



## Υπολογιστικά Νέφη ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5

« Μελέτη Απόδοσης και Σχεδίασης ενός Πολύ-επεξεργαστικού Συστήματος Κινητής Υπολογιστικής στην Άκρη του Δικτύου (Mobile Edge Computing ή Multi-Acess Edge Computing) σε δίκτυα 5G/6G για την πόλη της Καστοριάς »

Οκτώβριος 2024

Συμπληρώστε τα στοιχεία σας πριν την αποστολή της εργασίας

Ονοματεώνυμο	Δημήτριος Γκούμας
Αριθμός Μητρώου	4502

**Στόχος: Η περιγραφή και εξοικείωση με σύγχρονα σχεδιαστικά, ερευνητικά, αναπτυξιακά προβλήματα και απαιτήσεις σε τεχνικές μελέτες**

Η παρούσα άσκηση αποτελεί μια πρώτη προσεγγιστική μελέτη της απόδοσης και σχεδίασης ενός πολύ-επεξεργαστικού συστήματος κινητής υπολογιστικής στην άκρη του δικτύου (Mobile Edge Computing ή Multi-Acess Edge Computing) για την υλοποίηση 5G/6G δικτύων στην πόλη της Καστοριάς. Η εργασία βασίζεται σε σύγχρονες πειραματικές και ερευνητικές μετρήσεις σε σύγχρονα συστήματα, ενώ περιγράφει σύγχρονες ρεαλιστικές εφαρμογές επίσης βασισμένες σε πραγματικά συστήματα και σύγχρονα σενάρια χρήσης των ανερχόμενων δικτύων 5G/6G.

Ο διδάσκων αναγνωρίζει ότι η παρούσα εργασία αποτελεί πεδίο μεγάλης και δύσκολης μελέτης/ έρευνας, ίσως πολλών βδομάδων/μηνών, και για αυτό θα βαθμολογηθεί πιο ελαστικά μια ορθή και δομημένη, συστηματική μελέτη (έστω και απλοϊκή αλλά συνεκτική προσέγγιση) στα πλαίσια που δύναται και επιθυμεί ο καθένας. Δείτε το σαν ένα προ-στάδιο μιας πτυχιακής, ή μεταπτυχιακής ή ερευνητικής ή επαγγελματικής.... τεχνικής εργασίας στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας για το εγγύς μέλλον.

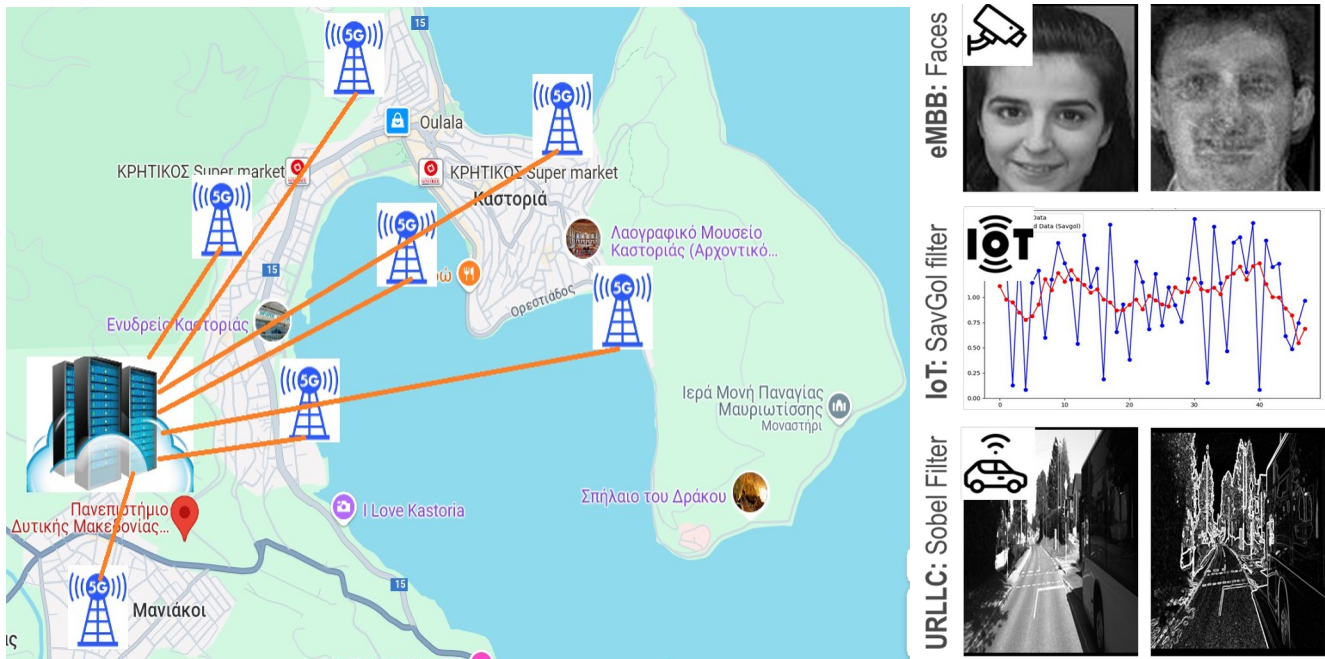
Παρακάτω δίνονται κάποια δημογραφικά δεδομένα

- **Πληθυσμός Καστοριάς (απογραφή 2021): 33.095**
- **Μέγιστος πλήθος συνδρομητών Δικτύου 5G/6G που δημιουργούν αιτήματα (αυθαίρετο νούμερο): 10.000**
- **Τρεις βασικές κατηγορίες εφαρμογών 5G/6G και ποσοστά από τους συνδρομητές που καταλαμβάνουν :**



- ο - 1<sup>η</sup> κατηγορία: Enhanced Mobile Broadband επικοινωνίες (eMBB) για εφαρμογές βιντεοκλήσεων και αναγνώρισης προσώπου σε βίντεο σε ποσοστό 30% των συνδρομητών
  - ο - 2<sup>η</sup> κατηγορία: Internet of Things (IoT) και διαδίκτυο των πραγμάτων με αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας σε ποσοστό 60% των συνδρομητών
  - ο - 3<sup>η</sup> κατηγορία: Ultra Reliable Low Latency (URLLC) για αυτόνομη οδήγηση με αναγνώριση εμποδίων μέσα από κάμερες και βίντεο πραγματικού χρόνου με ποσοστό 10% των συνδρομητών.
- **Κατανομές Πυκνότητας - Πιθανότητας** να εμφανιστούν οι συγκεκριμένοι συνδρομητές / συσκευές και πλήθος αιτημάτων:
    - ο **eMBB αιτήματα:** Έστω ότι τα αιτήματα κάθε χρήστη/συνδρομητή ακολουθούν μία εκθετική κατανομή με μέσο ρυθμό άφιξης 2 αιτήματα την ώρα (ή 1 ανά 30 λεπτά), π.χ. για την ανάγκη εγκατάστασης και επεξεργασίας των frame των βιντεοκλήσεων.
    - ο **IoT αιτήματα:** Έστω ότι τα αιτήματα κάθε χρήστη/συνδρομητή ακολουθούν μία εκθετική κατανομή με μέσο ρυθμό άφιξης 120 αιτήματα την ώρα (ή 1 ανά μισό λεπτό), που καταγράφουν και επεξεργάζονται π.χ. τις τιμές θερμοκρασίας για να υπολογιστεί ένας μικρός μέσος όρος των πέντε τελευταίων τιμών.
    - ο **URLLC αιτήματα:** Έστω ότι τα αιτήματα κάθε χρήστη/συνδρομητή ακολουθούν μία εκθετική κατανομή με μέσο ρυθμός άφιξης 1 σειράς/ομάδας αιτημάτων την ώρα, αλλά κάθε ομάδα URLLC αιτημάτων περιλαμβάνει 20 διαδοχικά αιτήματα, καθώς π.χ. απαιτείται η περιστασιακά ή κατά ριπές επεξεργασία των διαδοχικών frame (ή βίντεο κομματιών) της καταγραφής πραγματικού χρόνου της κάμερας ενός αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια της οδήγησής.

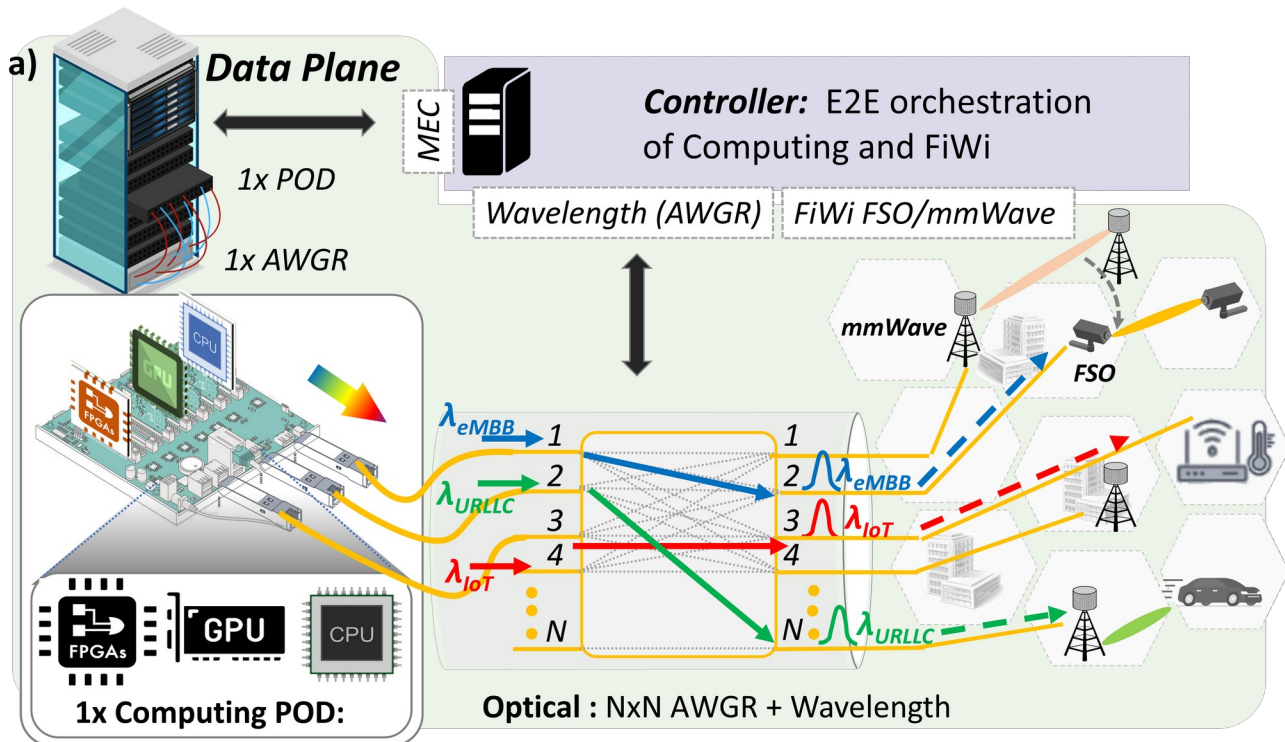
Θεωρείστε ότι τα παραπάνω αιτήματα των συνδρομητών 5G/6G καταφτάνουν στο υπολογιστικό σύστημα στις εγκαταστάσεις του Τμ. Πληροφορικής μέσω ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G/6G που **χρησιμοποιεί 7 Σταθμούς Βάσεις** (ή Σημεία Πρόσβασης / Access Points) που δίνουν πρόσβαση στα τερματικά των χρηστών, όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 1-αριστερά. Έπειτα, η κίνηση και τα αιτήματα όλων των συνδρομητών συγκεντρώνονται στο υπολογιστικό σύστημα παροχής υπολογιστικών υπηρεσιών νέφους, για να εκτελέσουν τα απαιτούμενα tasks των νέων εφαρμογών, με ενδεικτικές εφαρμογές και αποτελέσματα (εισόδου-εξόδου) από τα τρία σενάρια χρήσης να εμφανίζονται στις δεξιές στήλες της Εικόνας 1, για κάθε μία από τις τρεις εφαρμογές



**Εικόνα 1** Οραματιζόμενο δίκτυο 5G/6G με υπολογιστική στην άκρη του δικτύου, με μια σειρά από ετερογενείς εξυπηρετητές / servers που έχουν εγκατασταθεί και διασυνδεθεί σε ένα cluster στο Τμ. Πληροφορικής του Π.Δ.Μ. με στόχο να παρέχουν υπολογιστική νέφους / cloud computing υπηρεσίες σε συνδρομητές 5G/6G.

Επίσης να θεωρήσετε ότι όλοι οι συνδρομητές χωρικά ακολουθούν μια ομοιόμορφη κατανομή και είναι κατανεμημένοι ομοιόμορφα στη γεωγραφική έκταση της πόλης. Με άλλη λόγια είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι πόλη και άρα η πιθανότητα (και η συχνότητα των αιτημάτων) να συνδεθούν σε ένα από τους 7 Σταθμούς Βάσης είναι ισοπίθανη. Δηλαδή, ίδιος αριθμός συνδρομητών εμφανίζονται και διασυνδέονται από κάθε κεραία/Σταθμό Βάσης, ενώ θα μπορούσε σε πραγματικές συνθήκες αυτό να μεταβάλλεται δυναμικά, και επομένως να απαιτεί και δυναμική αλλαγή και προγραμματιζόμενη ρύθμιση της τοπολογίας του δικτύου – εισερχόμενες γραμμές διασύνδεσης.

Ενδεικτικά μία προγραμματιζόμενη ευέλικτη τοπολογία διασύνδεσης του οπτικού ασύρματου δικτύου απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 2.



**Εικόνα 2** Σχεδίαση και προγραμματιζόμενη ευέλικτη τοπολογία διασύνδεσης του οπτικού ασύρματου δικτύου διασύνδεσης των 5G/6G συνδρομητών στα 7 Σημεία Πρόσβασης των συνδρομητών με τους εξυπηρετητές του σύγχρονου πολύ-επεξεργαστικού συστήματος κινητής υπολογιστικής στην άκρη του δικτύου από το Τμήμα Πληροφορικής για την πόλη της Καστοριάς

Καθώς οι εφαρμογές αυτές έχουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις, απαιτούν σωστό χρονο-προγραμματισμό με σύνθετες τεχνικές ανάθεσης για να ικανοποιήσουν τα διαφορετικά και αυστηρά κριτήρια λειτουργίας και παροχής ποιότητας υπηρεσιών και εμπειρίας (Quality of service / Quality of Experience). Κατά συνέπεια απαιτούν και διαφορετικά συστήματα επεξεργαστών.

Για την παρούσα άσκηση θεωρείστε λοιπόν ότι **το υπολογιστικό σύστημα έχει τρεις τύπους επεξεργαστών**, και συγκεκριμένα:

- Ένα κανονικό επεξεργαστή CPU για επεξεργασία γενικού σκοπού και οποιασδήποτε εφαρμογής, που επίσης απαιτείται για να τρέξει το λειτουργικό του συστήματος
- Έναν επεξεργαστή GPU που υλοποιεί CUDA κώδικα και εφαρμογές και τρέχει καλύτερα εφαρμογές υψηλής απόδοσης και παράλληλης επεξεργασίας γραμμικών πράξεων
- Έναν επεξεργαστή FPGA που εκτελεί εφαρμογές με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιεί επιλεκτικά μόνο τα κυκλώματα πυλών που απαιτούνται.

Και οι τρεις διαφορετικές κατηγορίες εφαρμογών μπορούν να εκτελεστούν σε οποιονδήποτε από τους τρεις επεξεργαστές, πετυχαίνοντας διαφορετικούς χρόνους εκτέλεσης και κατά συνέπεια και διαφορετική κατανάλωση ενέργειας. Όπως είναι





προφανές, διαφορετικές εφαρμογές ταιριάζουν καλύτερα σε διαφορετικούς επεξεργαστές, λόγω της φύσης των εφαρμογών και των απαιτήσεων επεξεργασίας του αλγορίθμου τους.

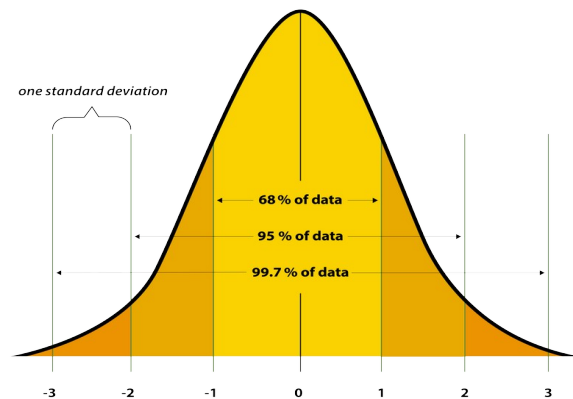
Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, θεωρείστε ότι **οι χρόνοι επεξεργασίας κάθε εφαρμογής σε κάθε επεξεργαστή ακολουθούν κανονικές κατανομές** με μέσες τιμές του χρόνου επεξεργασίας που δίνονται στην Εικόνα 3 μετρημένες σε τιμές ms του latency-χρόνου καθυστέρησης (επεξεργασίας). Οι αντίστοιχες τιμές για τις τυπικές αποκλίσεις της επεξεργασίας κάθε εφαρμογής σε κάθε επεξεργαστή δίνονται στον Πίνακα της Εικόνας 4.

Για παράδειγμα η εκτέλεση εφαρμογής IoT σε επεξεργαστή FPGA ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\tau_{avg} = 1.8$  ms και τυπική απόκλιση  $\sigma_{\tau-process} = 0,2$  ms.

Αντίστοιχα π.χ. η εκτέλεση εφαρμογής URLLC σε επεξεργαστή CPU ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\tau_{avg} = 25$  ms και τυπική απόκλιση  $\sigma_{\tau-process} = 2$  ms.

### Computing Benchmark Metrics

6G-App	HDD	Specs	CPU	GPU	FPGA
eMBB	0.5 [MB]	Latency [ms]	57	1.6	35
		Power [W]	15.4	26.9	12.5
IoT	10.0 [MB]	Latency [ms]	20.3	0.5	1.8
		Power [W]	23.5	28.4	15.3
URLLC	0.26 [MB]	Latency [ms]	25	0.02	3.3
		Power [W]	21.6	26	12.5



Εικόνα 3 Μέσα μετρικά απόδοσης και benchmarks επεξεργασίας των τριών διαφορετικών εφαρμογών, όταν εκτελούνται στους τρεις διαφορετικούς επεξεργαστές (CPU, GPU, FPGA). Ο πίνακας αναφέρει

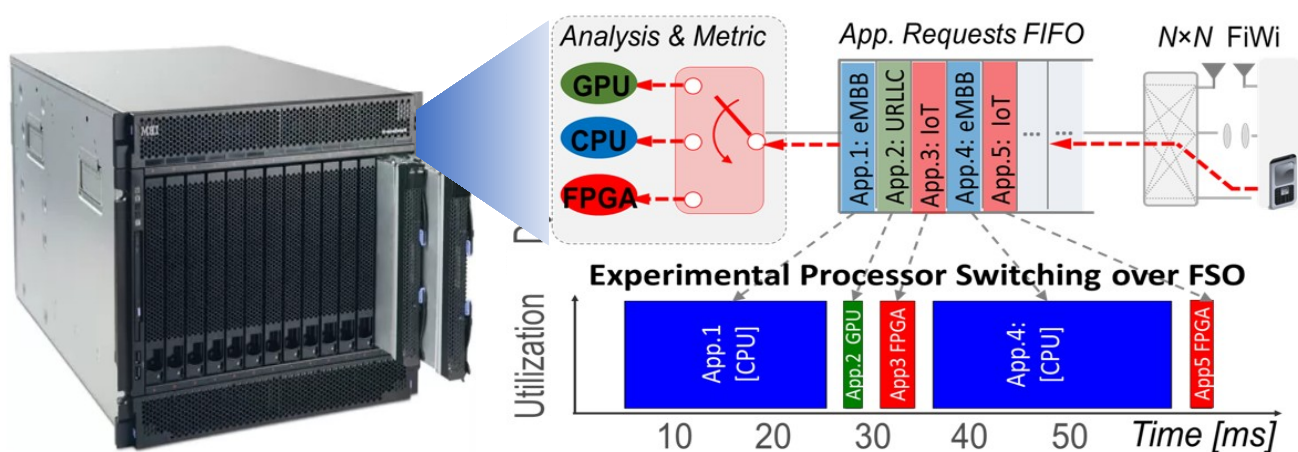
Standard Deviation σ μετρημένη σε ms	CPU	GPU	FPGA
eMBB	10	0,1	4
IoT	3	0,05	0,2
URLLC	2	0,0001	0,3

Εικόνα 4 Πίνακας της τυπικής απόκλισης της κανονικής κατανομής των χρόνων επεξεργασίας για τις διαφορετικές εφαρμογές που υλοποιούνται στα διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας (οι αντίστοιχες μέσες τιμές των κανονικών κατανομών δίνονται στην Εικόνα 3.)

Παρακάτω απεικονίζεται μια ενδεικτική εικόνα ενός blade server επίλυση της πειραματικής εκτέλεσης 5 τέτοιων αιτημάτων που προέρχονται από ένα Σημείο Πρόσβασης μόνο σε μία λεπίδα / Blade του επεξεργαστικού συστήματος. Τα αιτήματα καταφτάνουν κατά σειρά από εφαρμογές των παρακάτω συνδρομητών: 1) eMBB σε CPU (μπλε), 2) URLLC σε GPU (πράσινο), 3) IoT σε FPGA (κόκκινο), 4) eMBB σε CPU (μπλε) και 5)

IoT σε FPGA (κόκκινο). Συγκεκριμένα απεικονίζεται η πειθαρχία εξυπηρέτησης First In First Out (FIFO) και η εκτέλεσή τους ιδανικά σε κάθε έναν από τους τρεις καταλληλότερους επεξεργαστές, καθώς τα αιτήματα βρίσκουν τον κάθε επεξεργαστή-εξυπηρέτη ελεύθερο και αδρανή, οπότε δεν μπαίνουν σε buffer. Η χρονική τους εξέλιξη απεικονίζεται στο τελευταίο πειραματικό ίχνος καταγραφής (trace), θεωρώντας αυθαίρετα ένα κενό χρόνο αδράνειας 3ms ανάμεσα σε κάθε επεξεργασία με στόχο να στηθεί το απαραίτητο κύκλωμα επεξεργασίας.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι αναγκαίο κάθε εφαρμογή να τρέξει στον αντίστοιχο ιδανικό επεξεργαστή, σε περίπτωση που αυτός είναι κατειλημμένος, αλλά θα μπορούσε κάθε νέο εισερχόμενο task, να εκτελείτε σε άλλο μη-ιδανικό επεξεργαστή με μη-βέλτιστες επιδόσεις, με στόχο να εξυπηρετούνται όλα τα tasks. Θα μπορούσε ο dispatcher / ανάθεση των tasks, που απεικονίζεται εδώ με κόκκινο σχήμα/βελάκι μεταγωγής πριν τους τρεις επεξεργαστές, να ακολουθεί διαφορετικές πειθαρχίες και πολιτικές ανάθεσης των tasks.



**Εικόνα 5** Απεικόνιση ενός blade server υπολογιστικού συστήματος με 14 λεπίδες/blades (αριστερά) και δεξιά η σειριακή επεξεργασία πέντε διαδοχικών αιτημάτων των εφαρμογών eMBB, URLLC και IoT των συνδρομητών που καταφτάνουν σε ένα blade server με ένα GPU, ένα CPU και ένα FPGA από ένα Access Point με πειθαρχία εξυπηρέτησης First In First Out (FIFO) και η εκτέλεσή τους ιδανικά σε κάθε έναν από τους τρεις καταλληλότερους επεξεργαστές.



## Σειρά ερωτημάτων σχεδιαστικής ανάπτυξης – Τεχνικής Μελέτης

Να απαντήσετε στα παρακάτω σχεδιαστικά ερωτήματα, προσπαθώντας να προσδιορίσετε στο βέλτιστο βαθμό το σύστημα που θα προτείνατε εσείς για την ανάπτυξη του παραπάνω συστήματος υπολογιστικής νέφους για την πόλη της Καστοριάς.

### ΣΗΜΕΙΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ #1

Το παρόν προτεινόμενο σύστημα είναι ερευνητικού ενδιαφέροντος που προτείνεται και μελετάται από το διδάσκοντα με στόχο να προτείνει και να αναπτύξει ένα σύγχρονο σύστημα Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Δεν έχει μοναδική ακριβή λύση, ενώ επιδέχεται διαφορετικές υλοποιήσεις, μελέτες σχεδίασης και προτάσεις βελτίωσης.

- 1) Με βάση της γνώσεις του μαθήματος, να προσπαθήσετε να προσεγγίσετε το σύστημα, με στόχο να κάνετε μια προσεγγιστική ρεαλιστική τεχνική μελέτη υλοποίησης
  - a. Να απεικονίσετε το σύστημα των επεξεργαστών με ουρές γραφικά και να δώσετε μια απεικονιστική περιγραφή του workflow που να εξηγεί πως μπαίνουν τα tasks σε ουρές / επεξεργαστές
  - b. Να προσπαθήσετε να περιγράψετε (με λόγια ή μαθηματικά/στατιστική ή απεικόνιση) τις κατανομές των συστημάτων αυτών και τα «προφίλ» της κίνησης / δημογραφικών χαρακτηριστικών.

### ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Δυστυχώς δεν πρόλαβα να κάνω οτιδήποτε πέρα από τον κώδικα. Εκτός από αυτό όμως, αυτή η ερώτηση δεν κατάλαβα καθόλου τι ζητάει.



- 2) Να μελετήσετε την απόδοση του ενός μόνο Blade Server που απεικονίζεται στην Εικόνα 5, για  $N = 100$  tasks από κάθε κατηγορία εφαρμογών (συνολικά 300 tasks) που φτάνουν μόνο από ένα Access Point και για μόνο 10 θέσεις μνήμης στην κοινή FIFO ουρά, ώστε να υπολογίσετε
- Το μέσο χρόνο αναμονής στην ουρά των tasks.
  - Τον συνολικό-αθροιστικό αριθμό αφίξεων νέων tasks στο σύστημα.
  - Το συνολικό-αθροιστικό αριθμό αναχωρήσεων-εξυπηρετήσεων των tasks στο σύστημα.
  - Το πλήθος των εργασιών που έχουν εξυπηρετηθεί.
  - Το μέσο συντελεστή χρησιμοποίησης του κάθε επεξεργαστή - ποσοστό utilization.
  - Το πλήθος των tasks που έχουν γίνει dropped

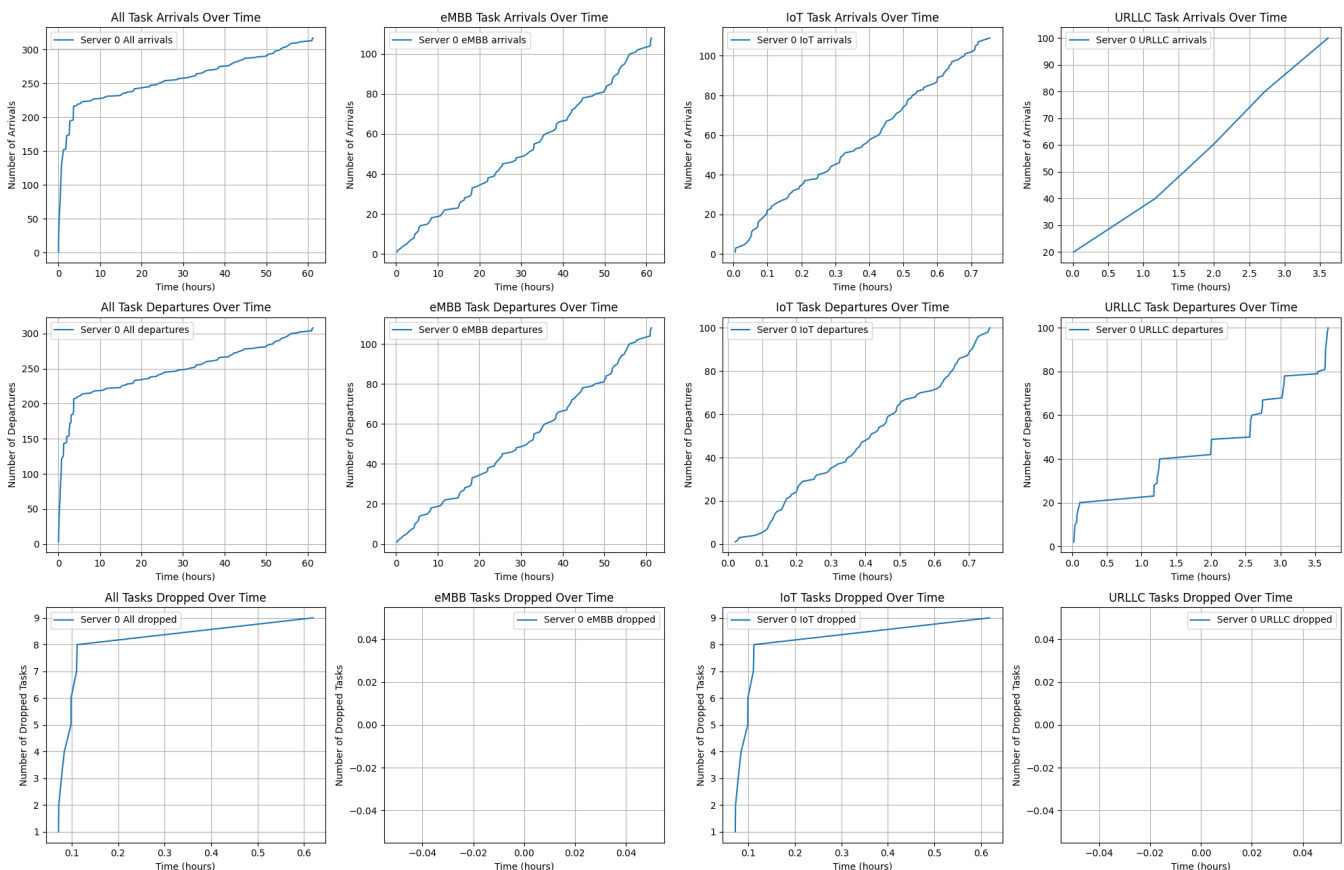
### ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

```
Processor 0 (CPU):
Received tasks: 37
Served tasks: 37
Dropped tasks: 0 (0.0%)
Average waiting time: 509.79 seconds
Utilization: 0.0%
Power consumption: 799.2 W
Task type counts:
  eMBB: 0
  IoT: 0
  URLLC: 37
```

```
Processor 1 (GPU):
Received tasks: 248
Served tasks: 239
Dropped tasks: 9 (3.63%)
Average waiting time: 141.42 seconds
Utilization: 0.0%
Power consumption: 6551.2 W
Task type counts:
  eMBB: 108
  IoT: 109
  URLLC: 31
```

```
Processor 2 (FPGA):
Received tasks: 32
Served tasks: 32
Dropped tasks: 0 (0.0%)
Average waiting time: 533.13 seconds
Utilization: 0.0%
Power consumption: 400.0 W
Task type counts:
  eMBB: 0
  IoT: 0
  URLLC: 32
```

```
Server 0 total stats:
Total received tasks: 317
Total served: 308
Total dropped: 9 (2.84%)
Total average waiting time: 226.37 seconds
Total power consumption: 7750.4 W
Total task type counts:
  eMBB: 108
  IoT: 109
  URLLC: 100
```



Τα tasks είναι 317 και όχι 300 γιατί στα τελευταία tasks που ερχόντουσαν ήρθε ένα URLLC που μετράει για 20





- 3) Να σχεδιάσετε και να απεικονίσετε γραφιστικά την συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος που υλοποιείται παραπάνω με μια κοινή ουρά FIFO πειθαρχίας εξυπηρέτησης / επεξεργασίας, προσδιορίζοντας τις παρακάτω παραμέτρους και αιτιολογώντας σύντομα τις επιλογές σας
- Το πλήθος των παράλληλων επεξεργαστών που επιλέγετε για την παραπάνω μελέτη και την αρχική υλοποίηση του σε με Blade Servers τεσσάρων (4) socket επεξεργασίας ( δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλα, αλλά αυτό είναι το διαθέσιμο board του blade server) και τη διασύνδεση και των 7 Σταθμών Πρόσβασης 5G/6G
  - Το ρυθμό επεξεργασίας που υποστηρίζει ο κάθε επεξεργαστής (που όπως φαίνεται είναι εξαρτάται και από την κάθε εφαρμογή και είναι application dependent)
  - Τον τρόπο διασύνδεσης των χρηστών στους εξυπηρετητές και στο κεντρικό σύστημα επεξεργασίας (που θεωρητικά μπορεί να βρίσκεται συγκεντρωμένο και όλο υλοποιημένο σε ένα rack της υποδομής του υπολογιστικού νέφους)
  - Την αρχιτεκτονική, το συνολικό πλήθος και την ακριβής τοποθεσία των ουρών που επιλέγετε αν χρησιμοποιήσετε
  - Το σύνολο των θέσεων μνήμης που θα έχει η κάθε ουρά που επιλέξατε.

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ:**

Δυστυχώς δεν πρόλαβα να κάνω οτιδήποτε πέρα από τον κώδικα.

- 4) Πειθαρχία εξυπηρέτησης: Να μελετήσετε την απόδοση του συνολικού συστήματος για μία διαφορετική υλοποίηση από αυτή του συστήματος στην Εικόνα 1 και να υπολογίσετε - προσδιορίσετε στη μελέτη υλοποίησή σας τα παρακάτω:
- Ποια πολιτική ανάθεσης / εξυπηρέτησης του φόρτου εργασίας θα επιλέγετε να υλοποιήσετε και θα προτείνατε για τέτοια συστήματα (πέρα από την μία κοινή ουρά με FIFO πειθαρχία επεξεργασίας) ;
  - Θα είχε νοήμα να είχε κάθε επεξεργαστής την δική του ουρά με τα tasks ή καλύτερα να υπάρχει μια κοινή ουρά για όλους τους επεξεργαστές ;
  - Να προσπαθήσετε να προσεγγίσετε το σύστημα που προτείνετε σε μια μικρή τεχνική μελέτη με σχέδιο/γραφική απεικόνισης του προτεινόμενου εναλλακτικού συστήματος και μελέτης υλοποίησης/ανάλυσης των επιδόσεων ;
  - Θα μπορούσε να υλοποιηθεί αυτή η διαφορετική πειθαρχία εξυπηρέτησης, πέρα από την FIFO, που να εξυπηρετεί περισσότερα αιτήματα ή να επιτυγχάνει μικρότερο χρόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας, ιδανικά παρέχοντας τη σχετική προσομοίωση και μελέτη απόδοσης με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την καινούρια πειθαρχία εξυπηρέτησης / πολιτική ανάθεσης.

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ:**

Δυστυχώς δεν πρόλαβα να κάνω οτιδήποτε πέρα από τον κώδικα.



- 5) Να μελετήσετε την απόδοση του συνολικού συστήματος που σχεδιάσατε στην Εικόνα 1 και να υπολογίσετε - προσδιορίσετε στη μελέτη υλοποίησή σας τα παρακάτω:
- Το μέσο χρόνο αναμονής στην ουρά των tasks.
  - Τον συνολικό-αθροιστικό αριθμό αφίξεων νέων tasks στο σύστημα.
  - Το συνολικό-αθροιστικό αριθμό αναχωρήσεων-εξυπηρέτησεων των tasks στο σύστημα.
  - Το πλήθος των εργασιών που έχουν εξυπηρετηθεί από τον κάθε ένα επεξεργαστή και συνολικά από το σύστημα
  - Το μέσο συντελεστή χρησιμοποίησης του κάθε επεξεργαστή - ποσοστό utilization.
  - Το συνολικό μέσο χρόνο επεξεργασίας και εξυπηρέτησης όλων των εργασιών και το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης κάθε εφαρμογής.
  - Το συνολικό πλήθος των tasks που έχουν γίνει dropped και το πλήθος των drops ανά εφαρμογή

#### ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Δεν χωράει να βάλω τα d και e.

Overall stats:

Overall tasks: 10030

Overall served: 9477

Overall dropped: 553 (5.51%)

Overall average waiting time: 19436.83 seconds

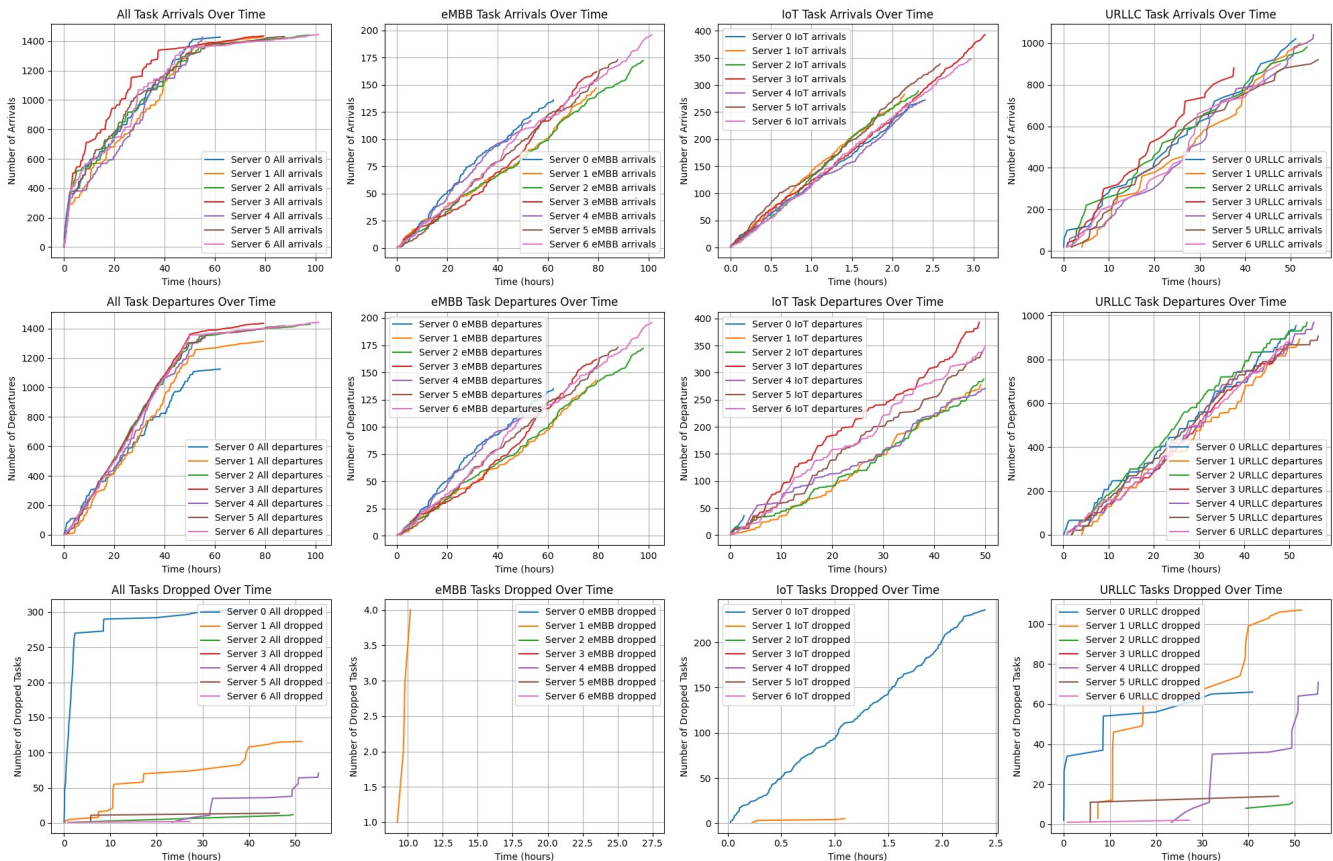
Overall power consumption: 196888.1 W

Overall task type counts:

eMBB: 980

IoT: 2110

URLLC: 6940





**6) Τέλος να υπολογίσετε το συνολικό κόστος κατασκευής της υλοποίησης που προτείνετε, θεωρώντας τα παρακάτω δεδομένα απόκτησης εξαρτημάτων:**

Σύμφωνα με διαδομένες εμπορικές τιμές για σχετικά προϊόντα υπολογιστικής νέφους, παρέχονται τα παρακάτω κόστη απόκτησης

- ο Ένα Μεταλλικό Rack Cloud Computing υποδομών: 400 €
- ο Ένα chassis για υλοποίηση υπερ-υπολογιστικά, πολύ-επεξεργαστικά συστήματα με μία μητρική κάρτα mother board με έως και 14 υποδοχές για blade-servers: 2.000 €
- ο Μία θυγατρική κάρτα daughter board ενός blade-server με έως 4 socket επεξεργασίας: 1.000 €
- ο Ένας επεξεργαστής (single chip / socket) CPU : 500 €
- ο Ένας επεξεργαστής (single chip / socket) GPU : 9.000 €
- ο Ένας επεξεργαστής (single chip / socket) FPGA: 11.000 €
- ο Κόστος κατασκευής ουράς με βάση τη χωρητικότητας της συνολικά απαιτούμενης μνήμης: 4 € για κάθε θέση μνήμης (π.χ. 40 € για την αποθήκευση δέκα-10 task και 1000 € για την αποθήκευση εικοσιπέντε-25 tasks)
- ο Ζεύξης οπτικής ασύρματης διασύνδεσης μέχρι το Σταθμό Βάσης: 7.000 €
- ο 5G/6G Σταθμός Βάσης: 20.000 €

Τα δύο τελευταία δεν τροποποιούν το συνολικό κόστος λόγω του ότι αναφερόμαστε σε συγκεκριμένο αριθμό 7 Σταθμών Βάσης, αλλά παρέχονται εδώ προς χάριν ολοκληρωμένης μελέτης, και επίσης καθώς θα επηρέαζαν τις σχετικές μελέτες ραδιοκάλυψης στην πόλη, που θα υποσχόμασταν να παρέχουμε σε μία τεχνικής μελέτη υλοποίησης με τυχαία (και όχι ομοιόμορφα κατανεμημένους) κινούμενους χρήστες στην έκταση της πόλης

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ:**

Δυστυχώς δεν πρόλαβα να κάνω οτιδήποτε πέρα από τον κώδικα.

**ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Παράδοση εργαστηριακής άσκησης πάντα μόνο μέσω eclass και με χρήση του παρόντος απαντητικού φύλλου