. Γι' αυτό το λόγο οι χρήστες φωνής, που εξυπηρετούνται με λογική FCFS εντός του τύπου τους και έκτοι στη σειρά από τους οκτώ συνολικά τύπους, παρουσιάζουν αισθητά μεγαλύτερες απώλειες μιας και τα διαθέσιμα slots είναι λιγότερα γι' αυτούς.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο WMMFS σε όλα τα φορτία είναι στη 2η θέση και μόνο στο φορτίο 1 πέφτει στην 5η. Αυτή η συμπεριφορά εξηγείται ως εξής. Στο φορτίο 1 υπάρχει παρουσία μόνο κανονικής κίνησης, οπότε ο WMMFS χάνει τα βασικά του πλεονεκτήματα, τα οποία φαίνονται μόνο με συμμετοχή και των δύο τύπων βίντεο. Όταν το φορτίο έχει μόνο κανονική κίνηση, τότε συμπεριφέρεται απλά ως ένας αλγόριθμος με σαφή προτεραιότητα μεταξύ των χρηστών διαφορετικών τύπων. Κάνει με λογική FCFS την ίδια μοιρασιά (γιατί έχουν ίδιο βάρος) σε όσους χρήστες κανονικού βίντεο βρίσκονται στην ουρά πριν το πρώτο τρέξιμο του αλγορίθμου στο τρέχον channel frame. Σε όσους έρχονται αργότερα προσπαθεί να δώσει full allocation, αν έχουν μείνει διαθέσιμα slots, με λογική FCFS (όμοια με EDF όπως αναφέραμε). Επομένως η απώλεια πακέτων είναι χειρότερη του FCFS λόγω του ότι σε υψηλά φορτία συνήθως οι χρήστες λαμβάνουν partial allocation σε εύρος μερικών channel frames, πράγμα που αυξάνει τη μέση απώλεια πακέτων σε σχέση με το full allocation που λαμβάνει χώρα σε ένα channel frame.

Η συμπεριφορά του WMMFS βελτιώνεται όταν έχουμε συμμετοχή στο φορτίο και των δύο τύπων βίντεο ειδικά όσο αυτή μεγαλώνει τα πλεονεκτήματα του WMMFS γίνονται πιο εμφανή. Το πρώτο από αυτά είναι ότι δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες κανονικού βίντεο να εξυπηρετηθούν ισότιμα, όσον αφορά τη χρονική προτεραιότητα, με αυτούς του τηλεϊατρικού βίντεο τοποθετώντας τους στην ίδια λίστα με λογική FCFS. Το δεύτερο είναι το πολύ μεγαλύτερο βάρος που τους παρέχει κατά τη μοιρασιά. Ουσιαστικά ο WMMFS έχει τρόπο, έστω και αρκετά στατικό, χωρίς να επικεντρώνεται ιδιαίτερα στο τρέχον urgency του κάθε χρήστη, να διαχειρίζεται τη μεγάλη ανεκτικότητα (δείτε ενότητα 6.1) του τηλεϊατρικού βίντεο για τη βελτίωση της εξυπηρέτησης του κανονικού βίντεο. Ειδικά όταν η συμμετοχή του τηλεϊατρικού βίντεο είναι υψηλή, στους αλγορίθμους που του δίνουν ντετερμινιστική προτεραιότητα υπάρχει κατάρρευση στην εξυπηρέτηση του κανονικού βίντεο, μικρότερη ή μεγαλύτερη ανάλογα με την προσέγγιση του urgency. Η μη ντετερμινιστική εξυπηρέτηση του τηλεϊατρικού βίντεο στον WMMFS αποδεικνύεται εξαιρετικά σημαντική.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο WMMFS είναι ο δεύτερος από το τέλος, με απώλειες στο εύρος 0.1% - 0.3%, οι οποίες σαν τιμές είναι αρκετά χαμηλές αλλά πολύ μεγαλύτερες από το επιθυμητό 0.01% . Ο λόγος που υπάρχει απώλεια είναι ότι δεν υπάρχει ντετερμινιστική προτεραιότητα του τηλεϊατρικού βίντεο.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο WMMFS καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο WMMFS είναι κατά μέσο όρο στην 3η θέση, λίγο καλύτερος από τον SRF και χειρότερος από τους LS και WMDP. Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS.

Στο κανονικό βίντεο τα αποτελέσματα του WMMFS όσον αφορά τη δικαιοσύνη είναι στην 3η θέση και πολύ ανώτερα των FCFS, LSTT, LSTC και DRR. Αυτό συμβαίνει κατά βάση για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι κάνει μοιρασιά των διαθέσιμων slots σε όλους τους χρήστες που είναι στην ουρά κατά την πρώτη κλήση του αλγορίθμου. Έτσι μειώνει το πλεονέκτημα των χρηστών βίντεο με ευνοϊκή άφιξη VF στο σύστημα και διανέμει πιο δίκαια τους πόρους, έστω και αν αυτό είναι εις βάρος της μέσης απώλειας πακέτων λόγω του partial allocation που δύναται να συμβεί. Ο δεύτερος είναι ότι στον WMMFS όλοι οι χρήστες των δύο τύπων βίντεο είναι σε μια ουρά, επομένως η ουρά έχει πολλούς χρήστες και ένας χρήστης με ευνοϊκή άφιξη VF πολύ δύσκολα θα είναι μόνος του στην ουρά για να παίρνει σταθερά προτεραιότητα.

Στο τηλεϊατρικό βίντεο η συμπεριφορά της δικαιοσύνης είναι ανάλογη με του κανονικού για τους ίδιους λόγους, δηλαδή δεν είναι εξίσου καλή όπως στους FCFS, LSTT, LSTC, SRF και LS οι οποίοι δεν παρουσιάζουν καμία απώλεια και επομένως έχουν άριστη δικαιοσύνη.

6.8: Αξιολόγηση WMDP

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενοτήτων 5.2.1-5.2.8 συμπεραίνουμε τα εξής για τη λειτουργία του WMDP.

Στο channel throughput ο WMDP είναι σε κάθε φορτίο ξεκάθαρα στην 1η θέση και ειδικά σε φορτία με υψηλή συμμετοχή των δύο τύπων βίντεο η διαφορά μεγαλώνει σημαντικά. Είναι ο μόνος από τους αλγορίθμους που σε κάθε ένα από τα επτά φορτία καλύπτει τις απαιτήσεις QoS κάθε τύπου, και μόνο ένας από τους τύπους (συνήθως το κανονικό βίντεο) φτάνει στα όρια των QoS απαιτήσεων του.

Στη μέση απώλεια φωνής ο WMDP βρίσκεται πάντοτε στην 1η θέση με πολύ χαμηλές τιμές που φτάνουν το πολύ μέχρι το 0.16 % ενώ ο μόνος αλγόριθμος που τον πλησιάζει είναι ο LSTC. Αυτό συμβαίνει γιατί οι χρήστες φωνής έχουν τη δυνατότητα να προηγηθούν ορισμένες φορές ακόμα και από τους χρήστες κανονικού ή τηλεϊατρικού βίντεο, μιας και όπως έχουμε πει βρίσκονται όλοι στην ίδια ουρά. Το ακόμα πιο σημαντικό είναι ότι αυτό θα συμβεί μόνο σε περιπτώσεις όπου το urgency είναι πολύ μεγάλο και υπό την προϋπόθεση ότι ο χρήστης δεν έχει πολύ μικρό degradation. Μάλιστα η προσέγγιση του urgency του κάθε χρήστη αποδείχθηκε λίγο καλύτερη του least slack time, όπως θα δούμε παρακάτω.

Στη μέση απώλεια κανονικού βίντεο ο WMDP είναι σε όλα τα φορτία στην 1η θέση πλην του φορτίου 1, που πέφτει στην 3η, αλλά όχι πολύ μακριά από την καλύτερη τιμή. Αυτή η συμπεριφορά εξηγείται ως εξής. Στο φορτίο 1 υπάρχει παρουσία μόνο κανονικής κίνησης, οπότε ο WMDP χάνει λίγο από το μεγάλο του πλεονέκτημα, που είναι η εστιασμένη και με συγκεκριμένες αιτίες παραχώρηση προτεραιότητας στους χρήστες εντός της ομάδας των τριών “δύσκολων” τύπων, ώστε να μη σπαταλούνται πόροι λόγω ντετερμινιστικής παραχώρησης προτεραιότητας εκεί που δε χρειάζεται. Η συνολική απώλεια πακέτων στο φορτίο 1 είναι μικρότερη από τους υπόλοιπους αλγορίθμους αλλά η απουσία του τηλεϊατρικού βίντεο μειώνει τη διαφορά υπέρ του WMDP στην ποιότητα εξυπηρέτησης και το κανονικό βίντεο μένει λίγο πίσω την ώρα που η φωνή εξυπηρετείται πολύ καλύτερα από τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Στα υπόλοιπα φορτία και όσο αυξάνεται η συμμετοχή των δύο τύπων βίντεο η εστιασμένη παραχώρηση προτεραιότητας δίνει μεγάλες “ανάσες” στο σύστημα με πολύ ευεργετικά αποτελέσματα, που οδηγούν συχνά σε μεγάλες διαφορές υπέρ του WMDP.

Στη μέση απώλεια τηλεϊατρικού βίντεο ο WMDP είναι στην 6η θέση, η οποία δεν είναι όσο άσχημη φαίνεται με την πρώτη ματιά. Αυτό γιατί σε όλα τα φορτία, πλην του φορτίου 7, η απώλεια πακέτων τηλεϊατρικού βίντεο είναι χαμηλότερη από το πολύ αυστηρό όριο των QoS απαιτήσεων που είναι 0.01 %, ενώ στο φορτίο 7 είναι ακριβώς στο όριο. Ουσιαστικά έχουμε μια υποβάθμιση του τηλεϊατρικού βίντεο (λόγω μη ντετερμινιστικής προτεραιότητας), τόση ώστε να είναι πολύ μικρή και να μην ξεπερνά τα απαιτούμενα όρια.

Όσον αφορά τους 5 υπόλοιπους τύπους κίνησης, οι οποίοι απαιτούν μετάδοση χωρίς απώλειες, σε κάθε περίπτωση φορτίου ο WMDP καλύπτει όλες τις απαιτήσεις QoS.

Αξίζει να αναφέρουμε μερικές λεπτομέρειες ακόμα. Στο φορτίο 1 (μόνο κανονική κίνηση) παρατηρούμε ότι ο LSTC δεν είναι πολύ μακριά από τον WMDP. Αυτό συμβαίνει γιατί στην κανονική κίνηση ο LSTC, όπως και ο WMDP, δε δίνει ντετερμινιστική προτεραιότητα στο κανονικό βίντεο έναντι της φωνής και ταυτόχρονα το κριτήριο επιλογής χρήστη από την κοινή ουρά δίνει προτεραιότητα στη φωνή μόνο όταν είναι μεγάλη ανάγκη. Όμως το κριτήριο του least slack time αποδεικνύεται λίγο χειρότερο από το όσο το δυνατόν μεγαλύτερο $P = D * U$ που έχει ως κριτήριο ο WMDP.

Αυτό εξηγείται αν θυμηθούμε ότι ο slack time είναι ο χρόνος που θα απομείνει μέχρι την προθεσμία (deadline) ενός χρήστη αφού λάβει χώρα η πλήρης μετάδοση πληροφορίας, δεδομένου ότι η μετάδοση θα ξεκινήσει τώρα. Από την άλλη το U (urgency) του WMDP εστιάζει όχι στο χρόνο αλλά στον αριθμό των διαθέσιμων slots που θα απομείνουν από το τέλος της μετάδοσης μέχρι και το deadline. Αυτή είναι ακόμα καλύτερη προσέγγιση της ανάγκης που έχει κάθε χρήστης για μετάδοση, γιατί στην περίπτωση του least slack time δε λαμβάνεται υπόψη ότι στο χρονικό διάστημα που υπολογίζει μπορεί να είναι όλα ή τα περισσότερα

slots ήδη σε κράτηση για άλλους χρήστες. Οπότε μπορεί κάποιος χρήστης με μεγαλύτερο slack time από κάποιον άλλο να έχει τελικά μεγαλύτερο U γιατί η διαφορά των διαθέσιμων slots, μέχρι το deadline, από τα πακέτα που έχει προς μετάδοση μπορεί να είναι μικρότερη από του χρήστη με το μικρότερο slack time.

Συνεπώς, ένας αλγόριθμος που θα έβαζε σε κοινή ουρά το τηλεϊατρικό βίντεο, το κανονικό βίντεο και τη φωνή με κριτήριο προτεραιότητας το slack time θα έδινε ανταγωνιστικά αποτελέσματα στις μέσες τιμές απωλειών σε σχέση με τον WMDP αλλά λίγο χειρότερα, λόγω του πλεονεκτήματος του τελευταίου, στον προσδιορισμό του urgency.

Τέλος, στη δικαιοσύνη ο WMDP είναι κατά μέσο όρο στην 1η θέση, με δεύτερο τον LS.

Στη φωνή η δικαιοσύνη που παρέχεται είναι αρκετά υψηλή σε όλους τους αλγορίθμους για τους λόγους που περιγράψαμε στον FCFS. Όμως η χρήση του $P = D * U$ και στους χρήστες φωνής δίνει μια σαφή αύξηση της ήδη καλής δικαιοσύνης που παρέχεται από τους υπόλοιπους αλγορίθμους.

Στη δικαιοσύνη για το κανονικό βίντεο ο WMDP είναι στην 1η θέση. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Ο πρώτος έχει ήδη αναφερθεί και είναι η ύπαρξη του D (degradation) στον υπολογισμό $P = D * U$. Ο δεύτερος είναι ότι στον WMDP όλοι οι χρήστες των τριών “δύσκολων” τύπων είναι σε μια ουρά, επομένως η ουρά έχει πολλούς χρήστες και ένας χρήστης με ευνοϊκή άφιξη VF πολύ δύσκολα θα είναι μόνος του στην ουρά για να παίρνει σταθερά προτεραιότητα.

Στο τηλεϊατρικό βίντεο η συμπεριφορά της δικαιοσύνης είναι ανάλογη με του κανονικού για τους ίδιους λόγους, δηλαδή είναι πολύ ικανοποιητική αλλά, υπολείπεται των FCFS, LSTT, LSTC, SRF και LS οι οποίοι δεν παρουσιάζουν καμία απώλεια και επομένως έχουν άριστη δικαιοσύνη.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα - Προτάσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφέρουμε συνοπτικά τα βασικά συμπεράσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας, όπως και προτάσεις για μελλοντικές εργασίες.

7.1: Συμπεράσματα

Μετά από την εφαρμογή, δοκιμή και αξιολόγηση οκτώ αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού στο σύστημά μας τα βασικά και πιο σημαντικά συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

1. Στις περιπτώσεις τύπων κίνησης που “αντέχουν” να έχουν απώλεια πακέτων, δεν πρέπει να δίνεται ντετερμινιστική προτεραιότητα σε κάθε τύπο ξεχωριστά από τους άλλους. Δηλαδή δεν είναι αποδοτικό και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να γίνει καταστροφικό, όσον αφορά τις μέσες απώλειες, όταν ένας χρήστης μπορεί να προηγείται έναντι ενός άλλου με μόνο κριτήριο τον τύπο δεδομένων στον οποίο ανήκει. Χρήστες που δεν έχουν ανάγκη για άμεση μετάδοση πληροφορίας σπαταλούν πόρους και τους στερούν από χρήστες που μπορεί να έχουν πολύ μεγάλη ανάγκη. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό οι τύποι χρηστών που δύνανται να υποστούν απώλεια να μπαίνουν σε μια κοινή ουρά και να λαμβάνουν προτεραιότητα με βάση στοχευμένα κριτήρια.
2. Το βασικότερο κριτήριο προτεραιότητας σε περιπτώσεις όπως η προαναφερθείσα πρέπει να είναι το urgency του κάθε χρήστη τη δεδομένη στιγμή, δηλαδή το πόσο μεγάλη ανάγκη έχει αυτός για άμεση μετάδοση πληροφορίας. Ο όσο το δυνατόν καλύτερος

προσδιορισμός του urgency είναι βαρύνουσας σημασίας, ειδικά όταν αυτός είναι ένας βασικός παράγοντας που ρυθμίζει την προτεραιότητα σε μια ουρά με χρήστες διαφορετικών τύπων. Αν ο προσδιορισμός του δεν είναι κατάλληλος, τότε η επιλογή τοποθέτησης χρηστών διαφορετικών τύπων σε κοινή ουρά (πρώτο συμπέρασμα) δε γίνεται να δείξει τα πλεονεκτήματά της.

3. Πρέπει να υπάρχει ένα κριτήριο που να εξετάζει όχι μόνο το πόσο αναγκαίο είναι να μεταδώσει κάποιος αλλά και πόσο δίκαιο είναι αυτό. Πιστεύουμε ότι αυτό το κριτήριο πρέπει να βασίζεται στο degradation δηλαδή στο πόσο υποβαθμισμένη είναι η εξυπηρέτηση που έχει λάβει ο χρήστης μέχρι εκείνη τη στιγμή. Διαπιστώσαμε ότι η καλύτερη προσέγγιση της υποβάθμισης γίνεται μέσω της ποσοστιαίας απώλειας πακέτων. Σε περιπτώσεις που τα δύο πρώτα συμπεράσματα έχουν ήδη εφαρμοστεί, τα οφέλη εφαρμογής αυτού του κριτηρίου είναι πολύ μεγάλα στη δικαιοσύνη που λαμβάνει ο κάθε χρήστης με αναλογικά πολύ μικρό κόστος στην επιδείνωση των μέσων όρων απώλειας πακέτων.
4. Είναι χρήσιμο να εισάγεται μηχανισμός που να προσπαθεί να φέρει την εξυπηρέτηση των διαφορετικών τύπων χρηστών στην επιθυμητή αναλογία με βάση τις απαιτήσεις QoS που έχουν τεθεί. Ακόμα και αν έχουν εφαρμοστεί με αποδοτικό τρόπο τα παραπάνω τρία συμπεράσματα, μπορεί κάποιος τύπος χρηστών να εξυπηρετείται, κατά βάση, αισθητά καλύτερα από τις απαιτήσεις QoS του ενώ κάποιος άλλος, που έχει πολύ πιο αυστηρές απαιτήσεις, να τις ξεπερνά. Ένας τέτοιος μηχανισμός πρέπει να προσπαθεί να αυξήσει τεχνητά την προτεραιότητα στον τύπο που ξεπερνά τις απαιτήσεις QoS του και αν είναι δυνατόν να φέρει την

εξυπηρέτηση του εντός αυτών. Την ίδια στιγμή ο τύπος χρηστών που έχει περιθώριο, μπορεί να φτάσει μέχρι τα όρια των απαιτήσεων QoS του. Για παράδειγμα, στη δικιά μας εργασία ένας τέτοιος μηχανισμός εφαρμόστηκε στον WMDP με τον πολλαπλασιασμό του U, των χρηστών τηλεϊατρικού βίντεο, με τον αριθμό 200.

5. Είναι πολύ σημαντικό να γίνεται προσπάθεια να εξυπηρετηθούν άμεσα οι χρήστες βίντεο, αντί να περιμένουν μέχρι την έναρξη του επόμενου channel frame από την άφιξη του VF τους.
6. Σχετικά με τις περιπτώσεις τύπων χρηστών που έχουν πολλά πακέτα για μετάδοση και δύνανται να υποστούν απώλεια αυτών, κάθε φορά που ένας χρήστης έχει προτεραιότητα είναι προτιμότερο να γίνεται προσπάθεια να λάβει full allocation και η μόνη περίπτωση να μη γίνει αυτό να είναι όταν δεν φτάνουν τα διαθέσιμα slots μέχρι το τέλος του τρέχοντος channel frame. Σε περιπτώσεις που μοιράζονται slots σε πολλούς χρήστες και συνήθως συμβαίνει partial allocation ανά μοιρασιά διαπιστώσαμε ότι η μέση απώλεια αυξάνεται, γιατί παραβιάζεται έμμεσα το κριτήριο του urgency.

7.2: Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Με βάση την εμπειρία που αποκτήσαμε κατά τη δημιουργία αυτής της διπλωματικής εργασίας παραθέτουμε μερικές προτάσεις για μελλοντικές εργασίες και περαιτέρω βελτίωση-εξέλιξη της παρούσας.

Η πρώτη πρότασή μας είναι να γίνει προσπάθεια για καλύτερο ορισμό και προσέγγιση του urgency του κάθε χρήστη. Να θυμίσουμε ότι

στον WMDP η προσέγγιση του urgency περιλαμβάνει τη μέτρηση των κενών info slots μέχρι το deadline. Ο υπολογισμός θεωρεί ως κενά όλα τα info slots των μελλοντικών channel frames πλην του τρέχοντος. Δηλαδή αν το deadline τοποθετείται χρονικά σε επόμενο channel frame τότε μετριοούνται τα εναπομείναντα κενά info slots του τρέχοντος channel frame και προστίθενται σε αυτά όλα τα info slots των επόμενων channel frames μέχρι του σημείου του deadline. Οπότε αν ο χρήστης φτάσει στο channel frame που έχει deadline, τα κενά info slots μέχρι αυτό είναι μετρημένα με ακρίβεια ενώ, αν το deadline είναι σε επόμενο channel frame, η μέτρηση δεν είναι ακριβής. Είναι πολύ σημαντικό όσο πλησιάζει ο χρήστης στο deadline να υπάρχει ακριβής γνώση των διαθέσιμων πόρων, πράγμα που ήδη πράττουμε.

Πιστεύουμε όμως ότι μία όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των κενών info slots των μελλοντικών channel frames μέχρι το deadline αξίζει να διερευνηθεί και για το πόσο αξιόπιστη μπορεί να είναι και για το πόσο ευεργετικά αποτελέσματα μπορεί να έχει στο σύστημα. Με βάση τη γνώση των χαρακτηριστικών κάθε τύπου κίνησης πιστεύουμε ότι μπορεί να γίνει μια αρκετά καλή εκτίμηση για το πόσα από τα info slots που είναι δεσμευμένα στο παρόν channel frame θα παραμείνουν δεσμευμένα και στα επόμενα channel frames. Μπορεί να γίνει επίσης εκτίμηση για το ποιές νέες ανάγκες θα προκύψουν από χρήστες που προηγούνται, αν υπάρχουν τέτοιοι, των βίντεο χρηστών, π.χ. τα υπόλοιπα ήδη τηλεϊατρικής κίνησης.

Η δεύτερη πρόταση έχει να κάνει με το μηχανισμό δικαιοσύνης. Εμείς χρησιμοποιήσαμε το degradation σε γινόμενο με το urgency και ως degradation ορίσαμε την ποσοστιαία απώλεια πακέτων του χρήστη μέχρι εκείνη τη στιγμή. Έχει ενδιαφέρον να διερευνηθούν εναλλακτικές για τον ορισμό του degradation που ίσως είναι ακόμα πιο αποδοτικές στην απόδοση δικαιοσύνης. Επίσης μπορεί να αναθεωρηθεί πλήρως η βασική

λειτουργία του μηχανισμού. Δηλαδή να προταθεί μια εντελώς διαφορετική λογική από το γινόμενο $urgency * degradation$ που να μπορεί να διαχειρίζεται καλύτερα αυτές τις δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις, στις οποίες πρέπει να ανταπεξέλθει ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού του συστήματός μας. Για παράδειγμα ο σταθμός βάσης, που μπορεί να γνωρίζει πότε ένας χρήστης βίντεο έχει νέα άφιξη VF, μπορεί να λαμβάνει υπόψη αυτή τη γνώση και να τη συνδυάζει με τη γνώση των VF αφίξεων άλλων χρηστών ώστε να κάνει μια αξιολόγηση για το πόσο ευνοημένος ή μη είναι ο χρήστης με βάση τους χρόνους άφιξης του τρέχοντος VF του.

7.3: Επίλογος

Μέσα από αυτήν τη διπλωματική εργασία προσπαθήσαμε να προσεγγίσουμε τη λειτουργία και να αξιολογήσουμε την απόδοση αρκετών αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού στο σύστημά μας.

Παράλληλα, σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε έναν δικό μας αλγόριθμο για την όσο το δυνατόν αποδοτικότερη και δικαιότερη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Δείξαμε πως ο αλγόριθμός μας, WMDP, έχει συνολικά τις καλύτερες επιδόσεις σε μια σειρά από μετρικές συγκρινόμενος με επτά αλγορίθμους της βιβλιογραφίας.

Τέλος πιστεύουμε πως σημαντική συνεισφορά της εργασίας μας είναι ότι μέσα από την όλη διαδρομή οδηγηθήκαμε στα παραπάνω (ενότητα 7.1) χρήσιμα συμπεράσματα. Αυτά αφορούν γενικότερα τους αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού για χρήση τους σε παρόμοιου τύπου MAC πρωτόκολλα τα οποία καλούνται να εξυπηρετήσουν πολλούς διαφορετικούς τύπους κίνησης.

Βιβλιογραφία

- [1] Y. Chu and A. Ganz, "A Mobile Teletrauma System Using 3G Networks," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 8, no. 4, pp. 456-462, 2004.
- [2] D. A. Perednia and A. Allen, "Telemedicine Technology and Clinical Applications," *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, vol. 273, no. 6, pp. 483-488, 1995.
- [3] J. R. Gallego, A. Hernandez-Solana, M. Canales, J. Lafuente, A. Valdovinos and J. Fernandez-Navajas, "Performance Analysis of Multiplexed Medical Data Transmission for Mobile Emergency Care over the UMTS Channel," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 9, no. 1, pp. 13-22, 2005.
- [4] A. Bhargava, M. F. Khan and A. Ghafoor, "QoS Management in Multimedia Networking for Telemedicine Applications," *Proceedings of the IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems*, pp. 39-42, 2003.
- [5] B. Tulu, S. Chatterjee and S. Laxminarayan, "A Taxonomy of Telemedicine Efforts with Respect to Applications, Infrastructure, Delivery Tools, Type of Setting and Purpose,," *Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 2005.
- [6] S. Voskarides, C. S. Pattichis, R. Istepanian, C. Michaelides and C. N. Schizas, "Practical Evaluation of GPRS use in a Telemedicine System in Cyprus," *Proceedings of the 4th IEEE International EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, pp. 39-42, 2003.
- [7] S. Garawi, R. S. H. Istepanian and M. A. Abu-Rgheff, "3G Wireless Communications for Mobile Robotic Tele-Ultrasonography Systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 4, pp. 91-96, 2006.
- [8] E. A. V. Navarro, J. F. N. J. R. Mas and C. P. Alcega, "Performance of a 3G-Based Mobile Telemedicine System," *Proceedings of the IEEE*

Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp. 1023-1027, 2006.

- [9] C. H. Salvador, M. P. Carrasco, M. A. G. d. Mingo, A. M. Carrero, J. M. Montes, L. S. Martin, M. A. Caverio, I. F. Lozano and J. L. Monteagudo, "Airmed-Cardio: A GSM and Internet Services-Based system for Out-of-Hospital Follow-up of Cardiac Patients," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 9, pp. 73-85, 2005.
- [10] S. Pavlopoulos, E. Kyriacou, A. Berler, S. Dembeyiotis and D. Koutsouris, "A Novel Emergency Telemedicine System Based on Wireless Communication Technology - AMBULANCE," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 2, no. 4, pp. 261-267, 1998.
- [11] C. Y. Huang and S. G. Miaou, "Transmitting SPIHT Compressed ECG Data over a Next-Generation Mobile Telecardiology Testbed," *Proceedings of the 23rd IEEE International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, 2001.
- [12] F. Hu and S. Kumar, "QoS Considerations in Wireless Sensor Networks for Telemedicine," *Proceedings of SPIE ITCOM Conference*, 2003.
- [13] I. E. Lamprinos, A. Prentza, E. Sakka and D. Koutsouris, "A Low Power Medium Access Control Protocol for Wireless Medical Sensor Networks," *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2004.
- [14] N. Challa, H. Çam and M. Sikri, "Secure and Efficient Data Transmission over Body Sensor and Wireless Networks," *EURASIP J. Wireless Comm. and Networking*, 2008.
- [15] C. Chigan and V. Oberoi, "QoS Provisioning in Sensor Enabled Telemedicine Networks," *IJHISI*, pp. 12-30, 2007.
- [16] P. Malindi, "Methods for providing rural telemedicine with quality video transmission," *Cape Peninsula University of Technology (CPUT) - Theses & Dissertations - paper 243*, 2007.
- [17] P. Koutsakis, S. Psychis and M. Paterakis, "Integrated Wireless Access for Videoconference from MPEG-4 and H.263 video coders

with Voice, Email and Web traffic," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 54, pp. 1863-1874, 2005.

- [18] L. Qiao and P. Koutsakis, "Adaptive Bandwidth Reservation and Scheduling for Efficient Wireless Telemedicine Traffic Transmission," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 2, pp. 632-643, 2011.
- [19] T. Kouskouli and P. Koutsakis, "Scheduling for Efficient Telemedicine Traffic Transmission over Next Generation Cellular Networks," *Modeling and Optimization in Science and Technologies*, vol. 3: Resource Management in Mobile Computing Environments, pp. 399-418, 2014.
- [20] F. H. P. Fitzek and M. Reisslein, "MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation," *IEEE Network*, vol. 15, no. 6, pp. 40-54, 2001.
- [21] C.-F. Tsai, C.-J. Tsang, F.-C. Ren and C.-M. Yen, "Adaptive Radio Resource Allocation for Downlink OFDMA/SDMA Systems," *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2007.
- [22] E. C. Baig, "Will Consumers Tune in to a Tiny TV in their hand?," [Online]: http://www.usatoday.com/tech/wireless/2006-08-17-mobile-tv_x.htm, 2006.
- [23] S. Nanda, D. J. Goodman and p. 5. 1. U. Timor Vol. 40, "Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, pp. 584-598, 1991.
- [24] Q. Pang, A. Bigloo, V. C. M. Leung and C. Scholefield, "Service Scheduling for General Packet Radio Service Classes," *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 1999.
- [25] ETSI, "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Technical Realization of the Short Message Service (SMS); Point-to-Point (PP). (GSM 03.40)".
- [26] [Online]. Available: <http://www.heitec.sk/EN/xml/heikon.htm>.
- [27] A. C. Cleary and M. Paterakis, "An investigation of Stack Based Algorithms for Voice Packet Transmission in Microcellular Wireless

Environments," *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1995.

- [28] E. N. Gilbert, "Capacity of a Burst-noise Channel," *Bell System Technical Journal*, vol. 39, pp. 1252-1265, 1960.
- [29] E. O. Elliot, "Estimates of Error Rates for Codes on Burst-Noise Channels," *Bell Labs Technical Journal*, vol. 42, pp. 1977-1997, 1963.
- [30] A. Willig, "A New Class of Packet- and Bit-level Models for Wireless Channels," *Proceeding of the 13th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, 2002.
- [31] H. S. Wang and N. Moayeri, "Finite State Markov Channel - A Useful Model for Radio Communications Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 163-171, 1995.
- [32] M. Hassan, M. M. Krunz and I. Matta, "Markov-based Channel Characterization for Tractable Performance Analysis in Wireless Packet Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 3, no. 3, pp. 821-831, 2004.
- [33] M. Bottigligo, C. Casetti, C. F. Chiasserini and M. Meo, "Short-term Fairness for TCP flows in 802.11b WLANs," *Proceedings of IEEE Infocom*, 2004.
- [34] M. Hwang, D. Choi and P. Kim, "Least Slack Time Rate First: an Efficient Scheduling Algorithm for Pervasive Computing Environment," *Journal of Universal Computer Science*, vol. 17, no. 6, pp. 912-925, 2011.
- [35] [Online]. Available: <http://www.moreprocess.com/process-2/shortest-job-first-sjf-shortest-remaining-time-next-srtn-scheduling-algorithm>.
- [36] [Online]. Available: <https://people.eecs.berkeley.edu/~brewer/cs262/Lec-scheduling.pdf>.
- [37] C. A. Waldspurger and W. E. Weihl, "Lottery Scheduling: Flexible Proportional-Share Resource Management," *MIT Laboratory for Computer Science*, 1995.

- [38] M. Shreedhar and G. Varghese, "Efficient Fair Queuing Using Deficit Round-Robin," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 4, no. 3, pp. 375-385, 1996.
- [39] N. Doulamis, A. Doulamis, E. Varvarigos and T. Varvarigou, "Fair Scheduling Algorithms in Grids," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 18, no. 11, pp. 1630-1648, 2007.
- [40] R. Jain, *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*, New York: Wiley- Interscience, 1991.
- [41] [Online]. Available:
<http://mathworld.wolfram.com/GiniCoefficient.html>.