

# Επιστημονικός Υπολογισμός Εργαστηριακή Άσκηση<sup>1</sup> 2020-21<sup>2</sup>

Ημερομηνία κατάθεσης για πλήρη βαθμό ως τις 23:59 στις 21/2/2021

- Από τις 5 ερωτήσεις πρέπει να κάνετε τις 1,4,5 (μεγ. άθροισμα 70/100) και να επιλέξετε μόνο μια των 2 και 3 (30/100). Αν κάνετε και τις δύο, θα λάβετε επιπλέον bonus ως 15.
- Στη συγγραφή της αναφοράς, παρακαλείστε να θυμηθείτε τις "καλές πρακτικές" που έχετε μάθει στο "Συγγραφή και Παρουσίαση Τεχνικών Κειμένων". Εννοείται ότι θα είναι πολύ καλύτερα αν υποβάλετε την αναφορά σε LaTeX.

## 1 Εισαγωγικά [10β]

### 1.1 Στοιχεία υπολογιστικού συστήματος

Να περιγράψετε τα παρακάτω στοιχεία για την άσκηση: Πότε ξεκινήσατε να ασχολείστε με αυτήν, πότε τελειώσατε, και τα χαρακτηριστικά του υπολογιστικού συστήματος το οποίο χρησιμοποιήσατε για την υλοποίηση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης και που βρίσκεται αυτό (π.χ. Υ/Κ, λαπτοπ, desktop). Πρέπει να αναφέρετε που ή πως βρήκατε τα στοιχεία.

- (i) Να συμπληρώσετε τα στοιχεία για το σύστημα στο οποίο θα τρέξετε τα πειράματά σας όπως αναφέρονται στον Πίνακα 1. Είναι απαραίτητο για τα στοιχεία που θα δώσετε, να αναφέρετε που ή πως τα βρήκατε. Για χρήστες Windows μπορείτε να κατεβάσετε ειδικά προγράμματα όπως το cruz από τη διεύθυνση <http://www.cruiz.com/> το οποίο θα σας δώσει τις πληροφορίες που είναι ζητούμενες. Για χρήστες Linux μπορείτε να βρείτε τις ζητούμενες πληροφορίες μέσω των εντολών `cat /proc/meminfo` και `cat /proc/cpuinfo`.
- (ii) Έκδοση του MATLAB που χρησιμοποιήσατε καθώς και πληροφορίες για τις σχετικές βιβλιοθήκες.
- (iii) Επιπλέον πρέπει να δείξετε τον πίνακα που προκύπτει όταν εκτελείτε την εντολή `bench`. Για παράδειγμα, δείτε τον πίνακα 1 στο Παράρτημα.

## 2 Αραιή αναπαράσταση BCRS [30β ως υποχρ ή 15β ως bonus]

1. Να κατασκευάσετε συνάρτηση `sp_mx2bcrs`

`[val,col_idx,row_blk]= sp_mx2bcrs(A,nb)`

που δοθέντος ακεραίου (block size)  $nb$  και ενός **τετραγωνικού** αραιού μητρώου  $A$ , επιστρέφει την αναπαράσταση BCRS σύμφωνα με την περιγραφή στη βιβλιογραφία<sup>8</sup>. **Μπορείτε να υποθέσετε**

<sup>1</sup> Διαβάστε και τους κανόνες βαθμολογίας στο <https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1151/>.

<sup>2</sup> Διορθώσεις και διευκρινίσεις σημειώνονται με **κόκκινο**.

<sup>4</sup> <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/192987/intel-core-i9-9880h-processor-16m-cache-up-to-4-80-ghz.html>

<sup>5</sup> [https://en.wikichip.org/wiki/intel/core\\_i9/i9-9880h](https://en.wikichip.org/wiki/intel/core_i9/i9-9880h)

<sup>6</sup> <https://gadgetversus.com/processor/intel-core-i9-9880h-vs-intel-core-i7-9750h/>

<sup>7</sup> Εντολή `version` στη MATLAB - βλ. Διάλεξη 5

<sup>8</sup> Δείτε [http://netlib.org/linalg/html\\_templates/node93.html](http://netlib.org/linalg/html_templates/node93.html).

Πίνακας 1: Στοιχεία για τα πειράματα

| Χαρακτηριστικό       | ενδεικτική απάντηση  |
|----------------------|--|
| Έναρξη/λήξη εργασίας | 15/12/19 - 14/1/20   |
| model                | MacBook Pro <sup>3</sup>   |
| O/S                  | macOS Catalina 10.15.1   |
| processor name       | 8-Core Intel Core i9 (i9-9880H) <sup>4</sup>   |
| processor speed      | 2.3 GHz (base)   |
| number of processors | 1  |
| total # cores        | 8  |
| total # theads       | 16   |
| FMA instruction      | yes  |
| L1 cache             | 256KB Instruction, 256 KB Data write-back <sup>5</sup>   |
| L2 cache             | (per core) 256KB, write-back   |
| L3 cache             | (shared) 16MB, write-back  |
| Gflops/s             | 423.2 <sup>6</sup>   |
| Memory               | 16GB   |
| Memory Bandwidth     | 41.8 GB/s  |
| MATLAB Version       | 9.6.0.1174912 (R2019a) Update 5 <sup>7</sup>   |
| BLAS                 | Intel(R) Math Kernel Library Version 2018.0.3 for Intel(R) 64 architecture applications, CNR branch AVX2 |
| LAPACK               | Intel(R) Math Kernel Library Version 2018.0.3 for Intel(R) 64 architecture applications, CNR branch AVX2 |
|                      | Linear Algebra PACKage Version 3.7.0   |

για διευκόλυνση ότι το `nb` διαιρεί ακριβώς τη διάσταση του μητρώου.

2. Να κατασκευάσετε συνάρτηση για τον πολλαπλασιασμό  $y \leftarrow y + Ax$ .

`[y] = spmv_bcrs(y, val, col_idx, row_blk, x)`

3. Να επιλέξετε 2 τετραγωνικά μητρώα από την συλλογή SuiteSparse, διάστασης μεταξύ 1000 και 2000 και να δείξετε την ορθή λειτουργία των συναρτήσεών σας.

### 3 Τανυστές και διαδρομές [306 ως υποχρ ή 156 ως bonus]<sup>9</sup>

Όπως γνωρίζουμε, αν  $A$  είναι το μητρώο γειτνίασης ενός γραφήματος, τότε  $(A^k)_{i,j}$  είναι το πλήθος των διαδρομών από την κορυφή/κόμβο  $i$  του γραφήματος στον κόμβο  $j$  μήκους  $k$ .

1. Να κατασκευάσετε συνάρτηση που δοθέντος του  $A$  και  $k$  να επιστρέφει τον  $n \times n \times k$  τανυστή  $G$  στον οποίο  $G(:, :, \ell) = A^\ell$ .
2. Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τανυστή, να δείξετε πως μπορείτε να υπολογίσετε αποτελεσματικά με πράξεις που ορίζονται στο MTT το πλήθος των διαδρομών μήκους ως  $k$  μεταξύ των κόμβων  $i, j$ .
3. Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τανυστή, να δείξετε πως μπορείτε να υπολογίσετε αποτελεσματικά με πράξεις που ορίζονται στο MTT το πλήθος των διαδρομών μήκους ως  $k$  μεταξύ κάθε ζεύγους κόμβων  $i, j$ .

### 4 Στατιστικά μητρώων [206]

Θα πρέπει φτιάξετε συνάρτηση `band_stats`, για την παραγωγή στατιστικών σχετικά με το βαθμό "ζωνικότητας" (bandedness) και άλλων στοιχείων που ενδιαφέρουν για πολλά μητρώα. Η συνάρτηση θα καλείται ως

<sup>9</sup>Για το ερώτημα αυτό πρέπει να χρησιμοποιήσετε το MATLAB Tensor Toolbox (MTT) που συζητήσαμε στην τάξη.

$$P = \text{band\_stats}(\text{mxid}, p)$$

και θα λειτουργεί ως εξής:

Αν το `mxid` είναι ακέραιος τότε επιλέγει το μητρώο υπ' αριθμ. `mxid` από τη συλλογή `SuiteSparse`. Αν το `mxid` είναι `string` τότε επιλέγει το μητρώο με αυτό το όνομα από την ίδια συλλογή. Αν δεν υπάρχει μητρώο που αντιστοιχεί στο όνομα ή στον αριθμό, επιστρέφει σφάλμα. Αν το `mxid` είναι `array`, τότε χρησιμοποιεί αυτό το μητρώο.

Στη συνέχεια, σχηματίζει τα μητρώα εύρους ζώνης από  $k = 0, 3, \dots, 2p+1$  που σχηματίζονται από το επιλεγμένο μητρώο, έστω  $A^{(k)}$ , και για κάθε  $k$ , επιστρέφεται το πλήθος των μη μηδενικών στοιχείων που περιέχει το υπομητρώο σε σχέση με το  $A$ , δηλ. το  $\text{rnnz} = \text{nnz}(A^{(k)})/\text{nnz}(A)$ , καθώς και το σχετικό σφάλμα  $\text{err} = \|A - A^{(k)}\|/\|A\|$  ως προς τη νόρμα Frobenius. **Η συνάρτηση επιστρέφει τις τιμές `rnnz`, `err` στον πίνακα `P`.**

Τα μητρώα ελέγχου θα αναρτηθούν στο `eclass`. Με κάθε ένα από αυτά, να οπτικοποιήσετε τα αποτελέσματα με γραφικές παραστάσεις για την διακύμανση των τιμών αυτών ως προς  $k$ . Προφανώς, οι τιμές των 2 κλασμάτων θα είναι πάντα στο διάστημα  $[0, 1]$  και μάλιστα η ακολουθία τιμών για το πρώτο θα είναι αύξουσα και για το δεύτερο φθίνουσα.

## 5 Επαναληπτικές μέθοδοι [406]

### 5.1 Ειδικά μητρώα

1. Δίνεται το γραμμικό σύστημα  $Ax = b$  με τις εντολές

```
n=500; A = spdiags([1:n]',[0],n,n); xsol = ones(n,1); b = A*xsol.
```

Στη συνέχεια δοκιμάστε την επίλυση του συστήματος με  $\text{tol} = 1e-6$  και μέγιστο αριθμό επαναλήψεων  $4*n$ , αρχικό διάνυσμα για τις επαναλήψεις το 0 και τη μέθοδο `pcg`. Σε κάθε περίπτωση, να δείξετε την πορεία της σύγκλισης (ή μη) σε διάγραμμα<sup>10</sup> **αριθμό των επαναλήψεων σε σχέση με τη νόρμα-2 του σχετικού υπολοίπου. Επίσης, στη λεζάντα (`caption`) της εικόνας, να αναφέρετε τη νόρμα-2 του σφάλματος στο τελευταίο βήμα για κάθε μητρώο.** Επίσης να υπολογίσετε το συνολικό πλήθος πολλαπλασιασμών μητρώου διανύσματος ως τη σύγκλιση για μ κάθε μητρώο (αν συγκλίνει). Σχολιάστε και αξιολογήστε τα αποτελέσματα (σύγκλιση ή μη, ταχύτητα σύγκλισης, ακρίβεια αποτελεσμάτων, πλήθος των απαιτούμενων MVs<sup>11</sup>).

2. Να επαναλάβετε το ίδιο πείραμα για το παρακάτω πρόβλημα:

```
n=500; A = spdiags([linspace(1,2,n/2)';linspace(1000,1001,n/2)'],[0],n,n); xsol = ones(n,1); b = A*xsol.
```

3. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα (σύγκλιση ή μη, ταχύτητα σύγκλισης, ακρίβεια αποτελεσμάτων, σύγκλιση ως προς το δείκτη κατάστασης). Τι φαινομενικά περίεργο παρατηρείτε;<sup>12</sup>

### 5.2 Τυχαία μητρώα

Τα ερωτήματα είναι όπως και πριν, αλλά διευρύνουμε το είδος των μητρώων και μεθόδων επίλυσης. Ειδικότερα δίνεται το γραμμικό σύστημα με τις εντολές `n=500; A = randn(n); xsol = rand(n,1); b = A*x`. Στη συνέχεια δοκιμάστε την επίλυση του συστήματος  $Ax = b$  με  $\text{tol} = 1e-6$  και μέγιστο αριθμό επαναλήψεων  $4*n$ . Χρησιμοποιήστε τις παρακάτω μεθόδους, χωρίς προρρυθμισμό και με αρχικό διάνυσμα για τις επαναλήψεις το 0.

<sup>10</sup>Για το ερώτημα αυτό, καλύτερα τα αποτελέσματα να δοθούν χρησιμοποιώντας την εντολή `semilogy` ως 2 γραμμές με διαφορετικό στιγματισμό σε μία εικόνα, σημειώνοντας με την εντολή `legend` ποιά γραμμή αντιστοιχεί σε ποιο μητρώο.

<sup>11</sup>Η συντομογραφία MV είναι η πράξη πολλαπλασιασμού μητρώου με διάνυσμα. Στην παρούσα συζήτηση για όλες τις περιπτώσεις, αναφέρεται αποκλειστικά σε πράξεις με το **μεγάλο** μητρώο.

<sup>12</sup>Πέραν του προφανούς ότι τα μητρώα είναι διαγώνια και κανείς λογικός δεν θα χρησιμοποιούσε επαναληπτική ή άλλη πολύπλοκη μέθοδο για να υπολογίσει ένα αποτέλεσμα που προκύπτει με απλή διαίρεση Hadamard διανυσμάτων.

1. pcg επί των κανονικών εξισώσεων.
2. gmres (m) (όπου m=100 είναι το μέγεθος που χρησιμοποιείται για το restart.)
3. gmres (n)

Σε κάθε περίπτωση, να δείξετε την πορεία της σύγκλισης (ή μη) σε διάγραμμα<sup>13</sup> τον αριθμό των επαναλήψεων σε σχέση με τη νόρμα-2 του σχετικού υπολοίπου. Επίσης, στη λεζάντα (caption) της εικόνας, να αναφέρετε τη νόρμα-2 του σφάλματος στο τελευταίο βήμα. Επίσης να υπολογίσετε το συνολικό πλήθος πολλαπλασιασμών μητρώου διανύσματος ως τη σύγκλιση κάθε μεθόδου (αν συγκλίνει). Σχολιάστε και αξιολογήστε τα αποτελέσματα (σύγκλιση ή μη, ταχύτητα σύγκλισης, ακρίβεια αποτελεσμάτων, πλήθος των απαιτούμενων MVs.).

Επιβεβαιώστε με σύντομα πειράματα ότι η επίλυση με την ανάποδη κάθετο επιστρέφει τα αποτελέσματα πολύ ταχύτερα και ότι τα αποτελέσματα είναι ακριβέστερα.

### 5.3 Επίλυση ΜΔΕ

Θεωρήστε την εξίσωση<sup>14</sup>

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \omega^2 u = g(x, y)$$

που ορίζεται στο μοναδιαίο τετράγωνο με ομογενείς συνοριακές συνθήκες Dirichlet.

1. Έστω ότι το πρόβλημα αυτό διακριτοποιείται σε ένα ομοιόμορφο πλέγμα με μέγεθος βήματος  $h = 1/(N + 1)$ , με κεντρικές διαφορές (μόριο πέντε σημείων) και ότι οι άγνωστοι αριθμούνται από αριστερά προς τα δεξιά και από κάτω προς τα επάνω. Επομένως, τα σημεία του πλέγματος είναι  $x_i = ih$  και  $y_j = jh$ . Επίσης, το διάνυσμα των αγνώστων είναι

$$[U_{1,1}, U_{1,2}, \dots, U_{1,N}, U_{2,1}, \dots, U_{2,N}, \dots, U_{N,1}, \dots, U_{N,N}]^T$$

όπου  $U_{i,j}$  είναι η (άγνωστη) τιμή της διακριτής προσέγγισης της άγνωστης συνάρτησης  $u(x, y)$  στο σημείο  $(x_i, y_j)$ . Προσέξτε ότι ο άγνωστος  $u(x_i, y_j)$  στη διαφορική θα προσεγγίζεται από το στοιχείο στη θέση  $(j - 1)N + i$  του παραπάνω διανύσματος.

Η εξίσωση διαφορών σε ένα τυχαίο σημείο του πλέγματος,  $(x_i, y_j)$  θα είναι της μορφής:

$$4U_{i,j} - U_{i-1,j} - U_{i+1,j} - U_{i,j-1} - U_{i,j+1} - \omega^2 h^2 U_{i,j} = h^2 G_{i,j}, 1 \leq i, j \leq N$$

Για ευκολία, επιλέξτε το δεξιό μέλος  $g(x, y)$  έτσι ώστε η ακριβής λύση του γραμμικού συστήματος να είναι το διάνυσμα που περιέχει μόνο μονάδες. Συμβολίστε το μητρώο των συντελεστών που προκύπτει με  $A$  και αποθηκεύστε το ως αραιό μητρώο στη MATLAB. Οπτικοποιήστε τη μηδενική δομή του με το spy.

2. Να γράψετε μια εξειδικευμένη συνάρτηση<sup>15</sup>, myMV που να μπορεί να δοθεί ως είσοδος στις επαναληπτικές συναρτήσεις της MATLAB (π.χ. στις pcg, gmres) και που δοθέντος διανύσματος εισόδου, έστω  $z$ , επιστρέφει το γινόμενο  $A*z$ . Προσοχή: Η συνάρτηση δεν κατασκευάζει και δεν χρησιμοποιεί ρητά το μητρώο  $A$ .<sup>16</sup>
3. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω συνάρτηση για τους πολλαπλασιασμούς, να λύσετε το πρόβλημα με  $\omega = 0$  και  $\omega = 1$ , για  $N = 2^7 - 1$ , χρησιμοποιώντας ανοχή  $\text{tol} = 1.e-6$ , αρχικό διάνυσμα για

<sup>13</sup>Καλύτερα τα αποτελέσματα να δοθούν χρησιμοποιώντας την εντολή semilogy ως 3 γραμμές με διαφορετικό σιγματισμό σε μία εικόνα, σημειώνοντας με την εντολή legend ποιά γραμμή αντιστοιχεί σε ποια μέθοδο.

<sup>14</sup>Αποκαλείται εξίσωση Helmholtz.

<sup>15</sup>Δείτε παραδείγματα στο <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/gmres.html>.

<sup>16</sup>Υπόδειξη: Για διευκόλυνση, η τιμή της παραμέτρου  $\omega$  μπορεί να οριστεί ως global.

τις επαναλήψεις το 0 και αυτή που θεωρείτε καλύτερη μέθοδο υποχώρου Krylov **αφ' ενός χωρίς και αφ' ετέρου με προρρυθμισμό**. Ως προρρυθμιστή, μπορείτε να επιλέξετε από αυτούς που υπάρχουν στη MATLAB (ilu, ichol) και που θεωρείτε επιστρέφει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Σε κάθε περίπτωση, να δείξετε την πορεία της σύγκλισης (ή μη) σε διάγραμμα<sup>17</sup> τον αριθμό των επαναλήψεων σε σχέση με τη νόρμα-2 του σχετικού υπολοίπου. Επίσης, στη λεζάντα (caption) της εικόνας, να αναφέρετε τη νόρμα-2 του σφάλματος στο τελευταίο βήμα. Επίσης να υπολογίσετε το συνολικό πλήθος πολλαπλασιασμών μητρώου διανύσματος ως τη σύγκλιση κάθε μεθόδου (αν συγκλίνει). Σχολιάστε και αξιολογήστε τα αποτελέσματα (σύγκλιση ή μη, ταχύτητα σύγκλισης, ακρίβεια αποτελεσμάτων, πλήθος των απαιτούμενων MVs. ).

## 6 Οδηγίες

**Παρουσίαση γραφικών παραστάσεων:** Σε κάθε σχήμα, τα αποτελέσματα για κάθε είδος επιλυτή πρέπει να είναι color-blind, δηλ. η διαφορά τους να φαίνεται με τις επιλογές στίγματος και είδους γραμμής και όχι μόνον με το χρώμα. Επιπλέον θα πρέπει να δώσετε τίτλο στη γραφική παράσταση, στους άξονες καθώς και σε κάθε καμπύλη που παρουσιάζεται, όπως στο Σχήμα 2 του Παραρτήματος.

**Αξιολόγηση** Τα παραδοτέο σας θα κριθούν βάσει των εξής στοιχείων:

1. Της ορθότητας των αποτελεσμάτων (προφανώς οι κώδικες πρέπει να παράγουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα).
2. Της αποδοτικότητας των αλγορίθμων σας. Θα πρέπει να αποφεύγονται περιττές πράξεις και να γίνεται αξιοποίηση της δομής (structure) μητρώων και διανυσμάτων στο έπακρο. Η βαθμολόγηση του μέρους αυτού της άσκησης εξαρτάται καίρια από τις επιλογές σας που να δείχνουν την κατανόηση του προβλήματος!
3. Της ποιότητας της αναφοράς (συνοπτική παρουσίαση και ευπαρουσίαστα αποτελέσματα).

Το πιο σημαντικό και απαραίτητο είναι η προσπάθεια να έχει γίνει από εσάς (δεν πειράζει να συζητήσετε και να συνεργαστείτε με συναδέλφους σας, όμως αυτό δεν πρέπει να είναι αντιληπτό αν πχ. σας ρωτήσουμε σε προφορική εξέταση σχετικά με τις απαντήσεις σας και την άσκησης).

### Προσοχή:

- Σημασία έχει η ατομική σας προσπάθεια στην επίλυση για την επιτυχημένη ολοκλήρωση του μαθήματος. Θεωρούμε ότι οι ασκήσεις που παραδίδονται είναι αποτέλεσμα προσωπικής προσπάθειας όποιου/ας την υπογράφει, που θα φέρει και την ευθύνη να απαντήσει αν της/του ζητηθεί να αιτιολογήσει και να υποστηρίξει όσα γράφονται. Ένα επιπλέον κέρδος είναι ότι η επίδοσή σας στη τελική εξέταση εξαρτάται από τις γνώσεις που αποκτήσατε στην προετοιμασία της εργασίας.
- Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι η εργασία εκπονήθηκε από άλλον/ους, η ποινή που μπορεί να επιβληθεί είναι αντίστοιχη με τις ποινές για αντιγραφή με ηλεκτρονικά μέσα κατά τις εξετάσεις. Σημειώνεται επίσης ότι οι απαντήσεις στα ερωτήματα μπορούν να δοθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους και είναι αρκετά απίθανο δύο διαφορετικές εργασίες να μοιάζουν πολύ! Γενικά, είναι πολύ προτιμότερο να παραδώσετε μία εργασία που είναι το αποτέλεσμα δικής σας προσωπικής προσπάθειας έστω και αν είναι ελλιπές.

<sup>17</sup>Καλύτερα τα αποτελέσματα να δοθούν χρησιμοποιώντας την εντολή semilogy ως 3 γραμμές με διαφορετικό στίγματισμό σε μία εικόνα, σημειώνοντας με την εντολή legend ποιά γραμμή αντιστοιχεί σε ποια μέθοδο.

## Σχετικά με τα παραδοτέα

Είναι απαραίτητο να ακολουθήσετε όσα αναφέρονται, ειδάλλως δεν θα βαθμολογηθείτε.

Θα τα αναρτήσετε στο e-Class σε ζιπ-αρχείο (zip) με όνομα

ΕΕΙΣΓ\_ΑΜ\_ΕΠΙΘΕΤΟ.zip

δηλ. έτος εισαγωγής, τα τελευταία 4 ψηφία του ΑΜ σας και το επίθετό σας με λατινικούς χαρακτήρες πρώτο γράμμα κεφαλαίο και τα υπόλοιπα πεζά. Για παράδειγμα αν υπήρχε (μάλλον αιώνιος) φοιτητής "Γαλλόπουλος" με ΑΜ που τελειώνει σε ΑΜ 8696 και έτος εισαγωγής 1996, θα πρέπει να χρησιμοποιήσει 1996\_8696\_Gallopoulos.pdf.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Οποιαδήποτε άλλη ονοματοδοσία θα είναι αιτία μηδενισμού της άσκησης.

**Αναφορά** Η αναφορά σας πρέπει να είναι σε μορφή pdf με σύνθετο όνομα όπως και του zip αρχείου, μόνον με το σωστό επίθετο, ΕΕΙΣΓ\_ΑΜ\_ΕΠΙΘΕΤΟ.pdf. Να είστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ώστε η αναφορά να είναι αναγνώσιμη χωρίς πρόβλημα συμβατότητας γραμματοσειρών κ.λπ. Ιδιαίτερη σημασία θα δοθεί στον τρόπο και στην οργάνωση της παρουσίασης.

- Μέγεθος γραμματοσειράς 10pt. Σας συνιστούμε να χρησιμοποιήσετε το report style του LaTeX (π.χ. μέσω Overleaf.)
- Η πρώτη σελίδα πρέπει να περιέχει τα στοιχεία σας καθώς και πίνακα περιεχομένων.
- Οι σελίδες πρέπει να είναι αριθμημένες.
- Κάθε σελίδα της αναφοράς πρέπει να περιέχει το όνομα και το ΑΜ σας σε ευδιάκριτο σημείο (π.χ. όπως δεξιά και αριστερά στην άνω μέρος του παρόντος για ένα υποθετικό ΑΜ).

**Κώδικες:** Όλες τις συναρτήσεις, scripts και εντολές που χρησιμοποιήσατε από την εργασία σας.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Για βαθμολόγηση, η 2η γραμμή κάθε συνάρτησης πρέπει να είναι σχόλιο με το ονοματεπώνυμό σας, ΑΜ και ημερομηνία συγγραφής, π.χ.

```
function [T]=b2t(A);  
% Author: Ε. ΓΑΛΛΟΠΟΥΛΟΣ, ΑΜ 76848696, Date: 20/12/2019
```

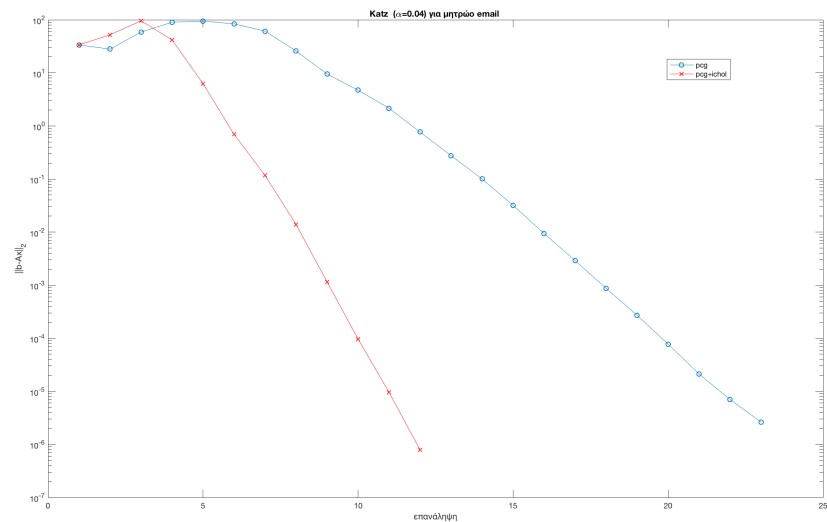
Οι συναρτήσεις πρέπει να είναι εκτελέσιμες άμεσα στο φάκελλο που θα γίνει το unzip από τους βαθμολογητές, αν δοθούν ορθά στοιχεία εισόδου. Αν αυτό δεν συμβαίνει, π.χ. επειδή υπάρχουν εξαρτήσεις από αλλού, δεν θα βαθμολογηθείτε.

## Αναφορές

## Α' Παράρτημα

| Computer Type   | LU     | FFT    | ODE    | Sparse | 2-D    | 3-D    |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| This machine  | 0.0693 | 0.0472 | 0.0695 | 0.0841 | 0.2684 | 0.5397 |
| Macintosh (64-bit) 3.5 GHz Intel Core i7                  | 0.0909 | 0.0593 | 0.0734 | 0.0889 | 0.3833 | 0.6312 |
| Linux (64-bit) 2.66 GHz Intel Xeon                        | 0.1295 | 0.0654 | 0.1933 | 0.1295 | 0.5581 | 0.5806 |
| Windows 7 Enterprise (64-bit) 2.66 GHz Intel Xeon         | 0.1357 | 0.0705 | 0.1678 | 0.1535 | 0.4210 | 0.9613 |
| Windows 7 Professional (64-bit) 3.07 GHz Intel Xeon W3550 | 0.2462 | 0.0844 | 0.1382 | 0.1476 | 0.3723 | 0.8357 |
| Windows 7 Enterprise (64-bit) 2.7 GHz Intel Core i7       | 0.2926 | 0.0820 | 0.1075 | 0.1311 | 0.5387 | 1.0212 |
| Macintosh (64-bit) 2.6 GHz Intel Core i7                  | 0.1880 | 0.0904 | 0.0884 | 0.1297 | 0.9780 | 1.0788 |
| Windows 8.1 (64-bit) 2.67 GHz Intel Xeon X5650            | 0.3146 | 0.0713 | 0.2053 | 0.2084 | 0.5210 | 0.8763 |
| Windows XP (32-bit) 2.4 GHz Intel Core 2 Quad             | 0.6330 | 0.2110 | 0.1671 | 0.2818 | 0.5823 | 1.3302 |

Σχήμα 1: Αποτελέσματα της bench σε Pentium i9.



Σχήμα 2: Τρόπος παρουσίασης γραφικών παραστάσεων