

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

Π. Κασαπίδης*, Κ. Βασιλάκης*, Μ. Νικολαΐδου*, Π. Γεωργιάδης*, Γρ. Βότσης**, Ν. Πρόνιος**

* Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Πληροφορικής
Κτίρια ΤΥΠΑ
Πανεπιστημιούπολις 157 71

** ΙΝΤΡΑΚΟΜ Α.Ε.
Τμήμα Αναπτυξιακών Προγραμμάτων
190 02 Παιανία
Αττική

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επερχόμενη χρήση των εφαρμογών πολυμέσων θα απαιτήσει μεγάλη υπολογιστική ισχύ και υψηλές επιδόσεις από το δίκτυο επικοινωνίας. Με δεδομένη τη βελτίωση των φυσικών μέσων μετάδοσης, ανάλογη πρόοδος πρέπει να σημειωθεί και στα πρωτόκολλα που υλοποιούν τα ανώτερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι απαιτήσεις που οι εφαρμογές πολυμέσων έχουν από το δίκτυο που τις υποστηρίζει και επιχειρείται η αντιστοιχία τους με τις υπηρεσίες που ένα πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς καλείται να προσφέρει. Παρουσιάζονται εν συντομία τέσσερα γνωστά πρωτόκολλα (TCP, TP4, VMTP, HSTP/XTP) και εξετάζεται συγκριτικά η επάρκεια των μηχανισμών που διαθέτουν σε ότι αφορά την υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων. Συμπερασματικά, χρειάζεται πρόσθετη ερευνητική προσπάθεια στον τομέα των πρωτοκόλλων του επιπέδου μεταφοράς, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι υψηλές επιδόσεις, που είναι αναγκαίες για την εξυπηρέτηση των εφαρμογών πολυμέσων.

COMPARATIVE STUDY OF TRANSPORT LAYER PROTOCOLS FOR MULTIMEDIA APPLICATIONS

ABSTRACT

The forthcoming use of multimedia applications will require powerful computers and high performance networks. While great progress has been made to the physical layer of networks, the upper software layers of the OSI reference model have not kept up pace with them. This paper presents the demands imposed by multimedia applications on the underlying networks and their mapping to the transport layer services, that protocols implementing it must provide. Four well known transport layer protocols are briefly presented (TCP, TP4, VMTP, HSTP/XTP). The mechanisms employed by each one of those are studied and their suitability for demanding multimedia environments are evaluated. We conclude that much more effort needs to be made on the transport layer protocols so that high performance networks architectures will be available to fulfill the diverse requirements of tomorrow's multimedia applications.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απαίτηση για διάχυση της πληροφορίας προβάλλει επιτακτική και η ανάγκη για νέους τρόπους καταχώρησης, επεξεργασίας και μετάδοσής της δεν ικανοποιείται πλήρως με τους συμβατικούς τρόπους αναπαράστασης. Χρειάζεται μεγαλύτερη "συμπύκνωση" της διαθέσιμης πληροφορίας που επιτυγχάνεται με τη γενικευμένη χρήση της τεχνολογίας πολυμέσων (multimedia technology). Περιβάλλοντα όπου φωνή, κείμενο, αριθμητικά δεδομένα και γραφικά πλαισιωμένα από ήχο και εικόνα (audio & video) είναι αυτά που θα επικρατήσουν. Τα γραφικά περιβάλλοντα

τείνουν να γίνουν καθημερινή πρακτική στους σταθμούς εργασίας και στους προσωπικούς υπολογιστές.

Αν και οι εφαρμογές πολυμέσων βρίσκονται στα αρχικά τους στάδια, έχει σημειωθεί αξιοσημείωτη πρόοδος και αρκετές απ' αυτές βρίσκονται σε εξέλιξη, όπως συστήματα επεξεργασίας εικονο-εγγράφων (document-image processing), συστήματα μάθησης εξ' αποστάσεως (distance learning systems) και τηλεδιάσκεψη (videoconferencing) [1]. Οι εφαρμογές πολυμέσων απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ αλλά και σημαντική βελτίωση στην αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα των δικτύων υπολογιστών. Η απαίτηση αυτή προκύπτει από τον αυξανόμενο όγκο διακινούμενης πληροφορίας και τον εγγενή χρονικό χαρακτήρα των εφαρμογών πολυμέσων.

Με δεδομένες τις εξελίξεις στο φυσικό επίπεδο (ταχύτερα μέσα με λιγότερα λάθη στην μετάδοση), (FDDI, B-ISDN, frame relay), γίνεται όλο και πιο φανερή η έλλειψη αντίστοιχης προόδου στα πρωτόκολλα επικοινωνίας των ανωτέρων επιπέδων. Η σχεδίαση των πρωτοκόλλων έγινε, θεωρώντας ότι το φυσικό μέσο είναι δίκτυα μέσης (LANs) και χαμηλής ταχύτητας (μισθωμένες γραμμές) που παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς σφαλμάτων [2].

Το επίπεδο μεταφοράς του OSI είναι πολύ σημαντικό, διότι εξασφαλίζει την ακεραιότητα (integrity) των ανταλασσομένων πληροφοριών μεταξύ των τελικών άκρων επικοινωνίας (end systems). Παράλληλα, θα πρέπει να προσφέρει όλες τις απαραίτητες υπηρεσίες, απελευθερώνοντας την εφαρμογή από τη διαχείριση της επικοινωνίας, ενώ ταυτόχρονα να αξιοποιεί κατά το βέλτιστο τρόπο την απόδοση και τα χαρακτηριστικά του δικτυακού υποστρώματος. Όπως θα αναδειχτεί στη συνέχεια, οι εφαρμογές πολυμέσων απαιτούν μια συνθετότερη αντιμετώπιση της διαχείρισης επικοινωνίας και ταυτόχρονα η έννοια της ακεραιότητας των ανταλασσομένων πληροφοριών μπορεί να αναθεωρηθεί.

Στην παρούσα εργασία θα προβούμε στη συγκριτική παρουσίαση γνωστών πρωτοκόλλων που υλοποιούν το επίπεδο μεταφοράς του OSI, θα μελετήσουμε τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των εφαρμογών πολυμέσων [1], [4] και θα γίνει η αντιστοίχιση των απαιτήσεων αυτών στην υπηρεσία που το επίπεδο μεταφοράς πρέπει να προσφέρει για να τις ικανοποιήσει αποτελεσματικά.

II. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

Οι εφαρμογές πολυμέσων διαχειρίζονται πληροφορίες σε διάφορες μορφές, είτε χρονικά μεταβαλλόμενες, όπως ήχος, κινούμενη εικόνα, είτε χρονικά αμετάβλητες όπως αριθμητικά δεδομένα, κείμενα, γραφικά και εικόνες [5].

Από τις πλέον απαιτητικές εφαρμογές πολυμέσων είναι η *τηλεδιάσκεψη* (videoconferencing), όπου χρήστες γεωγραφικά απομακρυσμένοι επικοινωνούν μεταξύ τους σε να βρίσκονται ταυτόχρονα σε μία αίθουσα συσκέψεων.

Το επίπεδο μεταφοράς πρέπει να παρέχει το μηχανισμό για τη λογική διαχείριση της επικοινωνίας των συσκευτόμενων. Η *σύνδεση πολλαπλών σημείων* (multi-point connections) μεταξύ των χρηστών είναι μια λογική επέκταση της γνωστής σύνδεσης *σημείο με σημείο* (point to point connection). Εκτός από τις συνδέσεις πολλαπλών σημείων πρέπει να παρέχονται και *συνδέσεις ομάδας* (group connections), για να καλυφθεί η ανάγκη επικοινωνίας ενός χρήστη με υποσύνολο των υπολοίπων. Συνεπώς, μία από τις απαιτήσεις που προκύπτουν από την τηλεδιάσκεψη είναι η εγκατάσταση, η διαχείριση και ο τερματισμός συνδέσεων πολλαπλών σημείων καθώς και ομάδας και ένα πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς θα πρέπει να παρέχει αυτές ακριβώς τις δυνατότητες, ως υπηρεσία προς τα ανώτερα επίπεδα [6] [7].

Κατά τη διάρκεια της τηλεδιάσκεψης, οι χρήστες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν σε πραγματικό χρόνο εικόνα, ήχο και δεδομένα και να προσδιορίζουν ποιοτικά και

ποσοτικά παραμέτρους που αφορούν τη μεταφορά δεδομένων. Το σύνολο των παραμέτρων αυτών αναφέρεται ως *ποιότητα της υπηρεσίας* (Quality of Service-QoS). Το επίπεδο μεταφοράς του OSI πρέπει να παρέχει, ως υπηρεσία στα παραπάνω επίπεδα, τη δυνατότητα καθορισμού των τιμών των παραμέτρων αυτών. Ο καθορισμός τους πρέπει να είναι δυνατός τόσο κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης των συνδέσεων, όσο και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των πληροφοριών, δεδομένου ότι η κατάσταση ενός δικτύου μεταβάλλεται δυναμικά. Η εφαρμογή καθορίζει την ποιότητα υπηρεσίας χρησιμοποιώντας οικείους σ' αυτή όρους (π.χ. video υψηλής ποιότητας), οι οποίοι στη συνέχεια μεταφράζονται σε όρους ποιότητας υπηρεσίας του επιπέδου μεταφοράς. Στις επόμενες παραγράφους προσδιορίζονται οι παράμετροι και οι μηχανισμοί διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας.

A. Διαπραγμάτευση και επαναδιαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας

Ο μηχανισμός *διαπραγμάτευσης* και *επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας υπηρεσίας* είναι απαραίτητος, έτσι ώστε η προσφερόμενη υπηρεσία να προσαρμόζεται κατά τον πλέον κατάλληλο τρόπο στις απαιτήσεις του χρήστη. Κατά τη διαπραγμάτευση της ποιότητας υπηρεσίας καθορίζονται τα επιτρεπτά όρια των σχετικών παραμέτρων, σύμφωνα με την αρχική επιθυμία των χρηστών και την κατάσταση του δικτυακού υποστρώματος.

Αν κατά τη διάρκεια της σύνδεσης κριθεί αναγκαία η μεταβολή της ποιότητας υπηρεσίας, ενεργοποιείται ο μηχανισμός της επαναδιαπραγμάτευσης, είτε με ευθύνη του δικτυακού υποστρώματος, είτε με ευθύνη της εφαρμογής. Για παράδειγμα, σε μία εφαρμογή τηλεδιάσκεψης, η διαδικασία επαναδιαπραγμάτευσης ενεργοποιείται από το δικτυακό υπόστρωμα, σε περίπτωση που αυτό δεν μπορεί να ικανοποιήσει -έστω και στιγμιαία- τις απαιτήσεις της εφαρμογής, ή από την εφαρμογή, όταν αυτή απαιτήσει μεταβολή της ποιότητας υπηρεσίας (π.χ. μετάδοση έγχρωμης εικόνας αντί ασπρόμαυρης ή μετάδοση ανθρώπινης φωνής στη θέση ήχου υψηλής πιστότητας).

B. Ρυθμός απόδοσης

Ο *ρυθμός απόδοσης* (throughput) της εφαρμογής επηρεάζεται άμεσα από τον αντίστοιχο ρυθμό απόδοσης του επιπέδου μεταφοράς και την καθυστέρηση εγκατάστασης της σύνδεσης. Μάλιστα, όσο περισσότερες είναι οι συνδέσεις που πρέπει να εγκατασταθούν, όπως στην περίπτωση συνδέσεων πολλών σημείων ή ομάδας, τόσο σημαντικότερος γίνεται ο ρόλος της καθυστέρησης εγκατάστασης. Ένα πρωτόκολλο που δεν προσφέρει τη δυνατότητα για *πολλαπλή αποστολή* (multicast) των δεδομένων, πρέπει να εγκαταστήσει μεγάλο αριθμό συνδέσεων προκειμένου να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μίας εφαρμογής τηλεδιάσκεψης. Η καθυστέρηση εγκατάστασης της σύνδεσης επηρεάζει έντονα σ' αυτή την περίπτωση το ρυθμό απόδοσης, ειδικά όταν νέα μέλη προστίθενται στην ήδη υπάρχουσα ομάδα χρηστών της εφαρμογής. Ο ρυθμός απόδοσης εξαρτάται επίσης από το σχήμα με το οποίο υλοποιείται η *επανεκπομπή δεδομένων* (επιλεκτική ή go-back-N), από το αν υπάρχει ή όχι έλεγχος του *ρυθμού μετάδοσης* δεδομένων (rate control), από το μηχανισμό με τον οποίο υλοποιείται ο *έλεγχος ροής* (flow control) καθώς και από τη δυνατότητα για προαιρετικό έλεγχο σφαλμάτων μετάδοσης.

Γ. Ποσοστό σφαλμάτων

Το *ποσοστό σφαλμάτων* που εμφανίζεται στο επίπεδο της εφαρμογής εξαρτάται άμεσα από το αντίστοιχο ποσοστό σφαλμάτων που παρουσιάζεται στο επίπεδο μεταφοράς. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από την ύπαρξη δυνατότητας επιλογής προαιρετικού ελέγχου σφαλμάτων και μπορεί να πάρει από (θεωρητικά) μηδενική τιμή (με έλεγχο και επανόρθωση σφαλμάτων) έως την τιμή που εμφανίζουν συνολικά τα επίπεδα που απαρτίζουν το δικτυακό υπόστρωμα. Το μέγιστο αποδεκτό ποσοστό σφάλματος εξαρτάται από το είδος της πληροφορίας (ήχος, εικόνα, αριθμητικά

δεδομένα), και τη φύση της εφαρμογής. Σε μία εφαρμογή τηλεδιάσκεψης, μικρές αλλοιώσεις της εικόνας μπορεί να είναι αποδεκτές, αλλά κάτι τέτοιο θα είναι καταστροφικό σε μία ιατρική βάση δεδομένων με ακτινογραφίες ασθενών.

Δ. Συνολική καθυστέρηση μεταφοράς

Επόμενη παράμετρος της ποιότητας υπηρεσίας είναι η *συνολική καθυστέρηση μεταφοράς* (end-to-end delay) που, στο επίπεδο της εφαρμογής, είναι το άθροισμα διαφόρων καθυστερήσεων. Όπως και ο ρυθμός απόδοσης, έτσι και η καθυστέρηση μεταφοράς αφορά τόσο τη φάση της εγκατάστασης σύνδεσης όσο και τη φάση της μεταφοράς των πληροφοριών. Η συνολική καθυστέρηση μεταφοράς οφείλεται στην επεξεργασία των δεδομένων από το λογισμικό των πρωτοκόλλων, τα λειτουργικά συστήματα των υπολογιστών, τις καθυστερήσεις στις διάφορες ουρές του αποστολέα και του παραλήπτη και, τέλος, από τις καθυστερήσεις που το δικτυακό υπόστρωμα εισάγει κατά τη μεταφορά των δεδομένων. Η βελτίωση των φυσικών μέσων μετάδοσης στον τομέα της ταχύτητας και της αξιοπιστίας, έχει ως αποτέλεσμα οι καθυστερήσεις που οφείλονται στο δικτυακό υπόστρωμα να ελαττώνονται συνεχώς με συνέπεια η σημασία των υπολοίπων καθυστερήσεων να μεγαλώνει.

Ε. Διασπορά της καθυστέρησης μεταφοράς

Η *διασπορά της καθυστέρησης μεταφοράς* (jitter) στο επίπεδο των εφαρμογών πολυμέσων εξαρτάται, σε ό,τι αφορά το επίπεδο μεταφοράς, από την αντίστοιχη διασπορά στην παράδοση πληροφορίας στο ανώτερο *επίπεδο συνόδου* (session layer). Η μεγάλη διασπορά καθυστέρησης μεταφοράς επιδρά στα *μέσα συνεχούς ροής* (continuous media), καθώς οδηγεί σε μία αλλοιωμένη αντίληψή τους. Παραδείγματος χάριν, η αναγνώριση της ανθρώπινης φωνής γίνεται δύσκολη έως αδύνατη, όταν η διασπορά υπερβεί κάποια τιμή. Σε μία εφαρμογή πολυμέσων, όπου υπάρχουν πολλά ρεύματα δεδομένων, πρέπει η καθυστέρηση μεταφοράς να είναι ομοιόμορφη για όλα και συνεπώς η διασπορά της όσο το δυνατόν μικρότερη.

ΣΤ. Προτεραιότητα

Η *προτεραιότητα* μεταξύ των διαφόρων συνδέσεων που χρησιμοποιεί μία εφαρμογή πολυμέσων, ως συνιστώσα της ποιότητας της υπηρεσίας που παρέχεται από δίκτυο, βρίσκεται σε απ' ευθείας αντιστοιχία με τις προτεραιότητες που χρησιμοποιεί το επίπεδο μεταφοράς για την εξυπηρέτηση των συνδέσεων που διατηρεί, με βάση τη σχετική τους σπουδαιότητα, όπως αυτή καθορίζεται από την εκάστοτε εφαρμογή.

Ζ. Συγχρονισμός

Μία σημαντική παράμετρος της ποιότητας υπηρεσίας είναι ο *συγχρονισμός* μεταξύ των διαφόρων ρευμάτων πληροφορίας σε μία εφαρμογή πολυμέσων. Στο επίπεδο μεταφοράς ο συγχρονισμός μπορεί να υλοποιηθεί με την εφαρμογή "έξυπνης" *πολυπλεξίας* (multiplexing) των διαφόρων ρευμάτων πληροφορίας, χωρίς να απαιτείται αναδιαμόρφωση του επιπέδου μεταφοράς [8] [9]. Η λύση αυτή καθιστά αναγκαία την ύπαρξη ενός μηχανισμού *επιλεκτικής επανεκπομπής* (selective retransmission) σε περίπτωση σφάλματος μετάδοσης, διότι διαφορετικά είναι απαραίτητη η επανεκπομπή μεγάλης ποσότητας πληροφορίας, εφ' όσον πολλαπλά ρεύματα είναι πολυπλεγμένα σε ένα. Αν όμως το επίπεδο μεταφοράς δεν μπορεί να αναλάβει, μεταξύ των άλλων και το συγχρονισμό, με την τεχνική που προτάθηκε παραπάνω, θα πρέπει τουλάχιστον να προσφέρει μικρή διασπορά καθυστέρησης μεταφοράς για κάθε μορφή μεταφερόμενης πληροφορίας. Η υλοποίηση του συγχρονισμού σε κάποιο ανώτερο επίπεδο επιτρέπει την ύπαρξη διαφορετικών ρευμάτων, το καθένα από τα οποία μπορεί να έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις για την ποιότητα εξυπηρέτησης (π.χ. διαφορετικούς βαθμούς προτεραιότητας και ασφάλειας, ιδιαίτερη συμπεριφορά

σε περίπτωση σφάλματος μετάδοσης κ.ο.κ.). Παραδείγματος χάριν, σε μια εφαρμογή τηλεδιάσκεψης τα ρεύματα που μεταφέρουν εικόνα, φωνή και δεδομένα έχουν διαφορετικά επίπεδα ανοχής σφαλμάτων (μέτριο, μέτριο και μηδενικό αντίστοιχα), διαφορετικές απαιτήσεις ρυθμού απόδοσης από το δικτυακό υπόστρωμα (υψηλή, μέτρια και χαμηλή), καθώς και διαφορετικές προτεραιότητες (μέτρια, υψηλή και υψηλή).

H. Πρόσθετες υπηρεσίες

Πέρα από την ποιότητα εξυπηρέτησης και τις συνιστώσες που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και μερικά αλλά δευτερεύοντα χαρακτηριστικά των εφαρμογών πολυμέσων τα οποία χρήζουν προσοχής. Μία εφαρμογή πολυμέσων, όπως η τηλεδιάσκεψη, έχει απαιτήσεις για μεταφορά δεδομένων σε *πραγματικό χρόνο* (real time) [10] και ζητά από το επίπεδο μεταφοράς να παρέχει υπηρεσίες με μέγιστο ρυθμό απόδοσης, ελάχιστη καθυστέρηση μεταφοράς και καθυστέρηση εγκατάστασης συνδέσεων (ιδίως όταν χρειάζεται η εγκατάσταση πολλαπλών συνδέσεων). Έτσι, ένα απλό, "light weight" πρωτόκολλο, με απλοποιημένους μηχανισμούς για εγκατάσταση συνδέσεων και μεταφορά δεδομένων, είναι προτιμότερο από ένα πολυπλοκότερο [11].

Μία άλλη απαίτηση που οι εφαρμογές πολυμέσων έχουν από το δικτυακό υπόστρωμα, είναι να παρέχει *αξιοπιστία* (reliability) και *ανθεκτικότητα στις βλάβες* (fault tolerance). Μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την αξιοπιστία του επίπεδο μεταφοράς, είναι η απλότητα του πρωτοκόλλου που το υλοποιεί. Πολυπλοκότερα πρωτόκολλα παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυσκολίες και προβλήματα κατά την υλοποίησή τους από ότι τα απλούστερα και επομένως ένα απλό πρωτόκολλο συμβάλλει, έστω και έμμεσα, στην αξιοπιστία της υπηρεσίας που προσφέρει το επίπεδο μεταφοράς στα ανώτερα επίπεδα. Η ανθεκτικότητα στις βλάβες δεν αφορά το επίπεδο μεταφοράς.

Τελειώνοντας με τις απαιτήσεις των εφαρμογών θα πρέπει να προσθέσουμε και την ασφάλεια της πληροφορίας από παρέμβαση ή/και πλαστογράφιση από τρίτους. Από τον ορισμό του OSI προτύπου για τα δίκτυα, προκύπτει ότι η εργασία αυτή έχει ανατεθεί στο επίπεδο παρουσίασης (presentation layer). Υπάρχουν πάντως και πρωτόκολλα που προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα στο επίπεδο μεταφοράς.

Μετά την καταγραφή των απαιτήσεων των εφαρμογών πολυμέσων και την αντιστοιχία μεταξύ αυτών και των παραμέτρων της υπηρεσίας που ένα πρωτόκολλο που υλοποιεί το επίπεδο μεταφοράς πρέπει να παρέχει [12] [13], η οποία φαίνεται συνοπτικά στο σχήμα 1, περνούμε στη συγκριτική μελέτη τεσσάρων πρωτοκόλλων για το επίπεδο μεταφοράς.

III. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Έχουν επιλεγεί τέσσερα πρωτόκολλα για να διερευνηθεί αν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που οι εφαρμογές πολυμέσων έχουν από τα δίκτυα. Θα εξετάσουμε τους μηχανισμούς του επιπέδου μεταφοράς, τον τρόπο δηλαδή με τον οποίο κάθε πρωτόκολλο διεκπεραιώνει τις αιτήσεις που υποβάλλονται από τα ανώτερα επίπεδα. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η αντιστοιχία ανάμεσα στις υπηρεσίες και τους μηχανισμούς του επιπέδου μεταφοράς. Θα εξετάσουμε τέσσερα από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα, που είναι τα TCP, OSI/TP4, VMTP και HSTP.

Υπηρεσίες επίπεδου μεταφοράς	Ρυθμοαπόδοση	Καθυστέρηση	Διασπορά καθυστέρησης	Προτεραιότητες	Έλεγχος ρυθμού	Έλεγχος ροής	Ποσοστό σφαλμάτων	Σχήμα επανεκπομπής	Πολυπλεξία	Συνδέσεις ομάδας	Πολλαπλή αποστολή
Ρυθμοαπόδοση	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓
Καθυστέρηση		✓						✓			
Διασπορά καθυστέρησης			✓								
Ποσοστό σφαλμάτων							✓				
Προτεραιότητες				✓							
Συγχρονισμός									✓		
Πραγματικός χρόνος	✓	✓		✓							
Πολλαπλή αποστολή											✓
Συνδέσεις ομάδας										✓	
Continuous Media			✓				✓	✓			

Σχήμα 1 - Απεικόνιση απαιτήσεων εφαρμογής σε υπηρεσίες επιπέδου μεταφοράς

Το Transmission Control Protocol (TCP), είναι το παλαιότερο από τα συγκρινόμενα πρωτόκολλα και αποτελεί εξέλιξη του Network Control Protocol (NCP). Χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο δίκτυο ARPANET, που δημιούργησε το υπουργείο Αμύνης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, και μαζί με το Internet Protocol (IP), για το επίπεδο δικτύου, είναι σήμερα ευρέως διαδεδομένο τόσο στα επιστημονικά όσο και στα εμπορικά δίκτυα. Μεγάλο μέρος της επιτυχίας του οφείλεται στην απλότητα του και στην χρήση του ως λογισμικό δικτύου στο λειτουργικό σύστημα UNIX. Το ζευγάρι TCP/IP είναι ένα de facto πρότυπο της αγοράς και σαν τέτοιο επιλέχθηκε να μελετηθεί εδώ [14] [15].

Το TP4 είναι η κατηγορία 4 των πρωτοκόλλων για το επίπεδο μεταφοράς που ορίζεται από το πρότυπο ISO/OSI για μεταφορά δεδομένων πάνω από δίκτυα τύπου C, δηλαδή αναξιόπιστα (λάθη στην μετάδοση, διακοπές στην υπηρεσία του δικτύου). Το όνομα του είναι συντομογραφία του Transport Protocol Class 4 [16]. Είναι αρκετά πρόσφατο και είναι ήδη ένα πρότυπο που έχει υλοποιηθεί αρκετές φορές. Η αρχιτεκτονική είναι συνθετότερη από αυτή του TCP.

Το Versatile Message Transaction Protocol ή VMTP, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα που εξετάζονται εδώ, είναι προσανατολισμένο σε μεταφορά πληροφορίας χωρίς σύνδεση (connectionless) [17]. Λειτουργεί με βάση το μοντέλο *Εξυπηρετούμενος-Εξυπηρετής* (Client-Server), όπου κάθε ζεύγος *Αίτηση-Απάντηση* (Request-Response) αποτελεί μία *συναλλαγή* (transaction). Έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές RPC και άλλες εφαρμογές που βασίζονται σε συναλλαγές (transaction-oriented).

Το HSTP (High Speed Transport Protocol) είναι το νεότερο από τα εξεταζόμενα πρωτόκολλα και γίνεται προσπάθεια να γίνει αποδεκτό ως διεθνές OSI πρότυπο για το επίπεδο μεταφοράς [19] [20]. Είναι απόγονος του XTP ή Xpress Transfer Protocol (που προτείνει την ένωση του 3^{ου} και 4^{ου} επιπέδου OSI σε ένα, το Transfer layer) υλοποιεί όμως μόνο τις λειτουργίες του επιπέδου μεταφοράς που περιλαμβάνονται σε αυτό [18]. Έτσι απουσιάζουν από το HSTP όλοι εκείνοι οι μηχανισμοί και η λογική που υλοποιεί το επίπεδο δικτύου. Τα XTP και HSTP σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες καταμεμημένων εφαρμογών πραγματικού χρόνου.

A. Διαχείριση σύνδεσης

Τα TCP, TP4 και HSTP είναι πρωτόκολλα με *σύνδεση (connection oriented)* και συνεπώς πριν από κάθε μεταφορά δεδομένων είναι απαραίτητη μία *χειραγία (handshake)* μεταξύ των τελικών συστημάτων. Επιπλέον πληροφορίες, σχετικές με την κατάσταση της σύνδεσης, πρέπει να διατηρούνται καθ' όσο χρόνο διαρκεί η μεταφορά των πληροφοριών.

Υπηρεσίες επίπεδου μεταφοράς	Ρυθμοαπόδοση	Καθυστέρηση	Διασπορά καθυστέρησης	Προτεραιότητες	Έλεγχος ρυθμού	Έλεγχος ροής	Ποσοστό σφαλμάτων	Σχήμα επανεκπομπής	Πολυπλεξία	Συνδέσεις ομάδας	Πολλαπλή αποστολή
Ποσοστό πρόσθετης πληροφορίας	✓	✓									
Τρόπος εγκατάστασης σύνδεσης	✓	✓									
Πολυπλοκότητα υλοποίησης	✓	✓									
Έλεγχος ρυθμού	✓	✓	✓		✓						
Έλεγχος ροής	✓	✓	✓			✓					
Ανίχνευση σφαλμάτων	✓	✓					✓				
Ανίχνευση αντιγράφων							✓				
Προτεραιότητες			✓	✓							
Πολλαπλή μετάδοση	✓	✓								✓	✓
Επαναμετάδοση N-μπλοκ								✓			
Επιλεκτική επαναμετάδοση								✓			
Πολυπλεξία									✓		

Σχήμα 2 - Αντιστοίχιση υπηρεσιών και μηχανισμών επιπέδου μεταφοράς

Αντίθετα το VMTP είναι πρωτόκολλο *χωρίς σύνδεση (connectionless)* και η πληροφορία που τα τελικά συστήματα διατηρούν είναι αυτή που αναφέρεται στην τελευταία συναλλαγή που είναι υπό εκτέλεση. Μετά το πέρας της συναλλαγής κάθε σχετική πληροφορία διαγράφεται.

Η διαδικασία για την εγκατάσταση σύνδεσης στα τρία πρωτόκολλα με σύνδεση είναι αυτή της *χειραγίας 3 δρόμων (3-way handshake)*. Αυτό σημαίνει ότι ο αποστολέας στέλνει μία αίτηση για τη δημιουργία μίας σύνδεσης και μόλις ο αποδέκτης τη λάβει, επιστρέφει στον αποστολέα καταφατική απάντηση, που αποτελεί και *επιβεβαίωση λήψης* της αίτησης (acknowledgement). Τέλος πριν αρχίσει η αποστολή των δεδομένων, ο αποστολέας επιβεβαιώνει με τη σειρά του τη λήψη της επιβεβαίωσης του παραλήπτη.

Πέρα από τη χειραγία τριών δρόμων, το HSTP έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει και *χειραγία 2 δρόμων (2-way handshake)*, όπου η τελευταία επιβεβαίωση λήψης στη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, δεν είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της σύνδεσης.

Η σύνδεση θα επαληθευτεί στην πλευρά του αποστολέα αργότερα, με τα πρώτα δεδομένα που ο παραλήπτης θα στείλει. Η συνηθισμένη όμως μέθοδος για την έναρξη μίας συναλλαγής και την εγκατάσταση μίας σύνδεσης στα HSTP και VMTP αντίστοιχα, είναι η λεγόμενη *υπονοούμενη* (implicit setup). Σε αυτή την περίπτωση, μόλις ο παραλήπτης λάβει μία αίτηση για συναλλαγή ή σύνδεση ξεκινά ένα *χρονομετρητή* (timer) και αναμένει επιπλέον μηνύματα από τον αποστολέα μέσα στο χρονικό διάστημα που αυτός καθορίζει. Διαφορετικά κάθε σχετική πληροφορία διαγράφεται μόλις ο χρονομετρητής εκπνεύσει. Στο VMTP χρησιμοποιείται και η χειραγία δύο δρόμων, όταν χρειάζεται η προστασία έναντι *αντιγράφων αιτήσεων* (duplicate requests).

Σε ό,τι αφορά τον τερματισμό μιας σύνδεσης ή συναλλαγής, ακολουθείται ανάλογη διαδικασία με αυτή της εγκατάστασης της. Έτσι στο TCP χρησιμοποιείται για τον ασφαλή τερματισμό της σύνδεσης μια χειραγία 3 δρόμων με τη βοήθεια ενός χρονομετρητή. Στο TP4 η σύνδεση τερματίζεται με χειραγία δύο δρόμων, με κίνδυνο απώλειας δεδομένων, η οποία αντιμετωπίζεται στο *επίπεδο συνόδου* (session layer).

Στο VMTP δεν έχουμε σύνδεση μεταξύ Εξυπηρετούμενου-Εξυπρήτη, οπότε μετά την αποστολή της απαντήσεως από τον Εξυπρήτη αν δεν απαιτείται επιβεβαίωση λήψης της, κάθε σχετική πληροφορία διαγράφεται.

Στο HSTP, τέλος, η διαδικασία τερματισμού είναι επιλέξιμη από το χρήστη, οπότε μπορούμε να έχουμε ομαλό τερματισμό με χειραγία 2 ή 3 δρόμων ή απότομο τερματισμό με κατάλληλη χρήση κάποιων bits στην επικεφαλίδα.

Από την παραπάνω ανάλυση είναι φανερό ότι η υπονοούμενη εγκατάσταση σύνδεσης είναι προτιμότερη από την εγκατάσταση με χειραγία 2 ή 3 δρόμων, προκειμένου για συνδέσεις μικρής διάρκειας ή περιπτώσεις που ζητούνται πολλές συνδέσεις μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Η επιβάρυνση που συνεπάγεται η χειραγία 2, ή ακόμη περισσότερο η χειραγία 3 δρόμων, είναι σημαντική. Στα TCP και HSTP μπορεί να συνδυαστεί η αίτηση για εγκατάσταση σύνδεσης, τα δεδομένα και η αίτηση για τερματισμό της σύνδεσης σε ένα μόνο *TPDU* (Transport Protocol Data Unit). Η δυνατότητα αυτή δεν παρέχεται στο TP4.

B. Δομή των TPDU's

Στα επόμενα θα μελετηθεί η μορφή και η δομή των TPDU's των τεσσάρων υπό εξέταση πρωτοκόλλων. Σε όλα τα πρωτόκολλα υπάρχει μία *επικεφαλίδα* όπου, ανάλογα με την τιμή κάποιου πεδίου, καθορίζεται η "ταυτότητα" του TPDU, καθώς και η μορφή του υπολοίπου μέρους του (αν και το TCP έχει μόνο μία μορφή TPDU και κάποια bits στην επικεφαλίδα του δίνουν αυτή την ιδιαίτερη "ταυτότητα"). Τα TPDU's του VMTP έχουν αναλογικά τη μεγαλύτερη επιβάρυνση (overhead), εφ' όσον δεν υπάρχει σύνδεση και είναι αναγκαίο να μεταφέρεται κάθε φορά πρόσθετη πληροφορία, ώστε να καθορίζονται επακριβώς αποστολέας και παραλήπτης.

Σημαντικό ρόλο στην απόδοση ενός πρωτοκόλλου παίζει το μέγεθος, η θέση και η διαρρύθμιση των πεδίων που απαρτίζουν τα TPDU's, διότι επηρεάζεται σημαντικά η ταχύτητα με την οποία αυτά κατασκευάζονται ή αποκωδικοποιούνται. Πεδία μεταβλητού μεγέθους επιβαρύνουν το υπολογιστικό σύστημα, καθώς είναι απαραίτητες περισσότερες προσβάσεις στην μνήμη για την επεξεργασία τους. Από αυτή την άποψη, πεδία σταθερού ή ενός μέγιστου μεγέθους είναι προτιμητέα. Γι' αυτό το λόγο στο HSTP τα περισσότερα πεδία είναι ίδιου μεγέθους (32 bits) και το συνολικό μέγεθος του TPDU είναι πολλαπλάσιο αυτού του αριθμού ($4*n$ bytes). Θυσιάζοντας ελάχιστο από το *εύρος ζώνης* (bandwidth) του φυσικού μέσου μετάδοσης, επιτυγχάνεται η ταχύτερη επεξεργασία των TPDU's. Στο άλλο άκρο βρίσκεται το TP4, τα TPDU's του οποίου έχουν όλα μεταβλητό μήκος και μερικά μάλιστα ορίζονται με δύο μορφές, την *κανονική* (normal) και την *εκτεταμένη* (extended), δυσκολεύοντας ακόμη περισσότερο την

αποκωδικοποίηση και επεξεργασία τους TPDU με αποτέλεσμα αυξημένη πολυπλοκότητα του πρωτοκόλλου και αύξηση στο χρόνο επεξεργασίας. Στο ενδιάμεσο βρίσκονται τα TCP και VMTP με αρκετά πεδία σταθερού μήκους και με το VMTP πιο προσεκτικό στην τοποθέτηση τους σε όρια 32 bit (32 bit boundaries).

Η μονάδα πληροφορίας και στα τέσσερα πρωτόκολλα είναι το byte (ή octet, κατά την ορολογία OSI). Ο τρόπος όμως με τον οποίο αριθμείται η πληροφορία που μεταδίδεται μέσω του δικτύου δεν είναι κοινός. Στα TCP και HSTP κάθε byte δεδομένων του χρήστη, έχει τη δική του αρίθμηση, ενώ ορίζονται δύο χώροι ακολουθίας (sequence spaces), ένας για κάθε ρεύμα (κατεύθυνση) δεδομένων. Στο TP4 κάθε TPDU που μεταφέρει δεδομένα (δηλ. δεν είναι TPDU ελέγχου) έχει το δικό του αριθμό ακολουθίας και στο VMTP κάθε συναλλαγή ορίζεται μονοσήμαντα (στον εξυπηρέτη) από το ζεύγος των πεδίων (Εξυπηρετούμενος, Συναλλαγή).

Γ. Έλεγχος σφαλμάτων

Το επίπεδο μεταφοράς έχει στόχο τη βελτίωση των υπηρεσιών που προσφέρει το κατώτερο επίπεδο δικτύου (network layer). Πρέπει λοιπόν να ανιχνεύει και να διορθώνει σφάλματα που εισάγονται κατά τη μετάδοση της πληροφορίας μέσα από ένα πιθανώς αναξιόπιστο δικτυακό υπόστρωμα, το οποίο μπορεί να καταστρέψει, να χάσει, να αναδιατάξει ή να δημιουργήσει αντίγραφα TPDU, ικανά να προκαλέσουν σύγχυση στον παραλήπτη. Στις περιπτώσεις αυτές, η επανεκπομπή της χαμένης ή κατεστραμμένης πληροφορίας και η απόρριψη των αντιγράφων λύνουν το πρόβλημα.

Στα TCP και TP4 η ανίχνευση λαθών στα περιεχόμενα ενός TPDU γίνεται με τη βοήθεια ενός *αθροίσματος ελέγχου* (checksum) που υπάρχει στην επικεφαλίδα του.

Προσφέροντας καλύτερη προστασία, τα αθροίσματα ελέγχου στα VMTP και HSTP έχουν μήκος 32 bits. Στο VMTP το άθροισμα ελέγχου τοποθετείται στο τέλος του TPDU και υπολογίζεται από την επικεφαλίδα και τα δεδομένα που αυτό περιέχει.

Το HSTP, τέλος, έχει δύο αθροίσματα ελέγχου, ένα για την επικεφαλίδα και ένα για το υπόλοιπο TPDU, τα οποία βρίσκονται στο τέλος της επικεφαλίδας και του TPDU αντίστοιχα.

Στο TP4 και το VMTP οι μηχανισμοί ελέγχου μπορούν να απενεργοποιηθούν, ενώ στο HSTP υπάρχει η δυνατότητα να ελέγχεται μόνο η ορθότητα της επικεφαλίδας.

Στον τομέα της ανίχνευσης σφαλμάτων υπερτερούν τα VMTP και HSTP διότι, πέραν του μεγαλύτερου σε μήκος αθροίσματος ελέγχου, η τοποθέτησή τους στο τέλος της επικεφαλίδας (HSTP) και στο τέλος του TPDU (VMTP, HSTP) δίνει τη δυνατότητα να υπολογίζεται παράλληλα με την αποστολή η λήψη δεδομένων, συμβάλλοντας έτσι στην ταχύτερη επεξεργασία τους.

Άλλη περίπτωση σφάλματος είναι αυτή των αντιγράφων TPDU, τα οποία κάθε πρωτόκολλο οφείλει να ανιχνεύει και στη συνέχεια να αγνοεί. Η ανίχνευση αυτή είναι δυνατή επειδή η πληροφορία που μεταδίδεται αριθμείται από τον αποστολέα και η αρίθμηση ελέγχεται από τον παραλήπτη. Η απώλεια ή καταστροφή των δεδομένων καθ' οδό από τον αποστολέα στον παραλήπτη αντιμετωπίζεται με την επανεκπομπή τους. Ποιο από τα εμπλεκόμενα μέρη (αποστολέας ή παραλήπτης) θα ξεκινήσει τη διαδικασία επανεκπομπής και με ποιο μηχανισμό θα υλοποιηθεί αυτή είναι μία από τις σημαντικότερες επιλογές που πρέπει να γίνουν κατά το σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούν τα υπό μελέτη πρωτόκολλα παρουσιάζονται παρακάτω.

Στο TCP και το TP4 ο μηχανισμός επιβεβαίωσης είναι *συσσωρευτικός* (cumulative) έτσι ώστε μία επιβεβαίωση λήψης του byte/TPDU N δηλώνει ότι όλα τα bytes/TPDU μέχρι το N-1 έχουν παραληφθεί σωστά. Ο παραλήπτης επιβεβαιώνει όλα τα bytes/TPDU που λαμβάνει χωρίς σφάλματα και στη σωστή σειρά. Ο αποστολέας είναι υπεύθυνος για την επανεκπομπή χαμένων ή

κατεστραμμένων bytes/TPDUs, χρησιμοποιώντας το μηχανισμό επανεκπομπής *N μπλοκ* (go-back-N).

Η επανεκπομπή χαμένων ή κατεστραμμένων TPDUs στο TCP βασίζεται στη χρήση ενός χρονομετρητή. Ο χρονομετρητής επανεκπομπής (retransmission timer), μετρά το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο αναμένεται επιβεβαίωση λήψης για ένα TPDU που έχει αποσταλεί. Αν ο χρονομετρητής εκπνεύσει, το TPDU επανεκπέμπεται. Η τιμή εκκίνησής του ορίζεται δυναμικά κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης και εξαρτάται από το χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής ενός TPDU και της επιβεβαίωσης λήψης του (round trip time), καθώς και από κάποια μέγιστη και ελάχιστη τιμή που ορίζεται στο κάθε σύστημα.

Ο πομπός συνεχίζει την εκπομπή δεδομένων μέχρι να εκπνεύσει ένας δεύτερος χρονομετρητής. Αν μέσα στο χρονικό διάστημα που αυτός μετρά δεν υπάρξει κάποια επικοινωνία μεταξύ των δύο τελικών συστημάτων, η σύνδεση τερματίζεται και κάθε σχετική πληροφορία διαγράφεται. Ο μηχανισμός εκπομπής είναι του τύπου επανεκπομπής *N-μπλοκ*. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο μηχανισμός αυτός να επιβαρύνει σημαντικά τα αναξιόπιστα δίκτυα. Μικρή βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί αν ο παραλήπτης διατηρεί κάθε εισερχόμενο TPDU σε προσωρινή μνήμη, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι χασμάτων στους αριθμούς ακολουθίας των πληροφοριών, ώστε μετά την επανεκπομπή και λήψη των χαμένων ή κατεστραμμένων δεδομένων να επιβεβαιώνει τη λήψη όλων των TPDUs. Το πρωτόκολλο δεν απαιτεί τη βελτιστοποίηση αυτή.

Αντίστοιχος είναι και ο μηχανισμός επανεκπομπής του OSI TP4. Χρησιμοποιείται ένας χρονομετρητής και μια μεταβλητή *N*. Ο χρονομετρητής μετρά το χρόνο που περιμένει ο αποστολέας ενός TPDU για επιβεβαίωση λήψης του πριν το επανεκπέμψει. Η αρχική του τιμή, όπως και στο TCP, εξαρτάται από το χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής και της επιβεβαίωσης λήψης ενός TPDU, καθώς και από τις αναμενόμενες χρονικές επιβαρύνσεις για την επεξεργασία του από το τοπικό σύστημα. Αν παρέλθει αυτό το χρονικό διάστημα χωρίς επιβεβαίωση λήψης τότε το TPDU επανεκπέμπεται και ο χρονομετρητής εκκινείται ξανά. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για *N-1* φορές, δηλαδή ένα TPDU μπορεί να εκπεμφθεί *N* συνολικά φορές. Αν, παρ' όλα αυτά, δεν υπάρξει επιβεβαίωση λήψης, ο αποστολέας περιμένει ένα μικρό χρονικό διάστημα επιπλέον και έπειτα τερματίζει τη σύνδεση.

Στο VMTP το ζεύγος (Εξυπηρετούμενος, Συναλλαγή) ορίζει μονοσήμαντα κάθε συναλλαγή. Τα TPDUs με το ίδιο ζεύγος (Εξυπηρετούμενος, Συναλλαγή) συσχετίζονται κατ' ανάγκη με μία συγκεκριμένη συναλλαγή. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο εξυπηρετής θεωρεί ότι κάθε Request ή RequestAck TPDU με το ίδιο ζεύγος (Εξυπηρετούμενος, Συναλλαγή) είναι αντίγραφο προηγούμενου. Αυτό βεβαίως, υπό την προϋπόθεση ότι ο εξυπηρετής δεν έχει ακόμη διαγράψει τις πληροφορίες που έχει για τον Εξυπηρετούμενο (CSR-Client State Records). Με την κατάλληλη χρήση ενός χρονομετρητή αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί.

Η επανόρθωση από σφάλματα ή χαμένα TPDUs στο VMTP στηρίζεται σε δύο χρονομετρητές και δύο μεταβλητές, ένα ζευγάρι στον εξυπηρετούμενο και ένα στον εξυπηρετή. Ο χρονομετρητής TC του εξυπηρετούμενου μετρά τον αναμενόμενο χρόνο απάντησης από τον εξυπηρετή στις αιτήσεις του εξυπηρετούμενου. Σε περίπτωση σφάλματος οι αιτήσεις επανεκπέμπονται και μετά από το μέγιστο επιτρεπτό αριθμό επανεκπομπών, ο εξυπηρετούμενος παραιτείται της προσπάθειας εκπομπής. Αντίστοιχα στον εξυπηρετή ορίζεται για κάθε ενεργό εξυπηρετούμενο ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμός επανεκπομπών των TPDUs που περιέχουν απαντήσεις, και ο χρονομετρητής TS που μετρά τον αναμενόμενο χρόνο λήψης ενός TPDU από τον εξυπηρετούμενο. Αν TPDUs που είναι μέρος μίας αίτησης ή απάντησης χαθούν ή καταστραφούν κατά τη μεταφορά τους, χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός επιλεκτικής επανεκπομπής, που ενεργοποιείται αν έχει προσδιοριστεί ότι επιθυμείται η επανεκπομπή των κατεστραμμένων/χαμένων TPDUs.

Το HSTP, τέλος, υλοποιεί και τις δύο γνωστές τεχνικές για την επανεκπομπή των χαμένων ή κατεστραμμένων TPDU's, την επιλεκτική και την επανεκπομπή N-μπλοκ. Αποστολέας και παραλήπτης συμφωνούν κατά τη διάρκεια εγκατάστασης μιας σύνδεσης για την τεχνική επανεκπομπής θα χρησιμοποιηθεί, λαμβάνοντας υπόψη και την υλοποίηση του πρωτοκόλλου σε κάθε πλευρά. Η υλοποίηση μηχανισμού επιλεκτικής επανεκπομπής είναι προαιρετική στο HSTP. Όπως και στο VMTP υπάρχει και εδώ η δυνατότητα για απενεργοποίηση αυτού του μηχανισμού, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των δεδομένων. Η διαδικασία επανεκπομπής ξεκινά από τον αποστολέα ο οποίος ζητά να πληροφορηθεί την κατάσταση της ουράς εισόδου του παραλήπτη. Τότε ο παραλήπτης απαντά δίνοντας στον αποστολέα τις απαραίτητες πληροφορίες. Ανάλογα με το αν υπάρχουν κενά στους αριθμούς ακολουθίας των bytes δεδομένων που έχουν παραληφθεί και τις αρχικές επιλογές (χρήση και μηχανισμός επανεκπομπής) αποφασίζεται η επανεκπομπή μέρους των δεδομένων και ο μηχανισμός με τον οποίο αυτή θα πραγματοποιηθεί. Το TPDU που επιστρέφει ο παραλήπτης των δεδομένων περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να λειτουργήσει ο μηχανισμός επανεκπομπής.

Τα πρωτόκολλα TCP και TP4 υποστηρίζουν τη μέθοδο επανεκπομπής N-μπλόκ, που είναι απλούστερη στην υλοποίηση εφόσον δεν απαιτεί τη διατήρηση πληροφορίας στον αποστολέα ή τον παραλήπτη, αλλά επιβαρύνει σημαντικά το δικτυακό υπόστρωμα και επιφέρει καθυστερήσεις ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Το VMTP αντίθετα υποστηρίζει μηχανισμό επιλεκτικής επανεκπομπής, που επιφέρει μικρότερες καθυστερήσεις αλλά είναι πολύπλοκος στην υλοποίηση εξαιτίας των πολλών χρησιμοποιούμενων χρονομετρητών, η τιμή των οποίων συνεχώς μεταβάλλεται. Στο HSTP υλοποιούνται και οι δύο τεχνικές. Επίσης τα VMTP και HSTP υποστηρίζουν την απενεργοποίηση του μηχανισμού επανεκπομπής, σε περιπτώσεις που αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιθυμητό, όπως στην μετάδοση συνεχόμενης πληροφορίας (continuous media) που απαιτείται συχνά από τις εφαρμογές πολυμέσων.

Δ. Έλεγχος ροής δεδομένων

Με την αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης και τη βελτίωση της αξιοπιστίας των φυσικών μέσων, ο έλεγχος της ροής των δεδομένων που μεταδίδονται μέσα από αυτά απέκτησε μεγαλύτερη σημασία. Αυτό συνέβη διότι ταχύτερα μέσα αυξάνουν τον όγκο της πληροφορίας που μπορεί να "αποθηκευτεί" σε αυτά, να είναι δηλαδή καθ' οδό προς τον ή τους παραλήπτες. Επιπλέον μεγαλώνει και η πιθανότητα να μπορούν να παρέχουν δεδομένα στους παραλήπτες ή στους ενδιάμεσους κόμβους με ρυθμούς μεγαλύτερους από ότι αυτοί μπορούν να "καταναλώσουν". Το αποτέλεσμα είναι η απώλεια μέρους των πληροφοριών αυτών (data overrun) και πιθανή συμφόρηση του δικτύου εξαιτίας της επανεκπομπής των απωλεσθέντων πληροφοριών.

Συνεπώς τόσο η ποσότητα πληροφορίας όσο και ο ρυθμός μετάδοσής της πρέπει να είναι υπό έλεγχο, με τη χρήση κατάλληλων μηχανισμών *ελέγχου ροής* και *ελέγχου ρυθμού ροής* (flow & rate control). Ο πρώτος μηχανισμός μπορεί να λειτουργεί και ανεξάρτητα από το δικτυακό υπόστρωμα, αλλά η λειτουργία του δευτέρου προϋποθέτει γνώση της κατάστασης του δικτύου, προκειμένου να ρυθμιστεί σωστά.

Το TCP υλοποιεί μόνο τον έλεγχο ροής, με ένα μηχανισμό συρόμενου *παραθύρου* (sliding window) μεταβλητού μεγέθους. Ο παραλήπτης γνωστοποιεί στον αποστολέα το τρέχον μέγεθος του παραθύρου. Μηδενικό παράθυρο δηλώνει ότι προσωρινά ο παραλήπτης δεν μπορεί να δεχτεί δεδομένα, παρά μόνο TPDU's που ελέγχουν το μέγεθος του παραθύρου και διατηρούν τη σύνδεση ανοικτή.

Στο TP4 υπάρχει μόνο έλεγχος ροής δεδομένων, που υλοποιείται με ένα μηχανισμό συρόμενου παραθύρου μεταβλητού μεγέθους, ο οποίος βασίζεται στο σχήμα της *πίστωσης* (credit). Σε

αντίθεση με το TCP, στο TP4 το παράθυρο μετρά τον αριθμό των TPDU's που μπορεί να δεχτεί ο παραλήπτης και όχι τον αριθμό των bytes δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι για δεδομένο μέγεθος παραθύρου ο αποστολέας μπορεί να στείλει πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων στο TP4 από ότι στο TCP. Επειδή όμως υπάρχει η περίπτωση ένας υπολογιστής να λάβει δύο AK TPDU's με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας (για να διατηρηθεί η σύνδεση ανοικτή), αλλά με διαφορετικές τιμές πίστωσης, έχει προβλεφθεί ένα προαιρετικό πεδίο υπακολουθίας (subsequence) που ερμηνεύει ο παραλήπτης για να αναγνωρίσει την τρέχουσα τιμή της.

Στο VMTP δεν υπάρχει μηχανισμός ροής, αλλά μόνο μηχανισμός *ελέγχου ροής* (rate control). Στην πραγματικότητα λόγω της φιλοσοφίας λειτουργίας του πρωτοκόλλου (χωρίς σύνδεση και πάνω στο μοντέλο Εξυπηρετούμενου-Εξυπρήτη), ο μηχανισμός αυτός είναι πιο ταιριαστός από αυτόν του ελέγχου της ροής, καθώς δεν υπάρχει μόνιμη σύνδεση μεταξύ των δύο πλευρών. Η υλοποίηση του μηχανισμού αυτού γίνεται με τη χρήση *διάκενων* μεταξύ των TPDU's (interpacket gaps), που είναι η χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών TPDU's. Τα διάκενα αυτά εκφράζονται σε 32^u (1/32) του χρόνου μετάδοσης του μέγιστου μεγέθους πακέτου (maximum transmission unit - MTU) που μπορεί να μεταδώσει το επίπεδο δικτύου. Οι τιμές που μπορεί να πάρει το χρονικό διάκενο στο VMTP είναι από 0 (όπου έχουμε συνεχή ροή) έως το 8πλάσιο του χρόνου μετάδοσης. Τα διάκενα προσαρμόζονται ανάλογα με την απώλεια δεδομένων που υπάρχει κατά την διαδρομή από τον αποστολέα στον παραλήπτη, λόγω υπερχειλίσις στους ενδιάμεσους κόμβους (data overrun).

Το HSTP χρησιμοποιεί και τους δύο μηχανισμούς που είδαμε στα προηγούμενα πρωτόκολλα που εξετάσαμε. Ο έλεγχος ροής υλοποιείται με ένα μηχανισμό συρόμενου παραθύρου μεταβλητού μεγέθους που βασίζεται, όπως και στο TCP, στον αριθμό ακολουθίας των bytes δεδομένων. Η χρήση του μηχανισμού αυτού είναι προαιρετική. Ο μηχανισμός ελέγχου ρυθμού ροής στο HSTP στηρίζεται σε δύο παραμέτρους, το μέγιστο ρυθμό εκπομπής και το μέγιστο μέγεθος κάθε *καταιγισμού* (burst). Ο έλεγχος ρυθμού ροής στο HSTP είναι προαιρετικός και σκοπεύει στην ομοιόμορφη χρονική κατανομή της εκπομπής δεδομένων.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι τα TCP και TP4 έχουν μόνο μηχανισμό ελέγχου ροής, το VMTP μόνο μηχανισμό ελέγχου ρυθμού ροής και το HSTP σε μια προσπάθεια να εκμεταλλευτεί πλήρως τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς των σύγχρονων δικτύων χωρίς προβλήματα υπερχειλίσις, υλοποιεί και τους δύο μηχανισμούς δίνοντας τη δυνατότητα να επιλεγεί ο ένας από τους δύο ή και οι δύο μαζί.

Ε. Πρόσθετα χαρακτηριστικά

Πέρα από τους βασικούς μηχανισμούς που κάθε πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς οφείλει να έχει (διαχείριση σύνδεσης, αναγνώριση αντιγράφων πληροφοριών, επανεκπομπή κατεστραμμένων δεδομένων και έλεγχο της ροής του) υπάρχουν και κάποια άλλα χαρακτηριστικά που, αν και είναι επιθυμητά, δεν είναι ουσιώδη για τη λειτουργία του.

Εκτός από τη σωστή μεταφορά της πληροφορίας, πολλές φορές είναι απαραίτητο να υπάρχει και προστασία των δεδομένων απέναντι σε τρίτους που θα προσπαθήσουν να τα διαβάσουν ή παραποιήσουν. Η κρυπτογράφηση δεν είναι αρμοδιότητα του επιπέδου μεταφοράς, παρ' όλα αυτά το VMTP παρέχει τη δυνατότητα αυτή για κάθε TPDU ξεχωριστά.

Άλλη δυνατότητα που καλό είναι να προσφέρεται, είναι η ύπαρξη προτεραιοτήτων στις συνδέσεις. Όπως έχει αναφέρει, η προτεραιότητα των συνδέσεων είναι συνιστώσα της ποιότητας της υπηρεσίας που παρέχεται από το επίπεδο μεταφοράς.

Το TCP δεν παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού προτεραιότητας μεταξύ των συνδέσεων στο επίπεδο μεταφοράς. Το IP πρωτόκολλο πάντως, με το οποίο συνήθως συνεργάζεται στο επίπεδο δικτύου έχει 8 επίπεδα προτεραιοτήτων στα *αυτοδύναμα πακέτα* (datagrams) που χρησιμοποιεί.

Στο TP4 η προτεραιότητα της σύνδεσης μπορεί να καθοριστεί κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης, παίρνοντας 2^{16} δυνατές τιμές.

Το VMTP ορίζει 4 κατηγορίες προτεραιοτήτων στην εξυπηρέτηση των αιτήσεων και των απαντήσεων από τον εξυπηρέτη και τον εξυπηρετούμενο αντίστοιχα. Κάθε αίτηση ή απάντηση μπορεί να οριστεί ως επείγουσα, σημαντική, κανονική και υπόβαθρου (urgent/emergency, important, normal και background αντίστοιχα). Κάθε κατηγορία προτεραιοτήτων έχει 4 επιπλέον διαβαθμίσεις.

Το HSTP, τέλος, παρέχει μηχανισμό προτεραιοτήτων που χρησιμοποιείται προαιρετικά και υποστηρίζει 2^{32} δυνατές προτεραιότητες.

Άλλη δυνατότητα που μπορεί να προσφέρει το επίπεδο μεταφοράς είναι η μετάδοση επειγόντων ή επισπευσμένων (urgent/expedited) δεδομένων που χρήζουν άμεσης επεξεργασίας, ανεξάρτητα από τη σειρά λήψης τους. Με κατάλληλη χρήση της δυνατότητας αυτής, οι εφαρμογές μπορούν να αντιδρούν άμεσα σε κάποια εξωτερικά γεγονότα (events) που προέρχονται είτε από μια συνεργαζόμενη εφαρμογή, είτε από το δικτυακό υπόστρωμα (π.χ. μεταβολή της ποιότητας υπηρεσίας του δικτύου).

Μόνο το TCP και TP4 προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα, ενώ στα VMTP και HSTP η μετάδοση επειγόντων ή επισπευσμένων δεδομένων μπορεί να αναπληρωθεί εν μέρει με την κατάλληλη χρήση των προτεραιοτήτων στις συνδέσεις, αλλά απαιτείται ξεχωριστή σύνδεση ή συναλλαγή για να επιτευχθεί αντίστοιχη λειτουργικότητα με αυτή των επειγόντων/επισπευσμένων δεδομένων.

Μία επίσης σημαντική παράμετρος του επιπέδου μεταφοράς είναι η πολυπλεξία, η οποία παρέχει μία πιθανή δυνατότητα υλοποίησης του συγχρονισμού, που απαιτούν οι εφαρμογές πολυμέσων. Στο επίπεδο μεταφοράς πολυπλεξία μπορεί να πραγματοποιηθεί προς τα πάνω ή προς τα κάτω [3]. Το συνηθέστερο είδος πολυπλεξίας είναι προς τα πάνω. Όλα τα πρωτόκολλα που αναφέρονται μπορούν να παρέχουν δυνατότητα πολυπλεξίας με τη χρήση των κατάλληλων μηχανισμών που υποστηρίζονται από τα TSAPs (Transport Service Access Points).

Τελειώνοντας την παρουσίαση των κυριότερων χαρακτηριστικών των πρωτοκόλλων που εξετάζουμε με την πολύ σημαντική δυνατότητα για πολλαπλή αποστολή δεδομένων (multicast). Στις εφαρμογές πολυμέσων όπου έχουμε πολλά συνεργαζόμενα μέρη, όπως π.χ. στην τηλεδιάσκεψη, είναι απαραίτητη η αποστολή των δεδομένων σε πολλούς παραλήπτες. Αν δεν υπάρχει η δυνατότητα για πολλαπλή αποστολή δεδομένων, πρέπει τα ανώτερα επίπεδα να εγκαταστήσουν, να διαχειριστούν και να τερματίσουν ένα μεγάλο αριθμό συνδέσεων. Αυτό όμως συνεπάγεται επιβάρυνση του δικτυακού υποστρώματος και των υπολογιστικών συστημάτων που εμπλέκονται στην μεταφορά των δεδομένων. Η πολλαπλή αποστολή απλοποιεί κατά πολύ όλες αυτές τις διαδικασίες.

Από τα πρωτόκολλα που εξετάζουμε, μόνο τα VMTP και HSTP έχουν τη δυνατότητα πολλαπλής αποστολής δεδομένων. Στο VMTP μπορούμε να ορίσουμε μία *οντότητα ομάδας* (group entity) που να εκπροσωπεί πολλούς εξυπηρέτες. Μία αίτηση που στέλνεται σε αυτή την οντότητα προωθείται στους εξυπηρέτες που εκπροσωπεί, υλοποιώντας με τον τρόπο αυτό την πολλαπλή αποστολή δεδομένων.

Ανάλογη είναι η διαδικασία και στο HSTP, όπου ορίζεται μία διεύθυνση πρόσβασης στο επίπεδο μεταφοράς (TSAP) που εκπροσωπεί πολλούς παραλήπτες. Όταν δεδομένα από ανώτερα επίπεδα απευθύνονται σε αυτό το TSAP προωθούνται στους παραλήπτες που αυτό εκπροσωπεί. Ο

τρόπος που γίνεται η απεικόνιση από το επίπεδο μεταφοράς στο επίπεδο δικτύου εξαρτάται από το αν το επίπεδο δικτύου υποστηρίζει με τη σειρά του πολλαπλή αποστολή δεδομένων.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά την παρουσίαση των πρωτοκόλλων για το επίπεδο μεταφοράς περνάμε τώρα στην εξαγωγή των συμπερασμάτων μας για χρήση αυτών σε περιβάλλον εφαρμογών πολυμέσων.

Οι αυριανές εφαρμογές θα χρησιμοποιούν υπολογιστικά συστήματα πολύ μεγαλύτερης υπολογιστικής ισχύος από τα σημερινά, μεταφέροντας τα δεδομένα τους πάνω από ταχύτητα και πολύ αξιόπιστα δίκτυα, τόσο σε τοπικό όσο και ευρύτερο γεωγραφικό χώρο. Έτσι χρειαζόμαστε απλά εν γένει πρωτόκολλα που να εκμεταλλεύονται όσο το δυνατόν καλύτερα τις δυνατότητες του υλικού, εξυπηρετώντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών μέσω κατάλληλων μηχανισμών.

Η απλότητα και η γενικευμένη χρήση του TCP είναι σοβαρά πλεονεκτήματα, αλλά η διαδικασία εγκατάστασης σύνδεσης 3 δρόμων, ο μηχανισμός επανεκπομπής N μπλοκ και η αδυναμία για πολλαπλή αποστολή δεδομένων, καταστούν προβληματική τη χρήση του σε περιβάλλοντα πολυμέσων στην παρούσα του μορφή.

Το TP4, αν και είναι διεθνές OSI πρότυπο, λόγω της πολυπλοκότητας του παρουσιάζει δυσκολίες στην υλοποίηση του. Μειονεκτήματα του είναι ο απότομος τερματισμός των συνδέσεων, που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων, ο μηχανισμός επανεκπομπής του, που είναι όμοιος με του TCP και η απουσία δυνατότητας για πολλαπλή αποστολή δεδομένων. Το πιο σημαντικό του πλεονέκτημα είναι η ικανότητα για διαπραγμάτευση όλων των παραμέτρων της ποιότητας υπηρεσίας κατά το OSI πρότυπο αλλά η απουσία μηχανισμού παρακολούθησης (monitoring) της ποιότητας της υπηρεσίας περιορίζουν την αξία του πλεονεκτήματος αυτού.

Το VMTP είναι ένα πρωτόκολλο κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα RPC και καταναμημένων εφαρμογών, επειδή λειτουργεί πάνω στο μοντέλο Εξυπηρετούμενος-Εξυπηρετής. Χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό επιλεκτικής επανεκπομπής δεδομένων και μηχανισμό για έλεγχο του ρυθμού ροής τους, ώστε να αποφεύγεται η απώλεια δεδομένων λόγω υπερχειλίσης των ενδιάμεσων κόμβων, η οποία μαζί τη δυνατότητα του για πολλαπλή αποστολή τους το κάνει πολύ ελκυστικό για χρήση σε περιβάλλοντα καταναμημένων εφαρμογών ή βάσεων δεδομένων πολυμέσων.

Το HSTP, αν και πολύπλοκο γενικά πρωτόκολλο, έχει ορισμένες αρετές που αξιολογούνται θετικά για τα περιβάλλοντα τα οποία μας ενδιαφέρουν. Η δυνατότητα για υπονοούμενη σύνδεση 2 δρόμων, το σταθερό μέγεθος των 32 bit για τα περισσότερα πεδία, η επιλεκτική επανεκπομπή δεδομένων και ο έλεγχος ροής και ρυθμού ροής δεδομένων, μαζί με τη δυνατότητα για πολλαπλή αποστολή τους, το καθιστά ένα σοβαρό υποψήφιο για χρήση σε περιβάλλοντα εφαρμογών πολυμέσων. Σε αυτό συμβάλλει και το γεγονός ότι μπορεί να προσφέρει στα παραπάνω επίπεδα υπηρεσία πρωτοκόλλου που λειτουργεί με ή χωρίς σύνδεση.

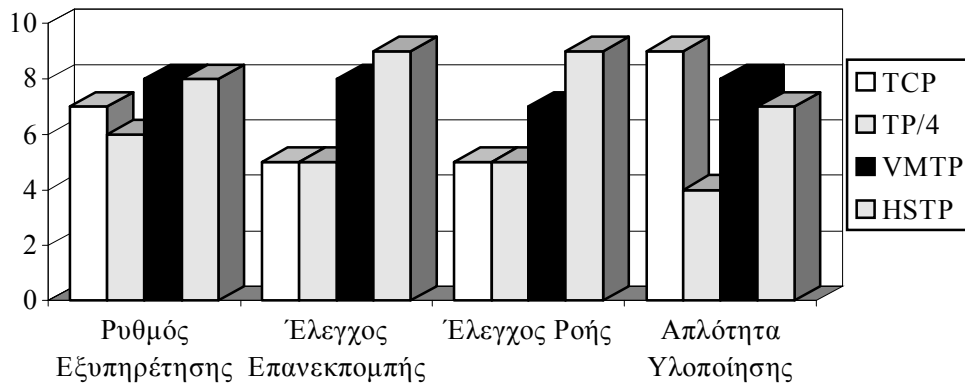
Ανεξάρτητα από τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα κάθε πρωτοκόλλου, όλα υπολείπονται στο θέμα της διαπραγμάτευσης και επαναδιαπραγμάτευσης της ποιότητας της υπηρεσίας που το επίπεδο μεταφοράς προσφέρει, αν και το TP4 είναι το πληρέστερο σ' αυτόν τον τομέα.

Ανοικτό πάντα παραμένει το θέμα της παρακολούθησης αυτής της ποιότητας καθώς και ο καθορισμός των περαιτέρω ενεργειών που πρέπει να γίνουν σε περίπτωση υποβάθμισης ή ζητούμενης αναβάθμισης της.

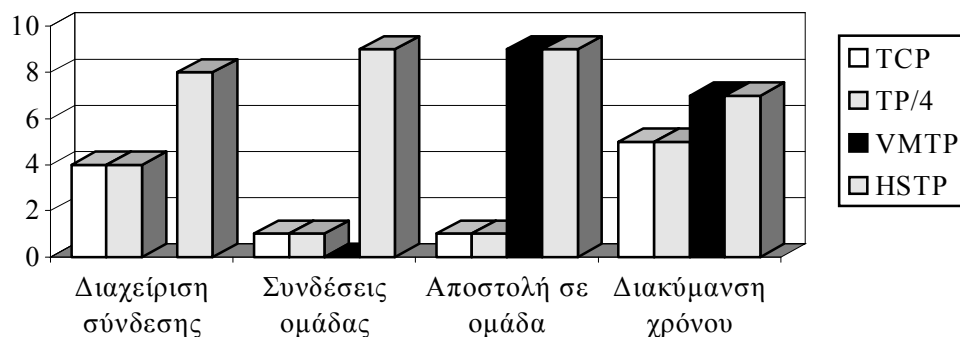
Πιστεύουμε ότι τα σημερινά πρωτόκολλα που προτείνονται για να υλοποιήσουν το OSI επίπεδο μεταφοράς δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις απαιτήσεις που έχουν οι εφαρμογές πολυμέσων [8] [9] [11] [12]. Τα παλαιότερα δε από αυτά υπολείπονται αρκετά, ενώ τα πιο

σύγχρονα προσπαθούν να τις ικανοποιήσουν [2] [5]. Συνεπώς επιπλέον εργασία μένει να γίνει πάνω στα πρωτόκολλα που υλοποιούν το επίπεδο μεταφοράς. Στα σχήματα 3 και 4 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα καταλληλότητας των μηχανισμών των εξετασθέντων πρωτοκόλλων για δύο εφαρμογές πολυμέσων, την ανάκτηση εγγράφων και την τηλεδιάσκεψη. Για την τηλεδιάσκεψη ισχύουν και οι βαθμοί καταλληλότητας που δίνονται στο σχήμα 3.

Σχήμα 3 - Καταλληλότητα πρωτοκόλλων για Multimedia Document Retrieval



Σχήμα 4 - Καταλληλότητα πρωτοκόλλων για τηλεδιάσκεψη



Η επιλογή πάντως κάποιου πρωτοκόλλου δεν είναι εύκολη υπόθεση, διότι από τα χαρακτηριστικά της σχεδίασης είναι πολύ δύσκολο να εξαχθεί αξιόπιστο συμπέρασμα σχετικά με την απόδοση του σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Για το λόγο αυτό μία προσομοίωση των τεσσάρων υπό σύγκριση πρωτοκόλλων είναι απαραίτητη αν θέλουμε να είμαστε αντικειμενικοί στις επιλογές και στις προτάσεις μας.

Τέλος μετά την προσομοίωση και την επιλογή του επικρατέστερου πρωτοκόλλου καλό είναι να ακολουθήσει μία εργαστηριακή εφαρμογή του σε πειραματική βάση ώστε να επιβεβαιωθούν τα συμπεράσματα της προσομοίωσης και να μελετηθεί η λειτουργία στον πραγματικό κόσμο των εφαρμογών πολυμέσων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. Coulson, G.S. Blair, N. Davies, N. Williams, "Extensions to ANSA for Multimedia Computing", Computer Networks and ISDN Systems, December 1992.
- [2] W. A. Doeringer, D. Dykeman, M. Kaiserswerth, a.o., "A Survey of Light-Weight Transport Protocols for High-Speed Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, November 1990.
- [3] A. Tanenbaum (1988), "Computer networks", Second Edition.
- [4] Th. Bozios, N.B. Pronios, et. al, "Multimedia Service Requirements" February 1993
- [5] D.Ferrari, A. Banerjea, N Zhang, "Network Support for Multimedia", The International Computer Science Institute, Berkley , Ca, November 1992.
- [6] C. Nicolaou, "An Architecture for Real-Time Multimedia Communication systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, April 1990.
- [7] V. Kompella, J. Pascuale and G. Polyzos, "Multicasting for Multimedia Applications", IEEE INFOCOM 92
- [8] ESPRIT Project OSI95, "Integrated Quality of Service for Multimedia Communications", August 1992
- [9] M. Salmony, D. Shepherd, "Extending OSI to Support Synchronization Required by Multimedia Applications", IBM European Networking Center, December 1991.
- [10] D. Ferrari, "Client Requirements for Real Time Communication Services", The International Computer Science Institute, Berkley, CA, November 1992.
- [11] ESPRIT Project OSI95, "A Continuous Media Transport and Orchestration Service", August 1992
- [12] T. D. C. Little, A. Ghafoor, "Multimedia Synchronization Protocols for Distributed Multimedia Object Composition and Communication", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, December 1991.
- [13] T. D. C. Little, A. Ghafoor, "Network Considerations for Distributed Multimedia Object Composition and Communication", IEEE Network, November 1990.
- [14] J. Postel (ed), "Internet Protocol", RFC791, Network Information Center, 1984.
- [15] J. Postel (ed), "Transmission Control Protocol", RFC793, Network Information Center, 1984.
- [16] ISO DP 8073, " ISO Connection-oriented Transport Protocol Specification", December 1988
- [17] D. Cheriton, "VMTP: Versatile Message Transaction Protocol - Protocol Specification", version 0.6, Stanford University, January 1988
- [18] Protocol Engines, Inc. "XTP Protocol Definition", Revision 3.6, January 1992.
- [19] ISO/IEC JTC1/SC6, "Proposed Working Draft High Speed Transport Protocol", January 1992.
- [20] ISO/IEC JTC1/SC6, "Proposed Working Draft High Speed Transport Service", January 1992.