

Εργασία Απόδοσης Συστημάτων

Ιωάννης Σομός (21685)
Ανδρέας Μαυρόπουλος (217129)

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
06/02/2021

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή

- 1.1 LBBSRT: An Efficient SDN Load Balancing Scheme Based on Server Response Time
- 1.2 Scheduling Within Temporal Partitions: Response Time Analysis and Server Design
- 1.3 Measuring the Capacity of a Web Server
- 1.4 Dynamic Load Balancing on Web Server Systems
- 1.5 An Admission Control Scheme For Predictable Server Response Time for Web Accesses
- 1.6 Maximizing the Robustness of TDMA Networks with Applications to TTP/C . . .
- 1.7 Improving Web Server Performance by Caching Dynamic Data
- 1.8 Performance Study of Load Balancing Algorithms in Distributed Web Server Systems
- 1.9 A Weighted Metric Based Adaptive Algorithm for Web Server Load Balancing .
- 1.10 A Model of Web Server Performance

2 Εκτέλεση Πειράματος

- 2.1 Περιβάλλον
- 2.2 Υλοποίηση
- 2.3 Προβλήματα

3 Αποτελέσματα

- 3.1 Περιγραφικές Στατιστικές
- 3.2 Γραφικές Παραστάσεις
- 3.3 Κατανομή Χρόνων Απόκρισης

4 Συμπεράσματα

5 Παράρτημα

- 5.1 Ακρωνύμια
- 5.2 Πίνακες
- 5.3 Αναφορές

1 Εισαγωγή

Παραθέτουμε ενδεικτικά ορισμένες προηγούμενες μελέτες που βρήκαμε, οι οποίες είναι σχετικές με το θέμα της Απόδοσης Συστημάτων.

1.1 LBBSRT: An Efficient SDN Load Balancing Scheme Based on Server Response Time

Το παραδοσιακό σύστημα εξισορρόπησης φόρτου δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί πλήρως τους χρόνους απόκρισης του διακομιστή. Οι συγγραφείς της μελέτης, προκειμένου να επιλύσουν αποτελεσματικά το πρόβλημα, προτείνουν ένα σύστημα εξισορρόπησης φόρτου με βάση τον διακομιστή. Το σύστημα ονομάζεται [LBBSRT](#) και βασίζεται στην ευκαμψία που παρέχει το [SDN](#). Αυτό κάνει χρήση του χρόνου απόκρισης σε πραγματικό χρόνο, επεξεργάζοντας τις αιτήσεις χρηστών σε ομοιόμορφα ισορροπημένα φορτία.¹

1.2 Scheduling Within Temporal Partitions: Response Time Analysis and Server Design

Οι μελετητές εξέτασαν την περίπτωση στην οποία μια εφαρμογή αποτελούταν από πολλές διεργασίες μέσα σε έναν περιοδικό διακομιστή με Fixed-Priority Local Scheduling. Στόχος τους ήταν η ανάλυση χρόνου απόκρισης για τέτοιες διεργασίες και ο σχεδιασμός του διακομιστή ώστε να είναι δυνατή η εκπλήρωση των χρονικών περιορισμών της εφαρμογής, χρησιμοποιώντας τους λιγότερους δυνατούς πόρους. Είναι μια γενίκευση της ανάλυσης χειρότερης περίπτωσης χρόνου απόκρισης για συστήματα σταθερής προτεραιότητας. Αντιμετωπίζει την περιορισμένη διαθεσιμότητα του επεξεργαστή που παρέχεται από έναν διακομιστή και βασίζεται στην ανάλυση που είχε αναπτυχθεί για τον προγραμματισμό του ασύγχρονου συστήματος ανταλλαγής μηνυμάτων [FTT-CAN](#).²

1.3 Measuring the Capacity of a Web Server

Αυτό το έγγραφο εξέτασε τις παγίδες που προκύπτουν κατά την διαδικασία δημιουργίας συνθετικών φόρτων εργασίας διακομιστή σε ένα πεδίο δοκιμών που αποτελείται από έναν μικρό αριθμό υπολογιστών-πελατών. Θέτει τους περιορισμούς του απλού συστήματος παραγωγής αιτήσεων που αποτελεί την βάση των web server benchmarks. Προτείνουν και αξιολογούν μια νέα στρατηγική που αντιμετωπίζει αυτά τα προβλήματα χρησιμοποιώντας ένα σύνολο διεργασιών-πελατών. Η αρχική εμπειρία από τη χρήση αυτής της μεθόδου για την αξιολόγηση ενός τυπικού διακομιστή υποδεικνύει ότι η μέτρηση των επιδόσεων του διακομιστή υπό συνθήκες υπερφόρτωσης και καταιγισμού κυκλοφορίας παρέχει νέες και σημαντικές πληροφορίες για τις επιδόσεις διακομιστών. Η μεθοδολογία τους μπορεί να επιτεύξει τη δημιουργία γρήγορης ροής αιτήσεων-απαντήσεων.³

1.4 Dynamic Load Balancing on Web Server Systems

Το bandwidth ενός δικτύου περιορίζει τις επιδόσεις του εξισορροπητή φόρτου. Έτσι λοιπόν, οι συστάδες διακομιστών κατανεμημένων σε [LAN](#) αποτελούν μόνο μία υποτυπώδη λύση για τις αυξημένες αιτήσεις των πελατών. Μια πιο αποτελεσματική προσέγγιση απαιτεί γεωγραφικά κατανεμημένους κόμβους διακομιστών που βρίσκονται σε ξεχωριστά δίκτυα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο αλγόριθμος αποστολής πρέπει να λάβει υπόψη το φορτίο και την εγγύτητα του πελάτη κατά την διανομή αιτήσεων. Μια δυσκολία που αντιμετωπίζουν αυτές οι προσεγγίσεις είναι η δυναμική αξιολόγηση αυτών των πληροφοριών, καθώς συχνά ποικίλλει στο περιβάλλον του διαδικτύου.⁴

1.5 An Admission Control Scheme For Predictable Server Response Time for Web Accesses

Όταν ένας διακομιστής δεν είναι σε θέση να παρέχει ικανοποιητικές υπηρεσίες σε όλες τις αιτήσεις, η επιλεκτική εκχώρηση πόρων είναι μια υποσχόμενη τεχνολογία για να εξασφαλίσει την εξυπηρέτηση σε αιτήματα που είναι σημαντικά για τους πελάτες ή τους διακομιστές. Οι συγγραφείς παρουσιάζουν έναν νέο αλγόριθμο χειρισμού εισόδων με όνομα [PACERS](#). Τα αποτελέσματα θεωρητικών προσομοιώσεων αποδεικνύουν ότι ο αλγόριθμος αυτός είναι σε θέση να παρέχει διασφάλιση μικρού χρόνου απόκρισης και μεγάλης απόδοσης για κάθε ομάδα προτεραιότητας σε διάφορες καταστάσεις φόρτου εργασίας.⁵

1.6 Maximizing the Robustness of TDMA Networks with Applications to TTP/C

Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης βασισμένα στο [TDMA](#) χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα επικοινωνιών. Τα πρωτόκολλα αυτά είναι κατάλληλα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, καθώς παρέχουν ντετερμινιστική πρόσβαση στο μέσο, και οριοθετημένο χρόνο απόκρισης. Επιπλέον, οι τακτικές μεταδόσεις μηνυμάτων μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό αποτυχημένων κόμβων. Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζεται μία σύγχρονη παραλλαγή του [TDMA](#) προσαρμοσμένη για το πρωτόκολλο [TTP/C](#).⁶

1.7 Improving Web Server Performance by Caching Dynamic Data

Ο συγγραφέας αναλύει τον σχεδιασμό και την απόδοση της προσωρινής μνήμης “DynamicWeb” για δυναμικές ιστοσελίδες. Αυτή είναι συμβατή με όλους τους διακομιστές και παρέχει καλύτερη απόδοση από έναν απλό μεσολαβητή προσωρινής μνήμης καθώς επιτρέπει στην ιστοσελίδα να αποθηκεύει, να ακυρώνει και να ενημερώνει αντικείμενα με δυναμικό τρόπο, διασφαλίζοντας πως η προσωρινή μνήμη είναι ενημερωμένη. Βελτίωσε σημαντικά την απόδοση διάφορων εμπορικών ιστοσελίδων που παρέχουν υψηλό ποσοστό δυναμικού περιεχομένου.⁷

1.8 Performance Study of Load Balancing Algorithms in Distributed Web Server Systems

Οι ερευνητές, έπειτα από εκτεταμένες προσομοιώσεις, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως ο αλγόριθμος Round Robin έχει κακή απόδοση σε συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας βασισμένα στο [DNS](#), ιδίως για μεγάλο βαθμό αιτήσεων ανομοιομορφης κυκλοφορίας. Από την άλλη, το νέο προτεινόμενο σύστημα Handoff έχει εξαιρετική απόδοση για την εξισορρόπηση του φόρτου, αλλά η μέση καθυστέρηση απόκρισής τους εξαρτάται πολύ από την υπολογιστική ικανότητα του διανομέα.⁸

1.9 A Weighted Metric Based Adaptive Algorithm for Web Server Load Balancing

Οι αλγόριθμοι καταμερισμού Random και Round Robin έχουν καλά επίπεδα απόδοσης στις προσομοιώσεις αλλά όχι την δυνατότητα προσαρμογής στις διακυμάνσεις της κυκλοφορίας στους διακομιστές. Ο αλγόριθμος [CNN](#) εκτελεί τον διαμερισμό του φόρτου στην προσωρινή μνήμη του διακομιστή και έχει εξίσου καλή απόδοση με τον αλγόριθμο [RTSLB](#)—τον οποίο προτείνουν οι συγγραφείς—έως ένα όριο ταυτόχρονων αιτήσεων. Ο αλγόριθμος των συγγραφέων υπερνικάει τους άλλους καθώς διαφέρει στην πολιτική διανομής του, λαμβάνοντας υπόψη το φορτίο που σηκώνει ο κάθε διακομιστής.⁹

1.10 A Model of Web Server Performance

Το άρθρο παρουσιάζει ένα απλό και υψηλού επιπέδου μοντέλο δικτύου ανοικτής ουράς από το οποίο αντλεί γενικά αποτελέσματα απόδοσης διακομιστών στο διαδίκτυο. Ορίζει ένα θεωρητικό ανώτατο όριο στη δυνατότητα εξυπηρέτησης των διακομιστών και παρατηρεί ότι όσο πλησιάζουν αυτό το όριο, οι χρόνοι απόκρισης αυξάνουν ξαφνικά τείνοντας προς το άπειρο και εξαρτώνται σημαντικά από το μέγεθος των αρχείων που αποστέλλονται. Για την αποτροπή αυτού του προβλήματος είναι απαραίτητος ο περιορισμός των ταυτόχρονων συνδέσεων τις οποίες αποδέχεται ο διακομιστής.¹⁰

2 Εκτέλεση Πειράματος

2.1 Περιβάλλον

Το περιβάλλον στο οποίο εκτελέσαμε τα πειράματα ήταν το ακόλουθο:

- Arch Linux 5.10.9
- 8-core CPU, 12GB RAM
- Liberica JRE 15.0.2+10
- Apache JMeter 5.4.1
- R 4.0.3 (2020-10-10)

2.2 Υλοποίηση

Βασισμένοι στα analytics^{11(sec. to-sum-up)} του Skroutz, θεωρήσαμε ως σενάρια χρήσης την αγορά καρτών παιχνιδιών και την αγορά κινητού τηλεφώνου. Αρχικά, φτιάξαμε έναν “Test Script Recorder” για κάθε σενάριο και καταγράψαμε τις κλήσεις. Για να αποφύγουμε το caching, ορίσαμε από έναν “HTTP Cache Manager” στα δύο σενάρια ο οποίος καθαρίζει το cache στο τέλος κάθε επανάληψης. Έπειτα, προσθέσαμε από έναν “Poisson Random Timer” μετά από αλλαγές σελίδων, καθώς βρήκαμε από προηγούμενη μελέτη^{12(p. 66)} ότι η άφιξη των αιτήσεων ενός πελάτη σε σύστημα e-commerce μοιάζει με κατανομή Poisson, και “Think Time” πριν από κάθε αγορά. Ακόμα, περικλείσαμε κάθε προσθήκη αντικειμένου στο καλάθι μέσα σε “If Controller” λαμβάνοντας υπόψη τα conversion rates που βρήκαμε στα analytics (5.7% και 2.2% αντίστοιχα). Τέλος, παραμετροποιήσαμε τον αριθμό χρηστών, το ramp-up period και τον αριθμό επαναλήψεων (ίσως με 2 στα πειράματά μας).

Για την εκτέλεση του JMeter δημιουργήσαμε το bash script της επόμενης σελίδας. Αρχικά, το script θέτει έναν πίνακα που περιέχει τους συνδυασμούς χρηστών για τα δύο thread groups. Έπειτα, για κάθε έναν συνδυασμό τρέχει την εντολή schedtool¹³ με παράμετρο -B, που δίνει οδηγία στον χρονοπρογραμματιστή να τρέξει τη διεργασία ως SCHED_BATCH (μη διαδραστική), και καλεί την εντολή ionice¹⁴ με παράμετρο -n1, που αυξάνει την προτεραιότητα της διεργασίας σε I/O, η οποία καλεί εν τέλει το JMeter. Στο JMeter παρέχει τις κατάλληλες παραμέτρους ώστε να τρέξει το test plan με τους αντίστοιχους αριθμούς χρηστών ανά thread group και ramp-up period 20 δευτερολέπτων ανά χρήστη, και να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα κάθε εκτέλεσης.

```

declare -a threads=(
  2+8 5+5 8+2
  10+40 25+25 40+10
  20+80 50+50 80+20
  100+400 250+250 400+100
)

for t in "${threads[@]}"; do
  declare -i u1=${t%+*} u2=${t#*+}
  schedtool -B -e ionice -n1 jmeter \
    -n -f -t "skroutz-test-plan.jmx" \
    -l "outputs/results-$t/samples.jtl" \
    -Jjmeter.save.saveservice.subresults=false \
    -Jgroup1.users=$u1 -Jgroup1.rampup=$((20 * u1)) \
    -Jgroup2.users=$u2 -Jgroup2.rampup=$((20 * u2))
done

```

2.3 Προβλήματα

Λόγω του rate-limiting του Skroutz, δεν μπορέσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα ζητούμενα inter-arrival times των 0.5 και 1 δευτερολέπτων και αναγκαστήκαμε να θέσουμε το ramp-up period του JMeter σε 20 δευτερόλεπτα επί τον αριθμό των χρηστών. Έτσι, δεν μπορέσαμε να υλοποιήσουμε το ερώτημα της μοντελοποίησης με βάση το inter-arrival time.

3 Αποτελέσματα

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε την R. Η μόνη εξωτερική βιβλιοθήκη που χρειαστήκαμε ήταν η `stringr` για την ταξινόμηση των αρχείων.

3.1 Περιγραφικές Στατιστικές

Αρχικά, με τον παρακάτω κώδικα παράξαμε τις περιγραφικές στατιστικές και το throughput κάθε συνδυασμού φόρτου που παρουσιάζονται στους πίνακες του παραρτήματος 5.2.

```
# create a list of all the sample files
samples <- list.files("outputs", pattern = "results-*",
                     full.names = TRUE, recursive = FALSE)
samples <- paste(samples, "samples.jtl", sep = "/")
samples <- stringr::str_sort(samples, numeric = TRUE)

# define the column names for the summary file
# SD=Standard Deviation, TP=Throughput (per minute)
cols <- c("Page", "Avg.", "Min", "Max", "SD", "TP")

# create a summary file for each sample file
for (s in samples) {

  # read the sample file
  csv <- read.csv(s)[1:3]

  # get a list of unique labels
  lbls <- unique(csv$label)

  # create an empty data frame to store the summary
  summ <- matrix(ncol = 6, nrow = length(lbls) + 1)
  summ <- setNames(data.frame(summ), cols)

  # generate statistics for each label
  for (i in 1:length(lbls)) {

    # get the response times for this label
    res <- csv$elapsed[csv$label == lbls[i]]

    # also get the timestamps for this label
    times <- csv$timeStamp[csv$label == lbls[i]]
```



```

# store the data in the summary
summ[i, "Page"] ← lbls[i]
summ[i, "Avg."] ← mean(res)
summ[i, "Min"] ← min(res)
summ[i, "Max"] ← max(res)
summ[i, "SD"] ← sd(res)

# throughput = responses / (last time - first time)
# multiply by 6e4 to convert milliseconds to minutes
summ[i, "TP"] ← length(times) /
  (max(times) - min(times)) * 6e4
}

# also store aggregate data
summ[i + 1, "Page"] ← "TOTAL"
summ[i + 1, "Avg."] ← mean(csv$elapsed)
summ[i + 1, "Min"] ← min(csv$elapsed)
summ[i + 1, "Max"] ← max(csv$elapsed)
summ[i + 1, "SD"] ← sd(csv$elapsed)
summ[i + 1, "TP"] ← length(csv$timeStamp) /
  (max(csv$timeStamp) - min(csv$timeStamp)) * 6e4

# write results to summary file
out ← sub("samples[.]jtl", "summary.csv", s)
write.csv(summ, out, row.names = FALSE)
}

```

Επιλέξαμε να γράψουμε κώδικα αντί να χρησιμοποιήσουμε το “Summary Report” του JMeter για δύο λόγους. Πρώτον, για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας, καθώς το JMeter δεν παρέχει από μόνο του τρόπο δημιουργίας του αρχείου εκτός του GUI. Και δεύτερον, για καλύτερη προσαρμογή των αποτελεσμάτων στις απαιτήσεις μας, δηλαδή να αλλάξουμε τα ονόματα των στηλών, να αφαιρέσουμε αχρείαστα πεδία, και να αποφύγουμε τη στρογγυλοποίηση των μετρήσεων.

3.2 Γραφικές Παραστάσεις

Ακόμα, δημιουργήσαμε τις γραφικές παραστάσεις CDF της επόμενης σελίδας οι οποίες αναπαριστούν τους χρόνους απόκρισης κάθε συνδυασμού φόρτου.

```

for (s in samples) {
  # create a CDF graph for each sample's response times
  plot(ecdf(read.csv(s)$elapsed), main = "",
       xlab = "", ylab = "", col = "navy")
}

```

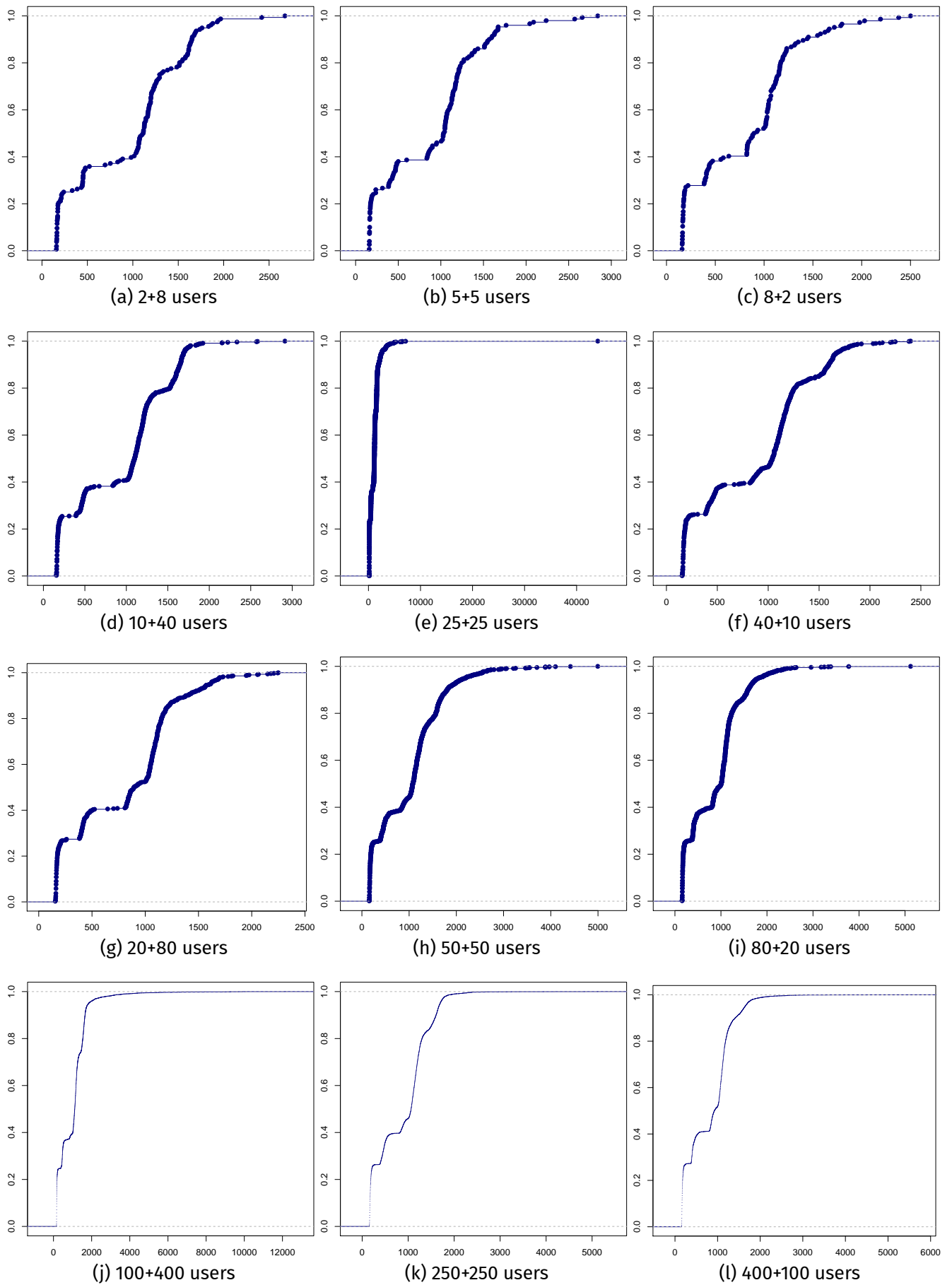


Figure 3.1: response time CDF graphs

3.3 Κατανομή Χρόνων Απόκρισης

Έπειτα, διαλέξαμε να ανιχνεύσουμε την κατανομή των χρόνων απόκρισης για τον συνδυασμό φόρτου 20%-80% στο δείγμα των 50 χρηστών.

```
# read the response times from the sample file
elapsed <- read.csv("outputs/results-10+40/samples.jtl")$elapsed

# create a boxplot of the data and store the outliers
outliers <- boxplot(elapsed, horizontal = TRUE, pch = 4,
                    outcol = "maroon", col = "wheat")$out
```

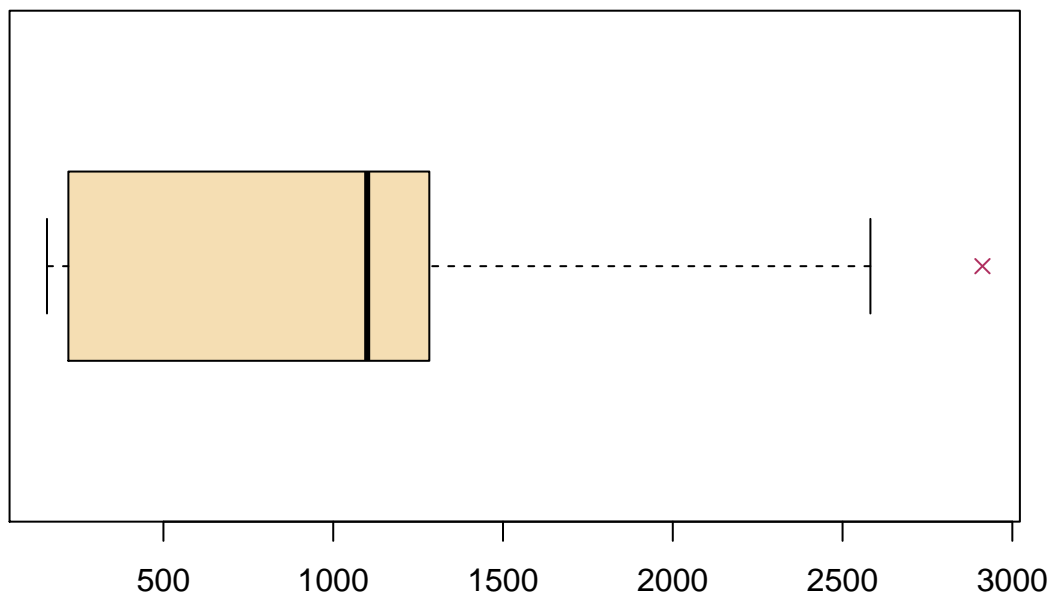


Figure 3.2: response time boxplot

Από το θηκόγραμμα 3.2 παρατηρήσαμε πως τα δεδομένα μας έχουν αρνητική ασυμμετρία, την οποία υπολογίσαμε με χρήση του παρακάτω τύπου, και ότι υπάρχει μία έκτροπη τιμή (2912).

$$skewness = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2}} = -0.0190159$$

Αφού αφαιρέσαμε την έκτροπη τιμή, κατασκευάσαμε το ιστόγραμμα 3.3 των χρόνων απόκρισης, προσθέτοντας σε αυτό την καμπύλη της κανονικής κατανομής με τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση των δεδομένων μας.

```
# remove outliers from the data
elapsed <- elapsed[elapsed != outliers]
```

```
# create a histogram of the data
hist(elapsed, freq = FALSE, border = "blue",
     col = NULL, main = "", xlab = "", ylab = "")

# fit a normal distribution curve to the histogram
curve(dnorm(x, mean(elapsed), sd(elapsed)),
     col = "red", lwd = 2, add = TRUE)
```

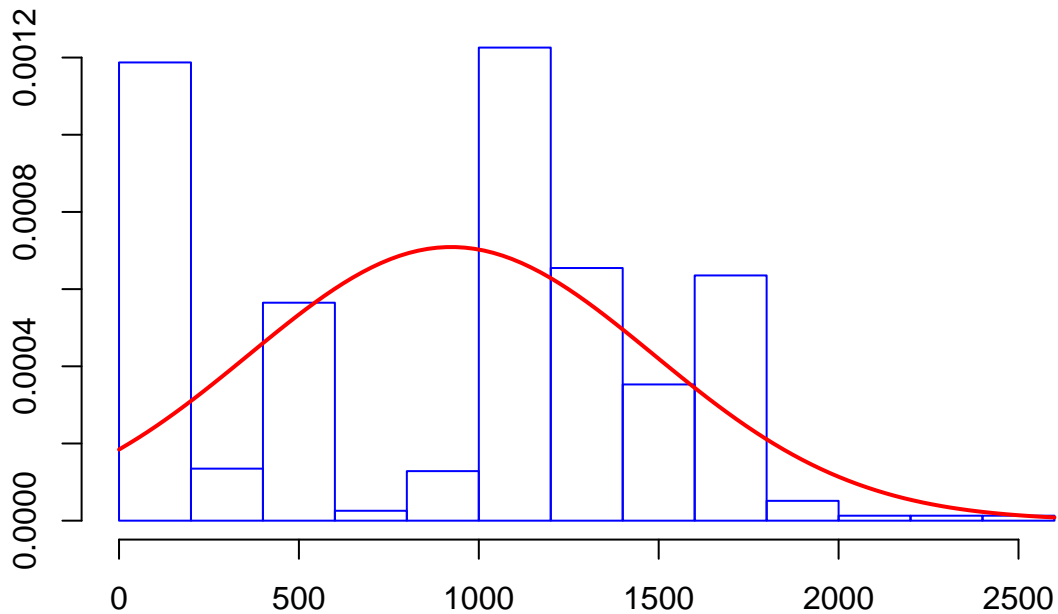


Figure 3.3: response time histogram

Παρατηρήσαμε ότι τα δεδομένα δεν φαίνεται να ακολουθούν την κανονική κατανομή και ελέγξαμε αυτή την υπόθεση χρησιμοποιώντας το Shapiro-Wilk test¹⁵ κανονικότητας. Δεν χρησιμοποιήσαμε εδώ το Kolmogorov-Smirnov test¹⁶ διότι δεν λειτουργεί σωστά πάνω σε δεδομένα που περιέχουν διπλότυπες τιμές, όπως τα δικά μας.

```
# perform Shapiro-Wilk test on the data
shapiro.test(elapsed)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: elapsed
W = 0.89663, p-value < 2.2e-16
```

Όντως, είδαμε πως η τιμή του p-value βρίσκεται πολύ κοντά στο 0, οπότε αποδεχθήκαμε την υπόθεση ότι οι χρόνοι απόκρισης δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Έπειτα, αφού αφαιρέσαμε τις διπλότυπες τιμές από τα δεδομένα μας, αναζητήσαμε το διάστημα τιμών των χρόνων απόκρισης για το οποίο έχουμε εμπιστοσύνη 95%. Αξιοποιήσαμε τη μέθοδο υπολογισμού του διαστήματος εμπιστοσύνης με χρήση της τιμής z, η οποία απαιτεί τουλάχιστον 30 δείγματα.

```
# remove duplicate values
dedup ← unique(elapsed)
```

```
# 95% confidence level value
z <- qnorm(1 - 0.05 / 2)

# save mean, std dev, length
m <- mean(dedup)
s <- sd(dedup)
n <- length(dedup)

# calculate confidence interval
c1 <- m - z * s / sqrt(n)
c2 <- m + z * s / sqrt(n)
ci <- dedup[c1 <= dedup & dedup <= c2]

# perform Kolmogorov-Smirnoff test on the CI
ks.test(ci, "pnorm", mean(ci), sd(ci))
```

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: ci
D = 0.078892, p-value = 0.8566
alternative hypothesis: two-sided
```

Τώρα, η τιμή του p-value από το Kolmogorov-Smirnoff test βγήκε μεγαλύτερη από το επίπεδο σημαντικότητας 0.05, οπότε αποδεχθήκαμε την υπόθεση ότι οι χρόνοι απόκρισης εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης [1025.5, 1120.2] ακολουθούν την κανονική κατανομή. Αυτή η υπόθεση επαληθεύθηκε και από την γραφική παράσταση 3.4 της κατανομής των τιμών.

```
# plot the distribution of the CI
plot(density(ci, adjust = 2), col = "green",
     xlab = "", ylab = "", main = "", lwd = 2)
```

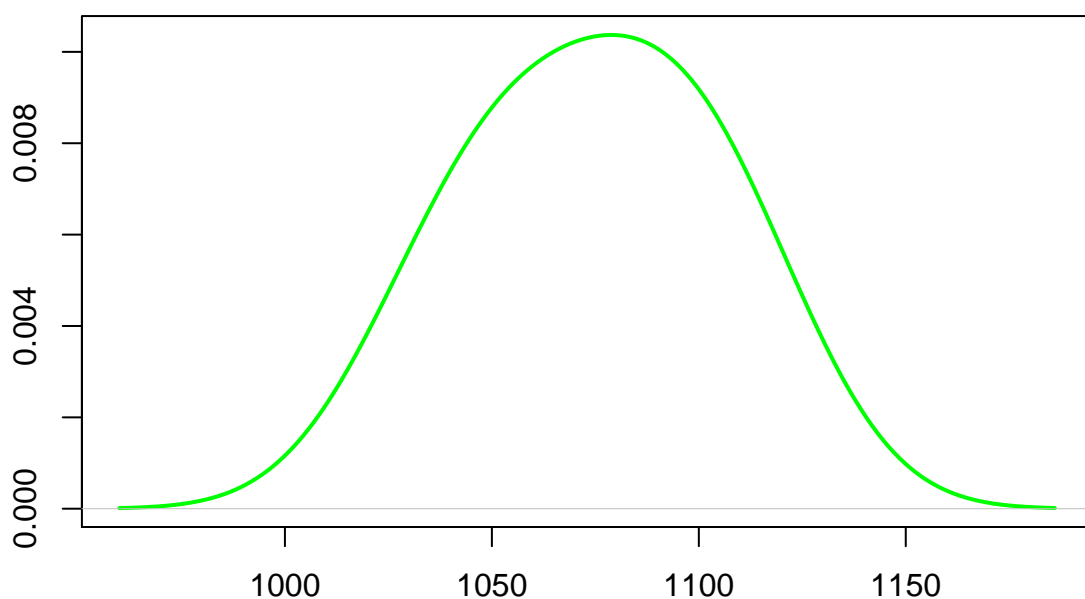


Figure 3.4: confidence interval distribution

4 Συμπεράσματα

Από τους πίνακες 5.2 είδαμε ότι σε όλους τους διάφορους συνδυασμούς φόρτου, ο μέσος χρόνος απόκρισης παρέμεινε κοντά στα 500ms στην αρχική σελίδα. Επίσης, μερικές σελίδες είχαν απαρατήρητη σχεδόν διάφορα στον μέσο και τον μικρότερο χρόνο απόκρισης με την αύξηση του φόρτου, αλλά μεγάλη αύξηση στον μέγιστο χρόνο απόκρισης. Επιπλέον, στους συνδυασμούς φόρτου 80%-20% παρατηρήσαμε ένα σταθερό μοτίβο καλύτερου μέσου χρόνου απόκρισης σε σχέση με τους αντίστοιχους συνδυασμούς 20%-80% και 50%-50%. Από αυτό, συμπεράναμε πως είτε οι σελίδες καρτών παιχνιδιών είναι λιγότερο επιβαρυντικές στο σύστημα του Skroutz σε σχέση με αυτές των τηλεφώνων, ή είναι λιγότερο δημοφιλείς οπότε δεν μας καθυστέρησε τόσο ο εξισορροπητής του. Θα χρειαζόταν κάποια περαιτέρω μελέτη για να εξακριβωθεί ποιο συμπέρασμα ήταν αληθές ή αν υπήρχε συνδυασμός των δύο.

Έπειτα, είδαμε ότι τα γραφήματα CDF δεν είναι γραμμικά καθώς αυξάνεται ο φόρτος, και αντιληφθήκαμε ότι δεν υπάρχει ίδια κατανομή φόρτου, άρα συμπεράναμε ότι τα δεδομένα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή. Παρατηρήσαμε, επίσης, ότι ο μέσος χρόνος απόκρισης τείνει στα 1000ms. Στα γραφήματα 3.1j, 3.1k, και 3.1l υπήρξε μία αύξηση στον μέγιστο χρόνο αναμονής, πράγμα που βρήκαμε λογικό εφόσον τα δείγματα αυτά είχαν σημαντικά υψηλότερο φόρτο. Είδαμε, ακόμη, ότι το σχήμα των γραφημάτων είναι παρόμοιο σε σχεδόν όλους τους συνδυασμούς φόρτου. Δεν καταφέραμε, όμως, να εξηγήσουμε τι συνέβη στην περίπτωση 3.1e όπου εμφανίστηκε στο γράφημα μία τιμή πολλές τάξεις μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες, ενώ δεν υπήρχαν έκτροπες τιμές στους χρόνους απόκρισης του συγκεκριμένου δείγματος.

5 Παράρτημα

5.1 Ακρωνύμια

CDF Cumulative Distribution Function

CNN Convolutional Neural Network

DNS Domain Name System

FTT-CAN Flexible Time-Triggered communication on Controller Area Network

LAN Local Area Network

LBBSRT Load Balancing Based on Server Response Time

PACERS Periodical Admission Control based on Estimation of Request rate and Service time

RTSLB Real Time Server-statistics based Load Balancing

SAE Society of Automotive Engineers

SDN Software-Defined Networking

TDMA Time Division Multiple Access

TTP/C Time-Triggered Protocol with SAE Class C Fault-Tolerant Requirements

5.2 Πίνακες

Table 5.1: result summary for 2+8 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	588.5	388	1543	332.45	2.725
Gaming	176.5	162	215	25.72	0.995
Τεχνολογία	180.7	159	333	39.41	2.733
Κινητή Τηλεφωνία	181.9	161	239	22.57	2.186
Game Cards	892.2	834	982	63.79	0.995
Κινητά Τηλέφωνα	1643.4	1485	1929	122.82	2.186
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1081.0	1036	1165	58.18	0.989
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1178.3	1114	1294	49.53	2.193
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1184.0	1126	1216	39.70	0.975
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1133.1	1016	1737	169.39	2.215
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1163.2	1061	1421	172.69	0.966
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1253.3	1162	1382	62.23	2.308
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1818.6	1615	2674	312.48	2.316
TOTAL	953.2	159	2674	589.39	14.018

Table 5.2: result summary for 5+5 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	513.9	387	1211	204.47	3.110
Gaming	183.3	162	237	28.69	1.934
Τεχνολογία	177.4	161	315	34.51	3.115
Κινητή Τηλεφωνία	175.3	160	237	23.08	1.559
Game Cards	873.2	836	946	34.54	1.933
Κινητά Τηλέφωνα	1629.7	1512	2088	168.99	1.560
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1048.3	1005	1132	37.74	1.931
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1225.7	1149	1332	62.34	1.571
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1115.2	1031	1209	63.23	1.564
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1199.7	1105	1435	117.74	1.954
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1294.3	1167	1513	110.43	1.559
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1074.4	1044	1139	33.37	2.082
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	2071.7	1627	2841	473.80	1.569
TOTAL	884.9	160	2841	583.81	14.675

Table 5.3: result summary for 8+2 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	519.2	386	1322	235.12	3.141
Gaming	168.9	161	198	9.33	2.516
Τεχνολογία	174.7	160	221	14.31	3.125
Κινητή Τηλεφωνία	178.8	170	189	7.85	0.743
Game Cards	857.5	823	936	37.82	2.518
Κινητά Τηλέφωνα	1694.8	1548	2030	225.62	0.743
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1098.9	1010	1980	235.71	2.526
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1184.2	1127	1278	65.19	0.747
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1210.6	1097	1668	151.40	2.530
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1057.0	1016	1120	48.46	0.749
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1377.8	1225	1656	202.55	0.751
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1262.6	1032	2193	314.41	2.519
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	2099.8	1720	2501	397.83	0.750
TOTAL	818.2	160	2501	538.88	15.243

Table 5.4: result summary for 10+40 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	487.4	392	996	85.78	5.416
Gaming	178.7	162	310	31.78	2.940
Τεχνολογία	176.2	157	418	29.17	5.418
Κινητή Τηλεφωνία	173.3	159	218	12.28	4.335
Game Cards	908.2	837	1450	142.24	2.941
Κινητά Τηλέφωνα	1615.5	1475	1884	86.32	4.335
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1097.6	1017	1451	95.75	2.996
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1196.5	1096	1521	60.74	4.333
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1096.0	1019	1495	68.72	4.350
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1164.0	1101	1392	64.27	2.987
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1255.4	1078	1560	73.34	4.356
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1143.7	1008	1389	91.18	2.951
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1740.3	1548	2912	234.45	4.361
TOTAL	926.1	157	2912	566.75	34.972

Table 5.5: result summary for 25+25 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	481.8	382	928	115.28	7.719
Gaming	175.0	159	270	17.98	4.217
Τεχνολογία	174.2	154	307	20.06	7.726
Κινητή Τηλεφωνία	198.7	161	487	69.21	3.864
Game Cards	910.6	820	1519	128.74	4.217
Κινητά Τηλέφωνα	1634.2	1501	2121	124.36	3.864
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1136.5	1003	1713	151.69	4.242
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1222.7	1119	1726	124.82	3.837
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1189.6	1013	1633	105.46	4.215
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1108.5	1003	1688	106.49	3.864
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1131.7	965	1786	133.87	4.204
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1266.2	1079	1791	122.02	3.864
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1751.7	1548	2399	216.76	3.889
TOTAL	869.2	154	2399	538.75	44.621

Table 5.6: result summary for 40+10 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	460.6	382	1461	150.31	5.977
Gaming	187.8	155	859	94.31	4.785
Τεχνολογία	173.1	155	261	18.13	5.964
Κινητή Τηλεφωνία	203.6	160	702	118.56	2.389
Game Cards	877.3	809	1432	92.61	4.786
Κινητά Τηλέφωνα	1631.0	1474	2054	151.67	2.387
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1123.4	994	2180	194.24	4.771
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1237.0	1105	1565	130.12	2.355
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1204.5	1074	2208	180.95	4.765
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1158.8	1029	1623	168.47	2.362
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1344.8	1122	2249	256.38	2.370
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1128.3	954	2149	174.24	4.760
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1709.3	1573	2244	151.75	2.360
TOTAL	792.7	155	2249	494.73	36.320

Table 5.7: result summary for 20+80 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	614.5	398	3920	458.50	6.357
Gaming	241.6	160	1545	244.71	3.937
Τεχνολογία	221.0	153	1495	189.09	6.360
Κινητή Τηλεφωνία	218.4	158	1488	169.63	5.081
Game Cards	1048.1	809	4043	617.83	3.928
Κινητά Τηλέφωνα	1813.0	1440	5289	600.87	5.082
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1284.4	1007	2828	451.48	3.918
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1743.9	1089	44061	3457.64	5.090
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1595.2	1074	4960	986.85	3.931
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1332.8	993	5009	675.66	5.048
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1492.7	982	3388	680.38	3.899
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1528.9	1060	7131	830.89	5.050
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1995.5	1544	6445	710.34	5.045
TOTAL	1136.5	153	44061	1396.73	43.953

Table 5.8: result summary for 50+50 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	566.1	383	3887	433.90	9.399
Gaming	208.0	156	1056	137.95	4.996
Τεχνολογία	205.3	156	1203	144.62	9.406
Κινητή Τηλεφωνία	194.1	160	493	55.16	4.703
Game Cards	1063.7	812	3536	443.13	4.996
Κινητά Τηλέφωνα	1767.3	1451	4099	394.07	4.703
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1285.7	1003	3210	378.99	4.998
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1422.6	1107	3254	450.89	4.723
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1433.5	1043	3706	478.45	5.010
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1270.1	1012	2928	330.78	4.722
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1344.2	973	3465	426.36	4.997
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1428.9	1108	2674	354.23	4.725
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1987.0	1527	4995	587.96	4.716
TOTAL	996.5	156	4995	703.46	59.553

Table 5.9: result summary for 80+20 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	517.2	374	3332	292.94	6.635
Gaming	220.9	156	1577	185.35	5.311
Τεχνολογία	191.2	156	930	89.93	6.627
Κινητή Τηλεφωνία	296.6	162	2218	362.58	3.526
Game Cards	968.9	792	2293	247.87	5.311
Κινητά Τηλέφωνα	1764.0	1466	3776	482.79	3.526
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1208.4	988	2633	326.14	5.330
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1359.6	1089	3246	413.93	3.533
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1272.8	1034	2959	363.20	3.532
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1336.4	1078	5121	452.86	5.341
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1261.9	954	2511	342.01	5.340
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1355.2	1139	3177	356.15	3.532
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1691.2	1548	2130	136.18	3.557
TOTAL	868.5	156	5121	586.55	43.465

Table 5.10: result summary for 100+400 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	559.6	374	9200	451.23	7.242
Gaming	229.8	157	1749	199.25	5.441
Τεχνολογία	206.5	154	6522	256.06	7.242
Κινητή Τηλεφωνία	192.4	157	1338	106.74	5.794
Game Cards	1093.7	800	6251	715.45	5.442
Κινητά Τηλέφωνα	1647.8	1404	9266	467.99	5.794
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1483.9	1000	7916	1024.92	5.444
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1302.7	1084	10049	631.53	5.792
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1187.0	980	8872	523.27	5.791
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1556.9	1024	9885	1011.88	5.437
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1345.3	1057	9017	508.54	5.790
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1463.6	983	9880	1068.14	5.397
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1803.7	1504	12128	679.77	5.789
TOTAL	1014.7	154	12128	799.16	54.925

Table 5.11: result summary for 250+250 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	485.0	378	1704	97.23	11.361
Gaming	190.3	156	1198	83.38	5.751
Τεχνολογία	182.0	154	1389	56.35	11.364
Κινητή Τηλεφωνία	183.7	157	1166	56.55	5.682
Game Cards	914.0	791	2112	118.84	5.751
Κινητά Τηλέφωνα	1605.4	1436	3142	154.35	5.682
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1145.0	999	3416	193.05	5.751
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1252.4	1078	3942	195.97	5.683
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1263.0	1074	4834	241.60	5.745
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1143.5	1005	1958	133.88	5.678
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1311.6	1069	5123	230.57	5.679
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1182.0	943	2665	185.84	5.733
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1744.3	1547	4175	208.13	5.677
TOTAL	884.6	154	5123	552.55	81.621

Table 5.12: result summary for 400+100 users

Page	Avg.	Min	Max	SD	TP
Home	461.8	374	2065	158.50	7.300
Gaming	184.1	156	1417	78.92	5.840
Τεχνολογία	180.5	153	1240	71.48	7.298
Κινητή Τηλεφωνία	195.5	159	1199	97.50	5.249
Game Cards	908.8	792	2019	144.74	5.840
Κινητά Τηλέφωνα	1653.1	1454	2673	202.86	5.248
Riot League of Legends Pre-Paid Card 10 Euro (1380RP)	1134.7	974	3105	209.06	5.840
Xiaomi Redmi Note 9 (128GB) Midnight Gray	1290.2	1107	3538	250.01	5.237
Blizzard World Of Warcraft 60 Day Prepaid Card PC	1232.3	1041	5451	278.62	5.838
Huawei P40 Lite (128GB) Midnight Black	1211.2	1014	3963	316.76	5.205
EA - Electronic Arts FIFA 15 Ultimate Team 2200 Points PC	1167.3	944	3100	219.32	5.839
Samsung Galaxy A51 (128GB) Prism Crush Black	1362.1	1065	4514	307.31	5.204
OnePlus Nord N100 (64GB) Midnight Frost	1794.4	1557	2998	256.41	5.217
TOTAL	811.9	153	5451	524.48	51.419

5.3 Αναφορές

1. Zhong, H., Fang, Y., & Cui, J. (2017). LBBSRT: An efficient SDN load balancing scheme based on server response time. *Future Generation Computer Systems*, 68, 183–190.
2. Almeida, L., & Pedreiras, P. (2004). Scheduling within temporal partitions: response-time analysis and server design. *Proceedings of the 4th ACM International Conference on Embedded Software*, 95–103.
3. Banga, G., & Druschel, P. (1997). Measuring the Capacity of a Web Server. *USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*, 61–71.
4. Cardellini, V., Colajanni, M., & Yu, P. S. (1999). Dynamic load balancing on web-server systems. *IEEE Internet Computing*, 3(3), 28–39.
5. Chen, X., Mohapatra, P., & Chen, H. (2001). An admission control scheme for predictable server response time for web accesses. *Proceedings of the 10th International Conference on World Wide Web*, 545–554.
6. Gaujal, B., & Navet, N. (2005). Maximizing the Robustness of TDMA Networks with Applications to TTP/C. *Real-Time Systems*, 31(1-3), 5–31.
7. Iyengar, A., & Challenger, J. (1997). *Improving web server performance by caching dynamic data*. IBM Thomas J. Watson Research Division.
8. Xu, Z., & Huang, R. (2009). Performance study of load balancing algorithms in distributed web server systems. *Cs213 Parallel and Distributed Processing Project Report*, 1.
9. Shadrach, D. C., Balagani, K. S., & Phoha, V. V. (2009). A weighted metric based adaptive algorithm for web server load balancing. *2009 Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application*, 1, 449–452.
10. Slothouber, L., & others. (1996). A model of web server performance. *Proceedings of the 5th International World Wide Web Conference*.
11. Diamantis, K. (2016). *Skroutz Analytics*. Skroutz Engineering. <https://engineering.skroutz.gr/blog/skroutz-analytics/>
12. Villela, D., Pradhan, P., & Rubenstein, D. (2004). Provisioning servers in the application tier for e-commerce systems. *Twelfth IEEE International Workshop on Quality of Service, 2004. IWQOS 2004.*, 57–66.
13. Freek. (2016). *schedtool(8) - System Manager's Manual* (Version 1.13.0) [Computer software]. <https://man.archlinux.org/man/schedtool.8.en>
14. Axboe, J., & Zak, K. (2011). *ionice(1) - User Commands* (Version 2.36.1) [Computer software]. <https://man.archlinux.org/man/ionice.1.en>
15. R-core. (2020). *Shapiro-Wilk Normality Test* (Version 3.6.2) [Computer software]. <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/shapiro.test>
16. R-core. (2020). *Kolmogorov-Smirnov Tests* (Version 3.6.2) [Computer software]. <https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/topics/ks.test>