Μεταπτυχιακή Ερευνητική Εργασία για το μάθημα «Διαδικτυακά Πρωτόκολλα»:

TCP: From Wired Foundations to Next-Generation Networks - Evolution, Trade-offs, and Modern Challenges

1. Στόχος και Φιλοσοφία της Εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η συγγραφή ενός **πρωτότυπου Survey Paper** με προοπτική δημοσίευσης σε διεθνές επιστημονικό περιοδικό.

Το άρθρο σας *δεν πρέπει να είναι μια απλή ιστορική καταγραφή*. Αντίθετα, πρέπει να αναδείξετε το «ερευνητικό νήμα» που συνδέει τα θεμελιώδη προβλήματα του TCP με τις σημερινές προκλήσεις. Συγκεκριμένα, να δείξετε πώς οι θεμελιώδεις συμβιβασμοί (trade-offs) που εντοπίστηκαν πριν από δύο δεκαετίες στα κινητά και δορυφορικά δίκτυα -όπως η σύγκρουση μεταξύ αποκριτικότητας (responsiveness) και ομαλότητας (smoothness), καθώς και η αδυναμία διάκρισης της συμφόρησης από τα σφάλματα ασύρματου καναλιού- επανέρχονται σήμερα στο προσκήνιο σε τεράστια κλίμακα λόγω των δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO), των δικτύων 5G/6G, της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI/ML) και του πρωτοκόλλου QUIC.

2. Οδηγίες Συγγραφής & Μεθοδολογία

Για να αποκτήσει το άρθρο επιστημονική αξία και να γίνει αποδεκτό από κριτές (reviewers), πρέπει να ακολουθήσετε τα εξής βήματα:

- **Δημιουργία Ταξινόμησης (Taxonomy):** Μην παρουσιάζετε τα άρθρα της βιβλιογραφίας σειριακά. Κατηγοριοποιήστε τους αλγορίθμους TCP με βάση τον μηχανισμό λειτουργίας τους (π.χ. *Loss-based*, *Delay-based*, *Model-based*, *Receiver-oriented*, *ML-driven*) και το δικτυακό περιβάλλον στο οποίο στοχεύουν.
- **Κριτική Σύγκριση (Comparative Tables):** Δημιουργήστε 2–3 αναλυτικούς συγκριτικούς πίνακες που θα αντιπαραβάλλουν τους ιστορικούς και σύγχρονους αλγορίθμους ως προς: το περιβάλλον αξιολόγησης (ns-3, Mininet, πραγματικό δίκτυο), τις μετρικές επίδοσης (Throughput, RTT, Fairness, Smoothness, Energy Efficiency) και τα βασικά τους μειονεκτήματα.
- **Ανάδειξη Ερευνητικών Κενών (Open Research Issues):** Στο τελευταίο μέρος του άρθρου, συνθέστε τα συμπεράσματά σας προτείνοντας συγκεκριμένες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα (π.χ. προσαρμογή αλγορίθμων σε δορυφορικά handovers, ελαφριά μοντέλα AI στον πυρήνα μέσω eBPF, TCP για IoT).
- **Μορφοποίηση & Έκταση:** Το κείμενο πρέπει να γραφτεί στα Αγγλικά, σε πρότυπο **IEEE Transactions (double-column)**, με έκταση **12 έως 16 σελίδες** και τουλάχιστον **50 βιβλιογραφικές αναφορές** (συνδυάζοντας κλασικά άρθρα-ορόσημα με πρόσφατες δημοσιεύσεις της περιόδου 2020–2026).

3. Προτεινόμενη Δομή & Βασική Βιβλιογραφία Εκκίνησης (Seed Papers)

Χρησιμοποιήστε τα παρακάτω θεμελιώδη άρθρα ως αφετηρία για κάθε ενότητα και επεκτείνετε την αναζήτησή σας σε πρόσφατα συνέδρια (ACM SIGCOMM, IMC, IEEE INFOCOM, ICC κ.λπ):

Ενότητα Ι: Εισαγωγή & Τα Θεμέλια του Ενσύρματου TCP

Περιγραφή: Πώς σχεδιάστηκε το TCP, η μαθηματική θεμελίωση του AIMD και γιατί η βασική παραδοχή «απώλεια πακέτου = συμφόρηση» δημιούργησε δομικά προβλήματα.

- Cerf, V., & Kahn, R. (1974). A Protocol for Packet Network Intercommunication. *IEEE Transactions on Communications*, 22(5), 637–648.
- Jacobson, V. (1988). Congestion Avoidance and Control. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 18(4), 314–329.
- Chiu, D. M., & Jain, R. (1989). *Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks*. *Computer Networks and ISDN Systems*, 17(1), 1–14.

Ενότητα ΙΙ: Η Επέκταση σε Κινητά, Ετερογενή & Δορυφορικά Δίκτυα (Θεμελιώδεις Συμβιβασμοί)

Περιγραφή: Η μετάβαση σε ασύρματα και δορυφορικά περιβάλλοντα. Εδώ πρέπει να αναλύσετε τη σύγκρουση μεταξύ **responsiveness** (πόσο γρήγορα αντιδρά το πρωτόκολλο σε αλλαγές) και **smoothness** (πόσο σταθερό ρυθμό προσφέρει σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου), καθώς και τον έλεγχο συμφόρησης από την πλευρά του δέκτη.

- Tsaoussidis, V., & Matta, I. (2002). Open Issues on TCP for Mobile Computing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2(1), 3–20. *(Θεμελιώδης ανάλυση για την αποσύνδεση των σφαλμάτων καναλιού από τη συμφόρηση και την ενεργειακή απόδοση).*
- Zhang, C., & Tsaoussidis, V. (2001/2002). TCP-Real: Improving Real-time Capabilities of TCP over Heterogeneous Networks. *ACM NOSSDAV / Computer Networks*, 40(4), 477–497. *(Εισάγει τον έλεγχο συμφόρησης από τον δέκτη - receiver-oriented - για ασύμμετρα και δορυφορικά δίκτυα).*
- Yang, Y. R., Kim, M. S., & Lam, S. S. / Tsaoussidis, V. & Zhang, C. (2002/2003). *The Interrelation of TCP Responsiveness and Smoothness in Heterogeneous Networks / IEEE JSAC (Journal on Selected Areas in Communications)* (αναζητήστε τις δημοσιεύσεις των Tsaoussidis & Zhang στο *IEEE JSAC* και *IEEE/ACM ToN* για τα πρωτόκολλα **TCP(α,β)** και το trade-off μεταξύ responsiveness και smoothness).
- Balakrishnan, H., Padmanabhan, V. N., Seshan, S., & Katz, R. H. (1997). *A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links*. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(6), 756–769. [1]

Ενότητα ΙΙΙ: Η Εποχή των Υψηλών Ταχυτήτων, Data Centers & Model-Based TCP

Περιγραφή: Πώς το TCP προσαρμόστηκε σε δίκτυα πολύ υψηλού Bandwidth-Delay Product (BDP) και σε κέντρα δεδομένων (πρόβλημα TCP Incast), εγκαταλείποντας σταδιακά την αποκλειστική εξάρτηση από την απώλεια πακέτων.

- Ha, S., Rhee, I., & Xu, L. (2008). *CUBIC: A New TCP-Friendly High-Speed TCP Variant*. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 42(5), 64–74.
- Alizadeh, M., et al. (2010). *Data Center TCP (DCTCP)*. *ACM SIGCOMM*, 63–74.
- Cardwell, N., et al. (2017). *BBR: Congestion-Based Congestion Control*. *Communications of the ACM*, 60(2), 58–66.

Ενότητα IV: Σύγχρονες Προκλήσεις & Μελλοντικές Κατευθύνσεις (2022–2026)
Περιγραφή: Συνδέστε τις θεωρητικές έννοιες της Ενότητας II με τις σημερινές τεχνολογικές προκλήσεις:

1. Δορυφορικά Δίκτυα LEO (π.χ. Starlink): Πώς οι εναλλαγές δορυφόρων (handovers) κάθε λίγα δευτερόλεπτα επαναφέρουν το πρόβλημα του *responsiveness vs. smoothness* και προκαλούν κατάρρευση της απόδοσης σε αλγορίθμους όπως ο CUBIC και ο BBR. Εδώ μπορείτε να αναφερθείτε στο διαστημικό διαδίκτυο και το κενό που έρχεται να καλύψει το DTN (βλ. άρθρο *Space for Internet and Internet for Space*)
2. AI/ML-Driven Congestion Control: Ανασκόπηση αλγορίθμων βαθιάς ενισχυτικής μάθησης (π.χ. *Aurora*, *Orca*, *Sage*). Συζητήστε το πρόβλημα γενίκευσης (*Sim-to-Real gap*) και το υπολογιστικό κόστος.
3. QUIC vs. TCP & Kernel Programmability (eBPF): Πώς το QUIC (RFC 9000) αντιμετωπίζει την ακαμψία του δικτύου (*protocol ossification*) και πώς το Linux eBPF επιτρέπει πλέον στο TCP να αναβαθμίζεται δυναμικά χωρίς αλλαγή πυρήνα.
4. Ultra-Low Latency & L4S (RFC 9330): Η νέα αρχιτεκτονική της IETF για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Cloud Gaming, XR/VR).

4. Χρονοδιάγραμμα Παραδοτέων (Milestones)

- Dec 2: Υποβολή αναλυτικού σκελετού (Outline) και λίστας επιλεγμένων άρθρων ανά ενότητα. Θα. Πρέπει να αναφέρετε ποιο κομμάτι έχει αναλάβει ο καθένας από εσάς και πώς έγινε η κατανομή της εργασίας μεταξύ σας.
- Dec 18: Παράδοση της ιστορικής ανασκόπησης (Ενότητες I–III) και του πρώτου συγκριτικού πίνακα.
- Jan 12: Παράδοση της ανάλυσης σύγχρονων προκλήσεων (Ενότητα IV) και της ενότητας *Open Research Issues*.
- Feb 10: Τελική υποβολή μορφοποιημένου άρθρου σε πρότυπο IEEE LaTeX (overleaf), έτοιμου για υποβολή σε περιοδικό.