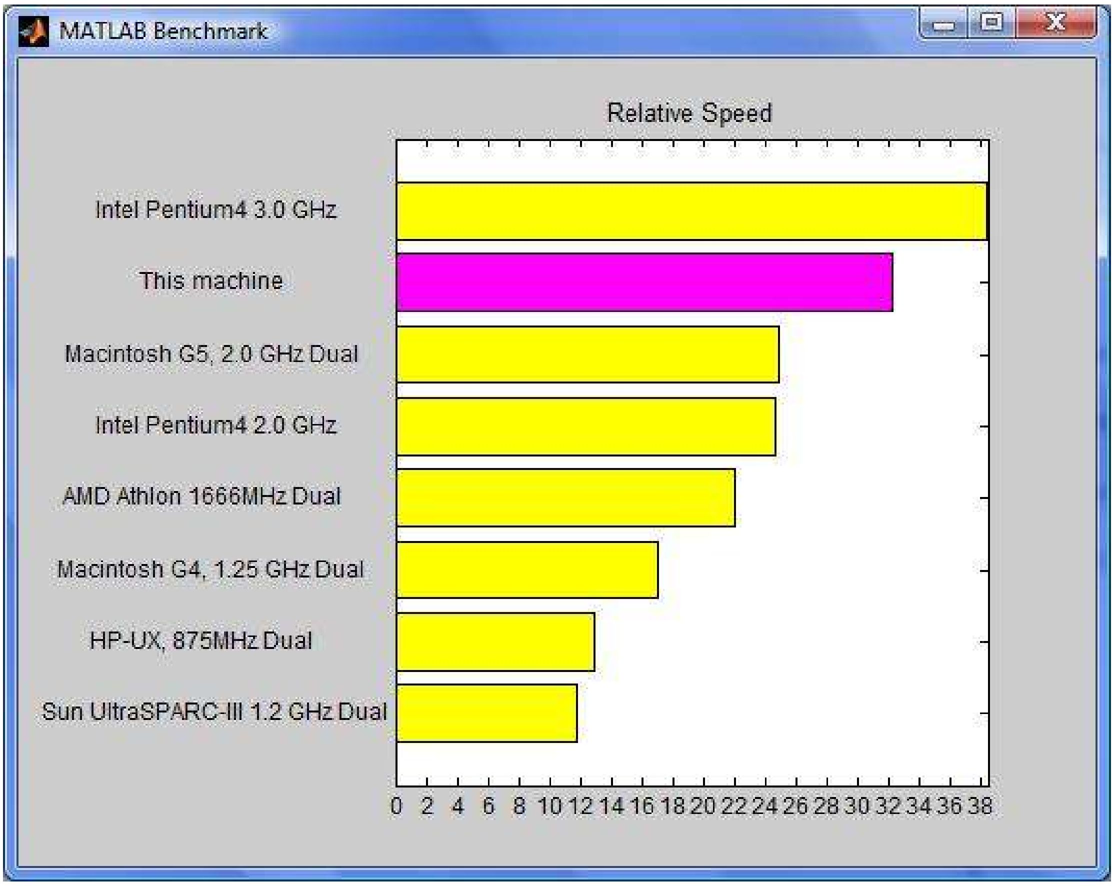
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ Ι
Ονοματεπώνυμο: Αραβανής Κων/νος   Α.Μ.:3628
1η Εργαστηριακή άσκηση

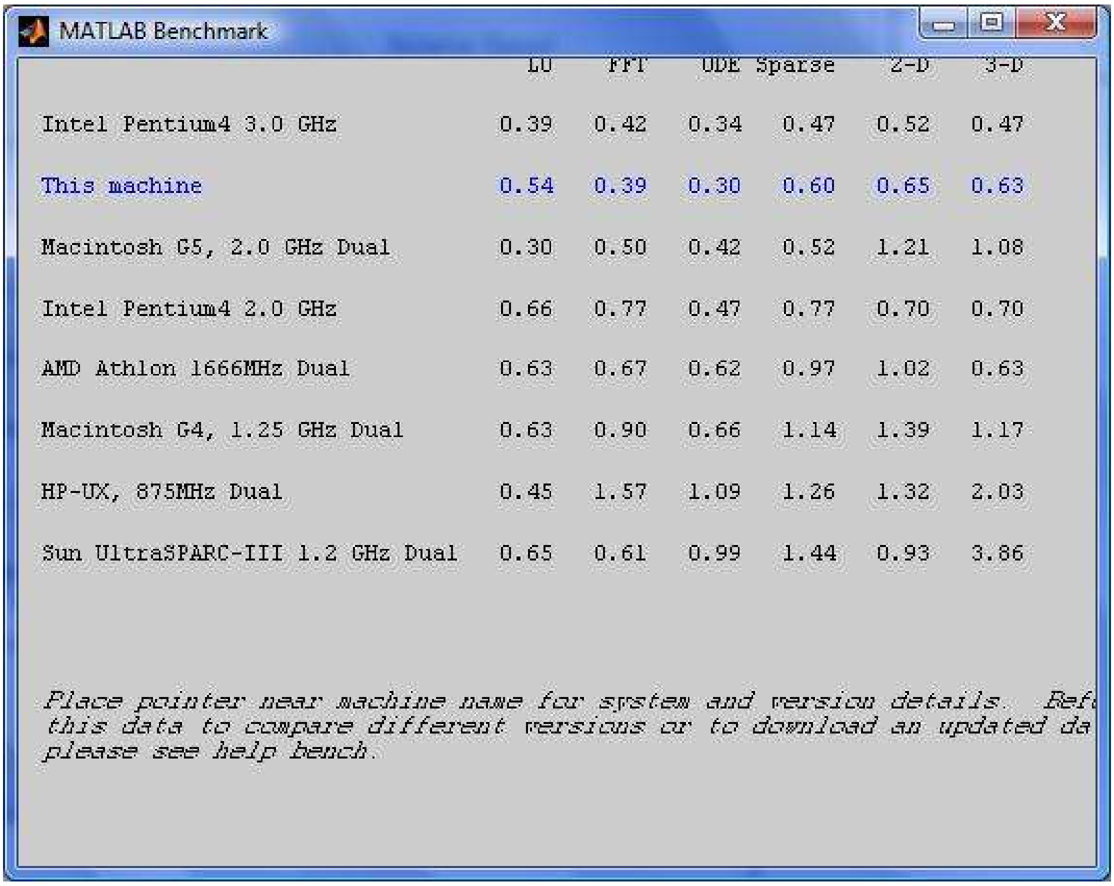
Εισαγωγικό σημείωμα: Αυτή η αναφορά συνοδεύεται από ένα zip-αρισμένο αρχείο στο οποίο μπορείτε να βρείτε τα σχήματα, τους κώδικες αλλα και τα στοιχεια των πινάκων που παρουσιάζονται παρακάτω. Συγκεκριμένα το κάθε σχήμα, ο κάθε κώδικας και ο κάθε πίνακας μετά την παραθεσή του στην αναφορά ακολουθείτε από μια λεζάντα που λέει το όνομα που έχει στο αρχείο που παραδόθηκε.

Ι)Αρχικά θα περιγράψουμε το σύστημα στο οποίο τρέξαμε τα πειράματα μας:
Το σύστημα μας είχε το λειτουργικό Microsoft Windows Vista Business και ο επεξεργαστής του ήταν ένας Intel Core Duo T2300 στα 1,66GHz. Είχαμε μία ιεραρχεία μνήμης δύο επιπέδων με το πρώτο επίπεδο να αποτελείτε από δύο κρυφές μνήμες, η μία για data (L1 D-Cache) και η άλλη για inst. (L1 D-Cache) και οι δύο των 32KBytes και με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: 8 way set-associative, 64-byte line size. Η κύρια μνήμη (L2 Cache) μας είχε μέγεθος 2048KBytes και ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με τις κρυφές. Όσον αφορά το λογισμικό στο οποίο εκτελέστηκαν τα προγράμματα μας ήταν η Matlab 7.0

ΙΙ)Στο σημείο αυτό εκτελέσαμε την συνάρτηση bench της Matlab και τα αποτελέσματα που λάβαμε ήταν αυτά που παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες:

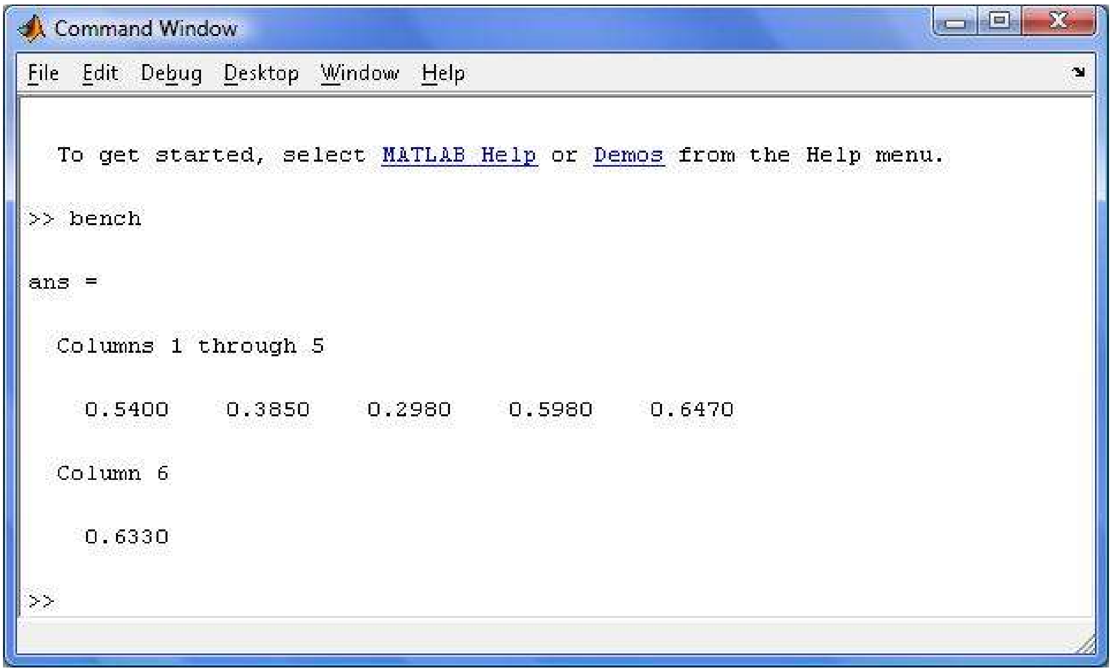


bench2.jpg



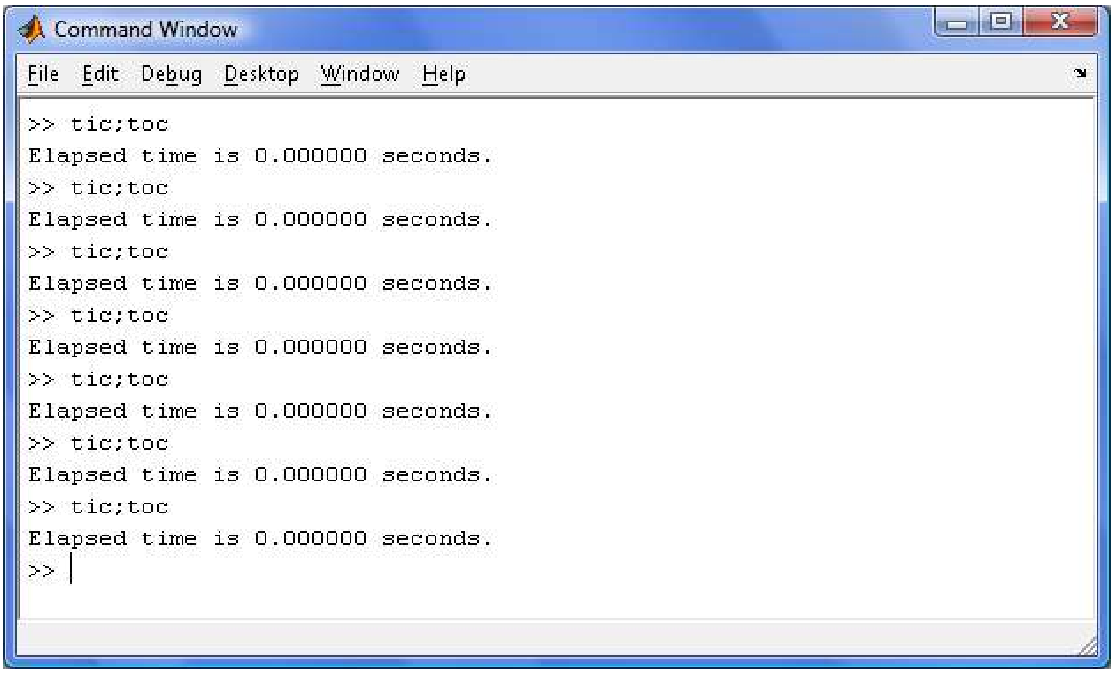
bench1.jpg

Στο Command Window που φαίνεται παρακάτω τα αποτελέσματα της bench παρουσιάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια στα τέσσερα δεκαδικά ψηφία μετά την υποδιαστολή σε αντίθεση με το προηγούμενο screenshot που υπάρχει ακρίβεια των δύο δεκαδικών ψηφίων μετά την υποδιαστολή.



bench3.jpg

Στο ερώτημα αυτό μας ζητήθηκε επίσης να μελετήσουμε τη διακριτότητα του tic;toc. Έπαναλαμβανοντας στη Matlab πολλές φορές το tic;toc διαπυστώσαμε ότι ο χρόνος που παίρναμε πάντα ήταν μηδενικός (όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα). Με άλλα λόγια η καθυστέρυση που επιβάλλει σε μία χρονομέτρηση που κραταει έστω και 0.0001 δευτερόλεπτα όπως στις παρακάτω ασκήσεις είναι ασήμαντη.



tic;toc.jpg

III) 1) Στο σημείο αυτό υλοποιήσαμε δύο συναρτήσεις , μία για πυκνά και μία για αραιά μητρώα ώστε να χρονομετρήσουμε τις τέσσερις ακόλουθες πράξεις: ανανέωση $1^{ης}$ ταξης (A=A+b*b';), πολλαπλασιασμός μητρώων (A=A+A*A;), λύση συστήματος (x=A\b;) και εύρεση ιδιοζευγών ([V,D]=eig(A);/ [V,D]=eig(full(A));) για διάφορες διαστάσεις πινάκων, ακολουθώντας πάντα τις οδηγίες της εκφώνησης.

ΠΥΚΝΑ ΜΗΤΡΩΑ
Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε είναι ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3o-XRONOMETRISI 4wn PRAKSEWN POU AFOROUN
%PIKNA MITRWA
B=rand(1024,1024);
for i=4:-1:0
   b=rand(2^(10-i),1);
   C=B(1:2^i:1024,1:2^i:1024);
   %opos kai edo etsi kai stis parakato prakseis ektelo mia fora prota tin
   %praksi kathos panta i proti ektelesei epistrefei paraplanitika
   %apotelesmata kai meta ksekino tin xronometrisi tis polles fores gia na
   %paro ton meso oro
   A=C;
   A=A+b*b';
   tic;
   for j=1:1:150
      A=C;
      A=A+b*b';
   end
   first=toc/150
   A=C;
   A=A+A*A;
   tic;
   for j=1:1:150
      A=C;
      A=A+A*A;
   end
   second=toc/150
   A=C;
   x=A\b;
   tic;
   for j=1:1:50
      x=A\b;
   end
   third=toc/50
   A=C;
   [V,D]=eig(A);
   tic;
   for j=1:1:10
      [V,D]=eig(A);
   end
   fourth=toc/10
end
```
askisi1erotima3pikna.m

Και τα αποτελέσματα που λάβαμε με τον περιορισμό ότι θα παρουσιάσουμε έως και τρία δεκαδικά ψηφία μετα την υποδιαστολη ηταν τα ακόλουθα:

Διαστάσεις Μητρώου	A=A+b*b’;	A=A+A*A;	x=A\b;	[V,D]=eig(A);
64x64	0.000	0.000	0.001	0.011
128x128	0.000	0.003	0.003	0.073
256x256	0.002	0.025	0.020	0.551
512x512	0.007	0.195	0.137	5.653
1024x1024	0.031	1.511	0.720	65.781

askisi1erotima3pikna.txt

Όπως εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε η διαταξη των παράξεων με βάση τον χρόνο είναι t1 << t3 < t2 << t4.

ΑΡΑΙΑ ΜΗΤΡΩΑ
Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε είναι ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3o-XRONOMETRISI 4wn PRAKSEWN POU AFOROUN
%ARAIA MITRWA
S=speye(512)+sprand(512,512,5/512);
J=[1,-1;1,1];
for i=0:1:4
   b=rand(2^(9+i),1);
   %opos kai edo etsi kai stis parakato prakseis ektelo mia fora prota tin
   %praksi kathos panta i proti ektelesei epistrefei paraplanitika
   %apotelesmata kai meta ksekino tin xronometrisi tis polles fores gia na
   %paro ton meso oro
   A=S;
   A=A+b*b';
   tic;
   for j=1:1:50
      A=S;
      A=A+b*b';
   end
   first=toc/50
   A=S;
   A=A+A*A;
   tic;
   for j=1:1:50
      A=S;
      A=A+A*A;
   end
   second=toc/50
   A=S;
   x=A\b;
   tic;
   for j=1:1:30
      x=A\b;
   end
   third=toc/30
   A=S;
   %logo tou poli megalou xronou pou apaitei afti i praksi ekteleitai mia
   %fora
   tic;
   [V,D]=eig(full(A));
   fourth=toc
   S=kron(S,J);
end
```
askisi1erotima3araia.m

Και τα αποτελέσματα που λάβαμε με τον περιορισμό ότι θα παρουσιάσουμε έως και τρία δεκαδικά ψηφία μετα την υποδιαστολη ηταν τα ακόλουθα:

Διαστάσεις Μητρώου	A=A+b*b’;	A=A+A*A;	x=A\b;	[V,D]=eig(full (A));
512x512	0.008	0.004	0.019	5.203
1024x1024	0.033	0.014	0.086	53.349
2048x2048	0.134	0.062	0.481	432.728
4096x4096	0.505	0.310	3.547	3492,700
8192x8192	1.991	1.744	29.221	*

askisi1erotima3araia.txt

*Το σύστημα μας σε αυτό το σημείο κρασαρε από θέμα χώρου μνήμης και έτσι σταμάτησε το τρέξιμο του προγράμματος που είχαμε σε λειτουργία.

Σε αντίθεση με τα πυκνά μητρώα στα αραιά μητρώα η διάταξη των χρονικών μονάδων που κοστίζουν οι πράξεις είναι t2 < t1 << t3 << t4. Επομένως παίζει ρόλο για το μητρώο το οποίο μιλάμε η πράξη που θα χρησιμοποιήσουμε.

2)Στο σημείο αυτό υπολογίζουμε την επίδοση του περιβάλλοντος υπολογισμού μας σε Mflop/s όσον αφορά τις τρεις πρώτες πράξεις για αραιά και πυκνά μητρώα.

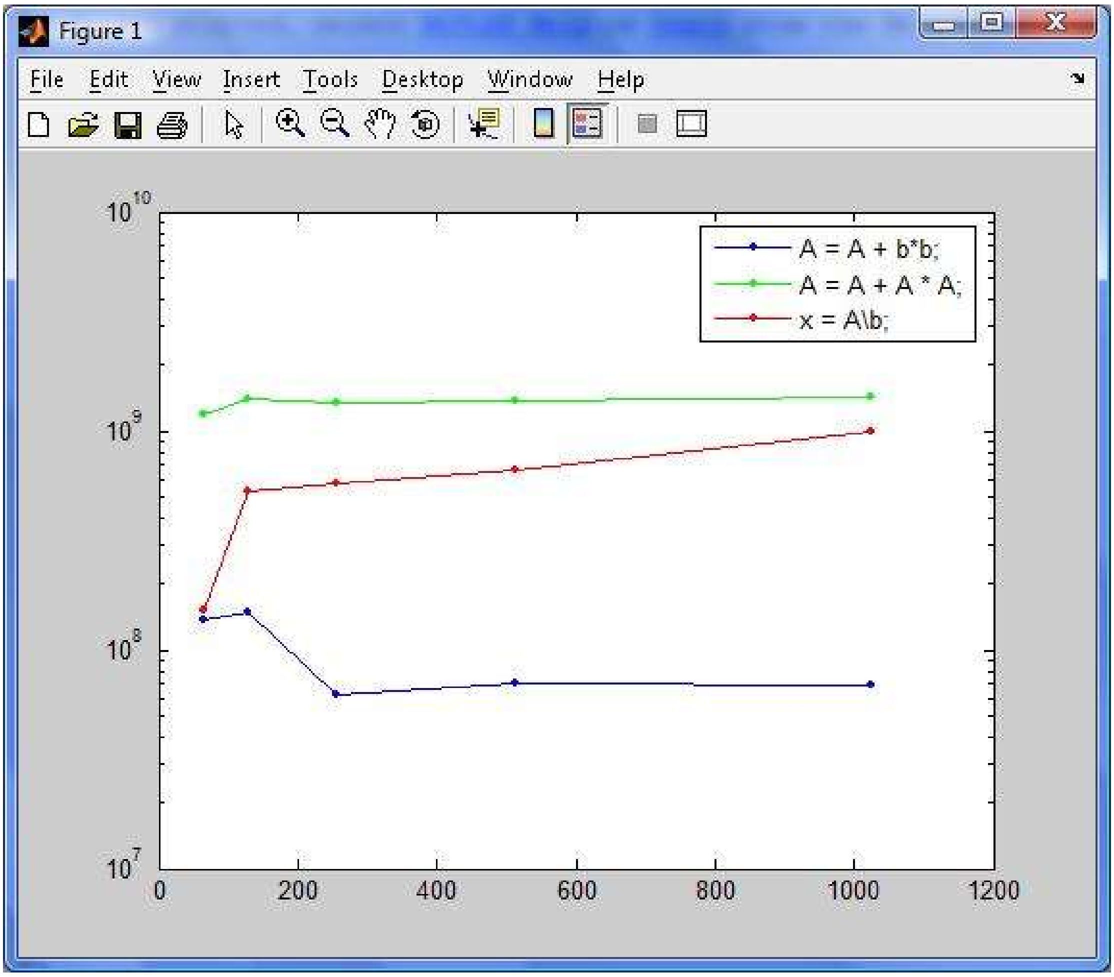
ΠΥΚΝΑ ΜΗΤΡΩΑ

Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε είναι ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3 IPOEROTIMA 2 PIKNA
mflops=zeros(5,3);
first     = [6.0000e-005;  2.2000e-004;  0.0021;  0.0074;  0.0307];
second =  [4.4000e-004;            0.0030;  0.0251;  0.1946;  1.5107];
third    = [        0.0012;            0.0027;  0.0196;  0.1367; 0.7199];
x          = [              64;                128;       256;       512;    1024];
for i=1:1:5
   mflops(i,1)=2*x(i)^2/first(i);
   mflops(i,2)=2*x(i)^3/second(i);
   mflops(i,3)=((2/3)*x(i)^3+2*x(i)^2)/third(i);
end
%grafiki parastasi ton mflops gia kathe mia apo tis 3 protes prakseis sinartisei ton diaforon megethon mitroon
semilogy(x, mflops(:,1), '.-');
% kanoume hold gia  na emfanistoun se koini grafiki parastasi
hold on;
semilogy(x, mflops(:,2), 'g.-');
semilogy(x, mflops(:,3), 'r.-')
legend('A = A + b*b;', 'A = A + A * A;', 'x = A\b;')
hold;
```

asisi1erotima3ipoerotima2pikna.m

Η γραφική παράσταση που προκύπτει από τον κώδικα αυτό είναι:

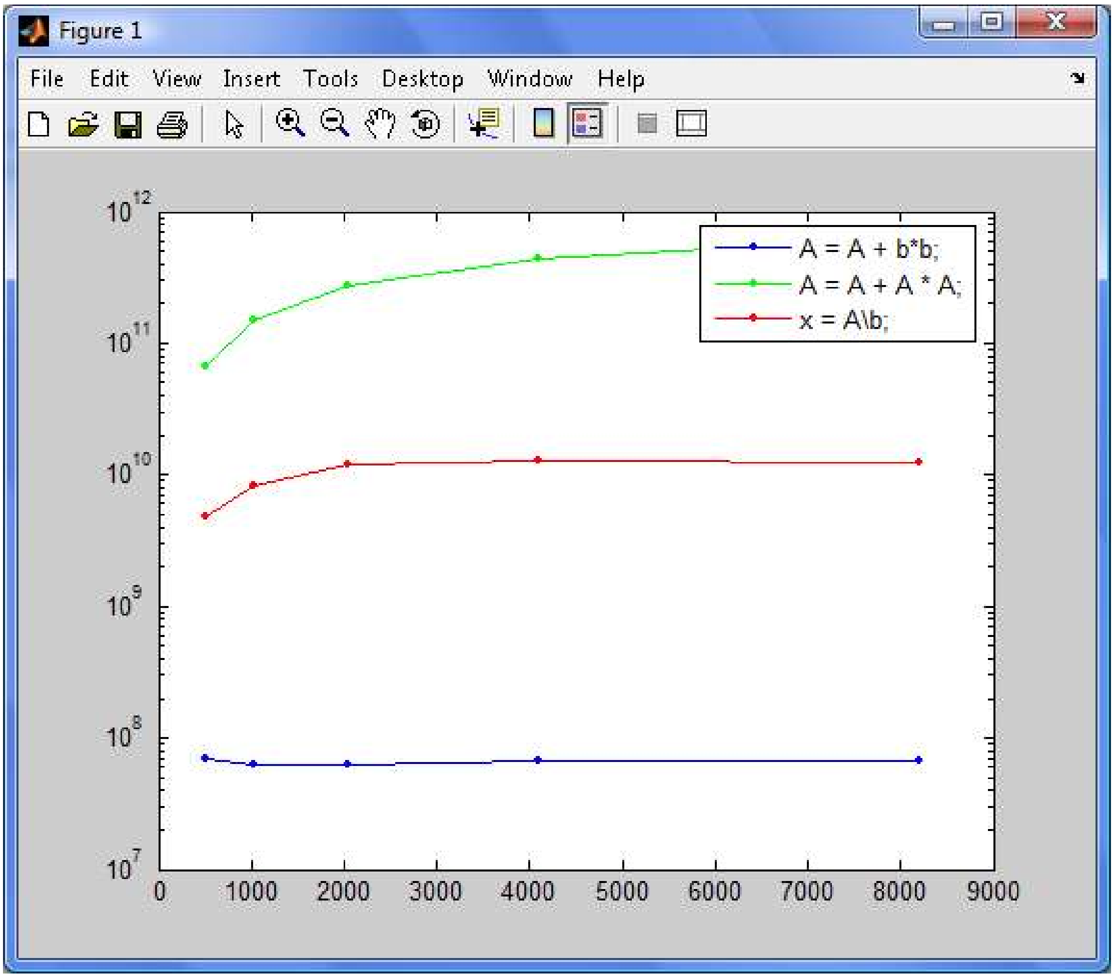


askisi1erotima3ipoerotima2araia

ΑΡΑΙΑ ΜΗΤΡΩΑ
Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε είναι ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3 IPOEROTIMA 2 ARAIA
mflops=zeros(5,3);
first    =  [0.0075;  0.0333;  0.1340;  0.5049;   1.9908];
second=  [0.0040;  0.0142;  0.0619;  0.3101;   1.7437];
third    =  [0.0190;  0.0866;  0.4807;  3.5471; 29.2211];
x         = [     512;     1024;     2048;     4096;     8192];
for i=1:1:5
   mflops(i,1)=2*x(i)^2/first(i);
   mflops(i,2)=2*x(i)^3/second(i);
   mflops(i,3)=((2/3)*x(i)^3+2*x(i)^2)/third(i);
end
%grafiki parastasi ton mflops gia kathe mia apo tis 3 protes prakseis sinartisei ton diaforon megethon mitroon
semilogy(x, mflops(:,1), '.-');
% kanoume hold gia  na emfanistoun se koini grafiki parastasi
hold on;
semilogy(x, mflops(:,2), 'g.-');
semilogy(x, mflops(:,3), 'r.-')
legend('A = A + b*b;', 'A = A + A * A;', 'x = A\b;')
hold;
```
askisi1erotima3ipoerotima2araia.m

Η γραφική παράσταση που προκύπτει από τον κώδικα αυτό είναι:



askisi1erotima3ipoerotima2pikna.jpg

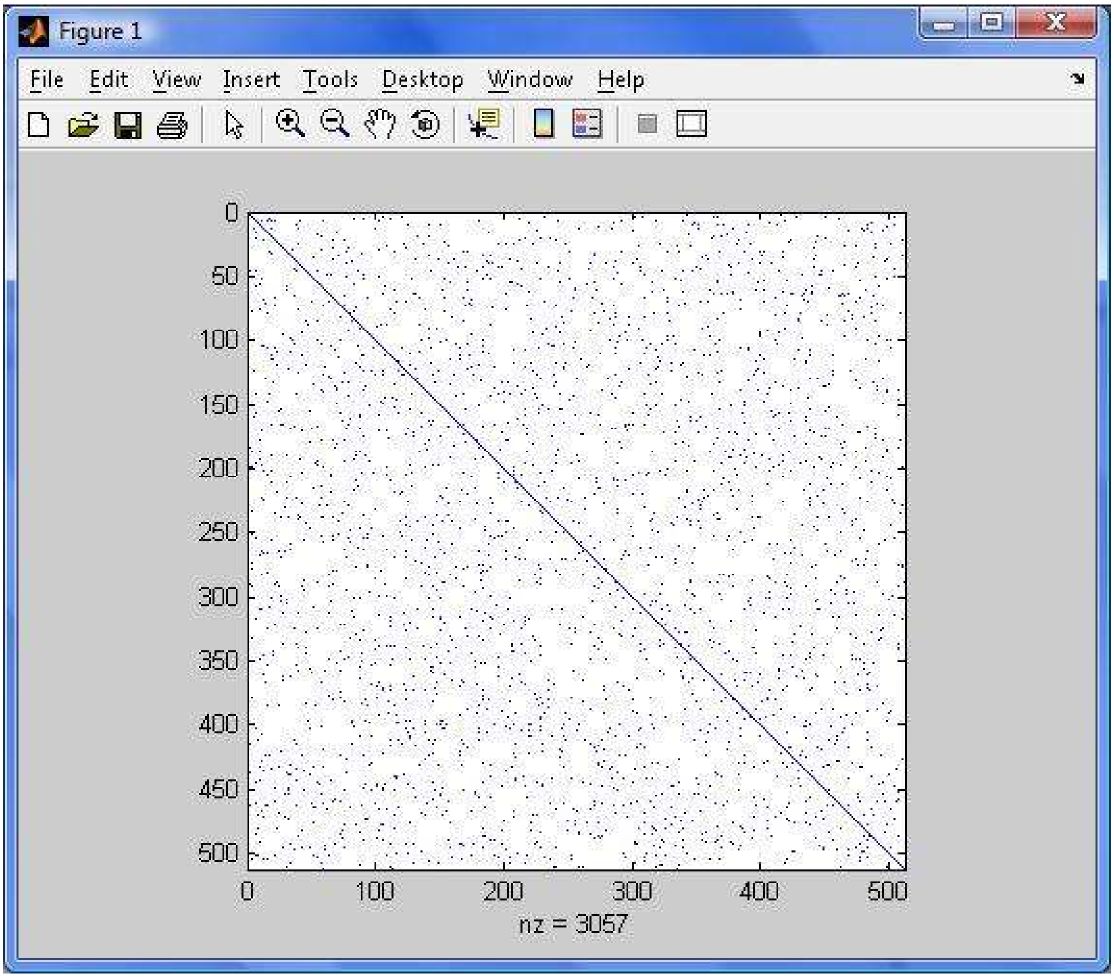
3) Όπως φαίνεται και στο σχήμα μας για τα πυκνά μητρώα η A=A + A*A; απαιτεί τις περισσότερες πραξεις κινιτής υποδιαστολής το δευτερόλεπτο ακολοθούμενη από την x=A\b; και την A=A + b*b'; . Η εξέλιξη των τρειών αυτών πράξεων με βαση την αλλαγή των διαστάσεων του πίνακα A είναι αρκετα διαφορετική για κάθε πράξη όπως μπορουμε να δούμε. Στα αραία μητρώα όσον αφορά την επιβάρυνση του υπολογιστή με τις πράξεις κινιτής υποδιαστολής που έχει να κάνει το δευτερόλεπτο πάλι η διάταξη των καμπυλών είναι ίδια με αυτή στα πυκνά, με μόνη διαφορά ότι ενώ η πρώτη πράξη μένει σχεδόν σταθερή στη γραφική αναπαράσταση οι άλλες αυξάνονται. Σε σχέση με τα κόστοι τώρα μπορούμε να πο΄υνε ότι μετα τους πίνακες 256x256 η A=A + b*b'; κοστίζει εξ' ίσου για αραιά και πυκνά ενώ οι άλλες είναι αρκετά πιο «ακριβές» στα αραιά.

4) Τώρα θέλουμε να ελένξουμε τα αραιά μας μητρώα (συγκεκριμμένα όμοια με αυτά που χρησιμοποιήσαμε στην άσκηση μας) για την μηδενική τους δομή κάνοντας χρήση της συνάρτησης spy. Αυτό το κάνουμε για αραιά μητρώα μεγέθους 512x512, 1024x1024 και 2048x2048. Επίσης κάνουμε χρήση της spy και για ένα τυχαίο πυκνό μητρώο 1024x1024 για να δούμε τη διαφορά.

Οι κώδικες που τρέξαμε καθώς και τα αποτελέσματα που λάβαμε φαίνονται παρακάτω:

ΑΡΑΙΟ ΜΗΤΡΩΟ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 512x512

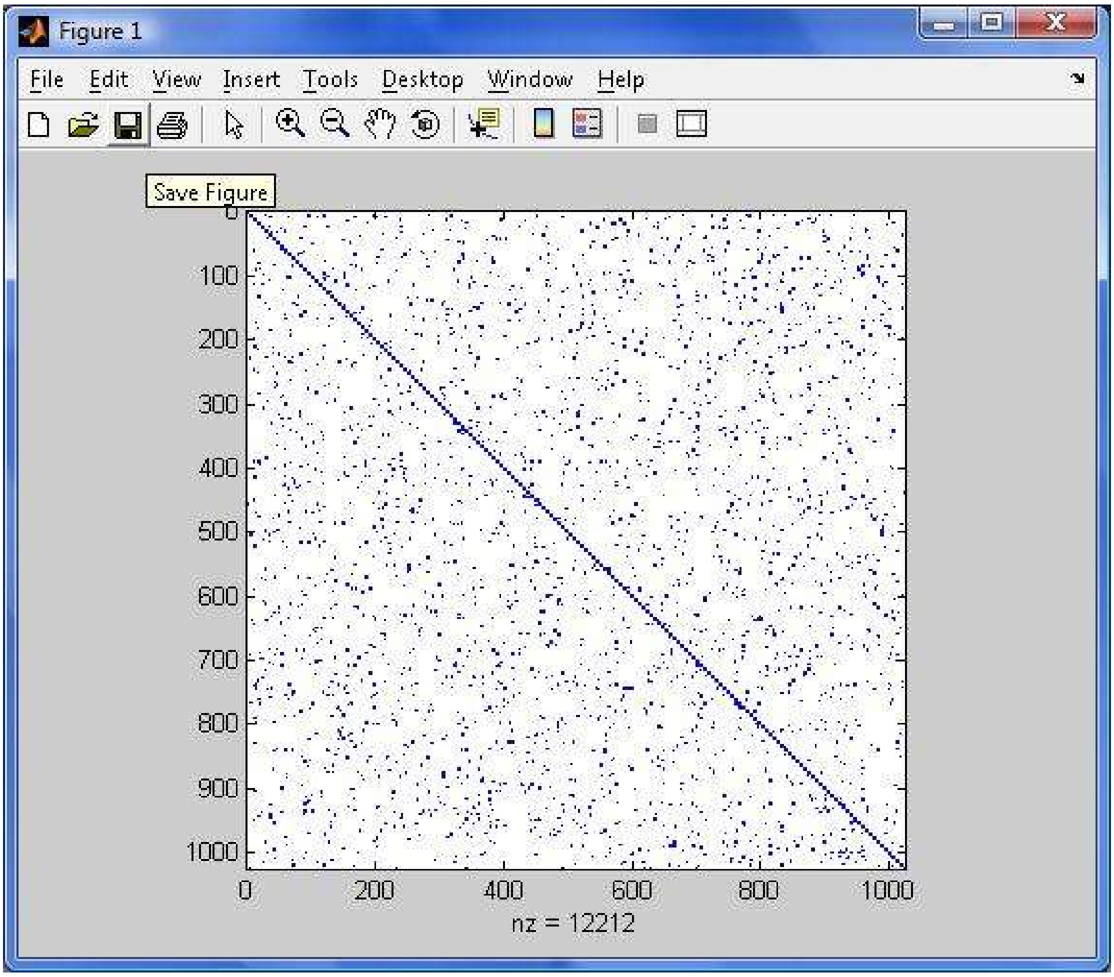
```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3 IPOEROTIMA 4-SPY GIA ARAIO MITROO 512
S=speye(512)+sprand(512,512,5/512);
spy(S);
```
askisi1erotima3ipoerotima4araio512.m



araio512.fig

ΑΡΑΙΟ ΜΗΤΡΩΟ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 1024x1024

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3 IPOEROTIMA 4-SPY GIA ARAIO MITROO 1024
S=speye(512)+sprand(512,512,5/512);
J=[1,-1;1,1];
S=kron(S,J);
spy(S);
```
askisi1erotima3ipoerotima4araio1024.m

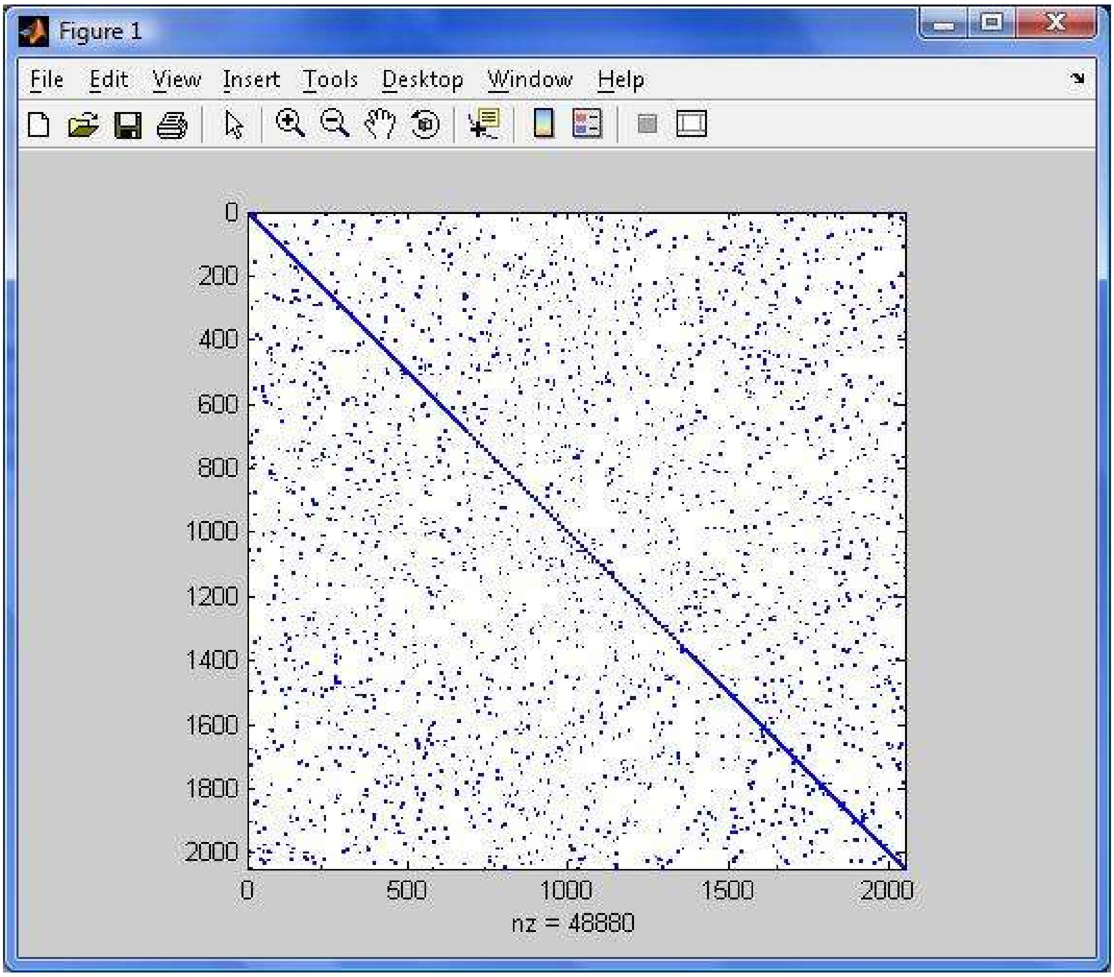


araio1024.fig

ΑΡΑΙΟ ΜΗΤΡΩΟ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 2048x2048

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3 IPOEROTIMA 4-SPY GIA ARAIO MITROO 2048
S=speye(512)+sprand(512,512,5/512);
J=[1,-1;1,1];
S=kron(S,J);
S=kron(S,J);
spy(S);
```

askisi1erotima3ipoerotima4araio2048.m

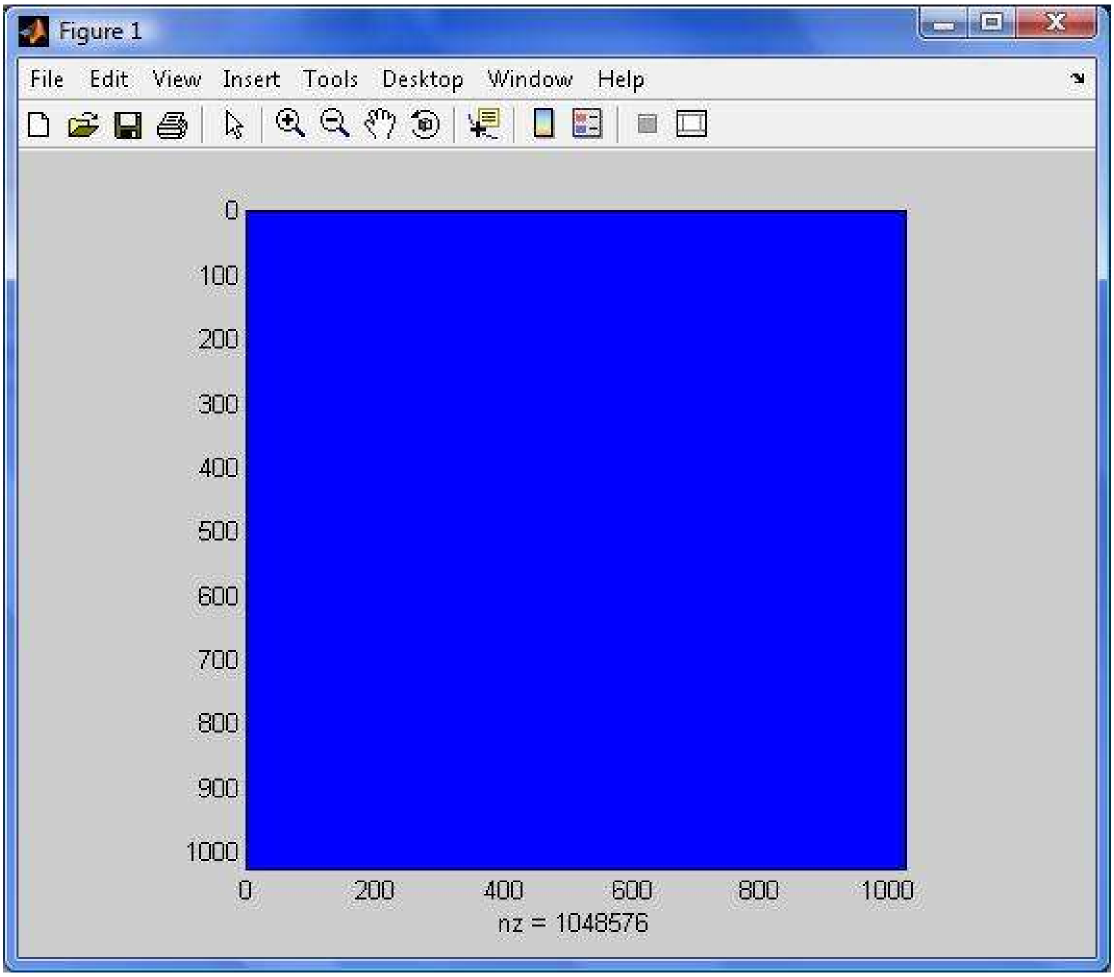


araio2048.fig

ΠΥΚΝΟ ΜΗΤΡΩΟ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 1024x1024

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 3 IPOEROTIMA 4-SPY GIA PIKNO MITROO 1024
S=rand(1024,1024);
spy(S);
```

askisi1erotima3ipoerotima4pikno1024.m



pikno1024.fig

Από τις παραπάνω εικόνες μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε τη μηδενικά δομή των αραιών μητροών σε αντίθεση με τα πυκνα που δεν έχουν.
Έπίσης λόγω της χρήσης του γινομένου Kronecker (κάτι το οποίο το διακρίνουμε και στις εικόνες μας) μπορούμε να καταλάβουμε ότι το μητρώο 2048x2048 είναι διπλά πιο πυκνό από το μητρωο 1024x1024 και με τη σειρα του διπλά πιο πυκνό από το 512x512.

IV) 1) Στόχος μας σε αυτή τη φάση είναι ο υπολογισμός του διανύσματος c που περιγράφεται στην εκφώνηση της άσκησης με τους τέσσερις τρόπους που ζητούνται.
Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε είναι ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 4 IPOEROTIMA 1
for i=8:1:10
   n=2^i;
   I=eye(n);
   e=ones(n,1);
   b=rand(n,1);
   m=0.8;
   %me sinartisi dinamis
   s=10;
   A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
   c=mpower(A,s)*b;
   tic;
   for k=1:1:50
      A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
      c=mpower(A,s)*b;
   end
   first=toc/50
   %pros deksia
   %ton C apo do kai kato sto ipoloipo programma tha ton xrisimopoioume
   %gia na apothikeuoume endiamesa apotelesmata
   %
   %opos kai edo etsi kai stis parakato prakseis ektelo mia fora prota tin
   %praksi kathos panta i proti ektelesei epistrefei paraplanitika
   %apotelesmata kai meta ksekino tin xronometrisi tis polles fores gia na
   %paro ton meso oro
   A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
   C=A;
   for j=2:1:10
      C=C*A;
   end
   c=C*b;
   tic;
   for k=1:1:25
      A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
      C=A;
      for j=2:1:10
         C=C*A;
      end
      c=C*b;
   end
   second=toc/25
   %pros aristera
   A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
   C=A*b;
   for j=2:1:10
      C=A*C;
   end
   c=C;
   tic;
   for k=1:1:100
      A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
      C=A*b;
      for j=2:1:10
         C=A*C;
```

askisi1erotima4ipoerotima1.m

Και τα αποτελέσματα που λάβαμε σχετικά με τον μέσο όρο των χρόνων των τεσσάρων μεθόδων υπολογισμού ηταν τα ακόλουθα:

n	Με συνάρτηση δύναμης	Προς δεξιά	Προς αριστερά	Προς αριστερά + χρήση επιμεριστικής ιδιότητας
256	0.1223	0.2194	0.0030	0.0137
512	0.9630	1.7145	0.0147	0.0446
1024	7.5454	13.4747	0.0760	0.1930

4_1.txt

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι η ταχύτερη μέθοδος με διαφορά είναι η προς αριστερά. Ακολουθεί η προς αριστερά + με χρήση επιμεριστικής ιδιότητας που είναι 2,5 φορές πιο αργει. Η μεθοδοι α)με συνάρτηση δύναμης και β) προς δεξιά είναι φανερά πολύ πολύ αργοί.

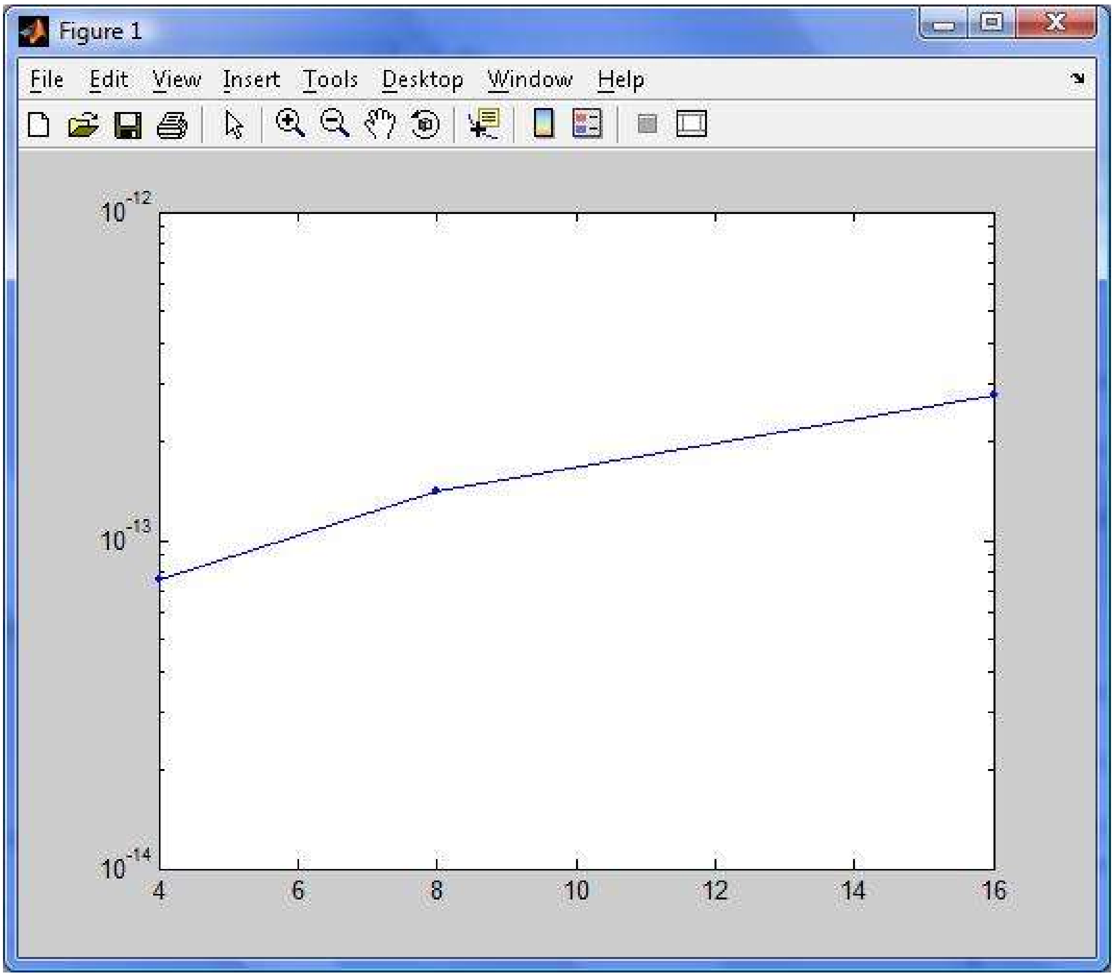
2) Στη συνέχεια παραγάγαμε το διανυσμα c του προηγούμενου ερωτήματος, με τη συναρτηση δύναμης και προς αριστερα + με χρήση επιμεριστικής ιδιότητας δίνοντας στο s διαδοχικά τις τιμές 4, 8 και 16 με n=256 και μετρήσαμε την ευκλείδεια απόσταση των δύο παραγώμενων c για κάθε s ξεχωριστά. Παρ’ ότι θεωρητικά η απόσταση θα έπρεπε να ήταν μηδενική αυτό δεν ισχύει στην πράξη καθώς με την εκτέλεση των διάφορων υπολογισμών στον υπολογιστή δημιουργούνται αποκλείσεις λόγω σφαλμάτων στην αριθμητική κινητής υποδιαστολής.

Για την μέτρηση αυτών των ευκλείδειων αποστάσεων τρέξαμε τον ακόλουθο κώδικα:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 4 IPOEROTIMA 2
eukleideia_apostasi=zeros(3,1);
s=zeros(3,1);
n=256;
e=ones(n,1);
b=rand(n,1);
for i=2:1:4
   s(i-1)=2^i;
   %me sinartisi dinamis
   A=m*I+((1-m)/n)*e*e';
   c1=mpower(A,s(i-1))*b;
   %pros aristera kai xrisi epimeristikis idiotitas
   C=m*b+((1-m)/n)*e*e'*b;
   for j=2:1:s(i-1)
      C=m*C+((1-m)/n)*e*e'*C;
   end
   c2=C;
   eukleideia_apostasi(i-1)=norm(c1-c2,2)
end
%grafiki parastasi pou apikonizei tin eukleideia apostasi gia ka8e s
semilogy(s,eukleideia_apostasi, 'b.-');
```

askisi1erotima4ipoerotima2.m

Η γραφική παράσταση που λάβαμε σαν αποτέλεσμα ήταν η ακόλουθη:



askisi1erotima4ipoerotima2.jpg

Άπο τη γραφικά παράσταση φαίνεται ότι η ευκλέιδεια απόσταση αυξάνει όσο αυξάνεται το s. Το πιθανότερο είναι ότι αυτό συμβαίνει λόγω του ότι έχουμε περισσότερους υπολογισμούς όσο αυξάνεται το s άρα και περισσότερα σφάλματα στην αναπαράσταση των αριθμών τα οποία διαιονίζωνται.

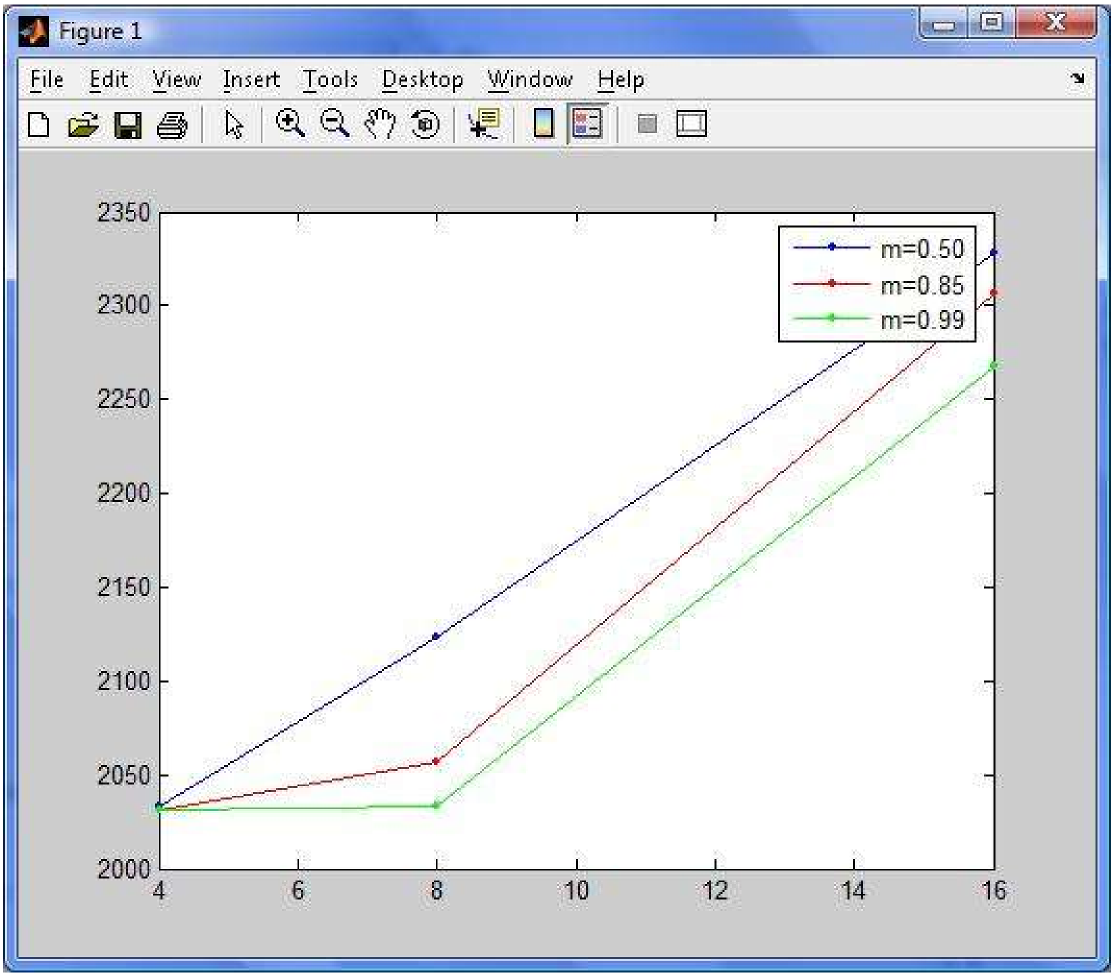
3) Στο σημείο αυτό θέλουμε να δούμε πως μεταβάλλεται η εθκλείδια απόσταση και η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων που παράγονται από την πρώτη και από την τέταρτη μέθοδο όσο αυξάνεται το s για τρία διαφορετικά μ.

ΕΥΚΛΕΙΔΕΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε ήταν ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 4 IPOEROTIMA 3 EYKLEIDIA APOSTASH
eukleideia_apostasi=zeros(3,3);
s=zeros(3,1);
n=256;
I=eye(n);
e=ones(n,1);
b1=rand(n,1);
b2=[0:255]';
m=[0.50; 0.85; 0.99];
%looparei gia na parei 3 diaforetika μ
for j=1:1:3
   %looparei gia na parei ta 3 diaforetika s
   for i=2:1:4
      s(i-1)=2^i;
      %me sinartisi dinamis
      A=m(j)*I+((1-m(j))/n)*e*e';
      c1=mpower(A,s(i-1))*b1;
      %pros aristera kai xrisi epimeristikis idiotitas
      C=b2;
      for k=1:1:s(i-1)
         C=m(j)*C+((1-m(j))/n)*e*e'*C;
      end
      c2=C;
      eukleideia_apostasi(j,i-1)=norm(c1-c2,2);
   end
end
%grafiki parastasi pou apikonizei tin eukleideia apostasi gia ka8e s
plot(s,eukleideia_apostasi(:,1), 'b.-');
hold on;
plot(s,eukleideia_apostasi(:,2), 'r.-');
plot(s,eukleideia_apostasi(:,3), 'g.-');
legend('m=0.50', 'm=0.85', 'm=0.99')
hold;
```
askisi1erotima4ipoerotima3eukleideiaApostasi.m

Η γραφική παράσταση που λάβαμε σαν αποτέλεσμα ήταν η ακόλουθη:



askisi1erotima4ipoerotima3eukleideiaApostasi.fig

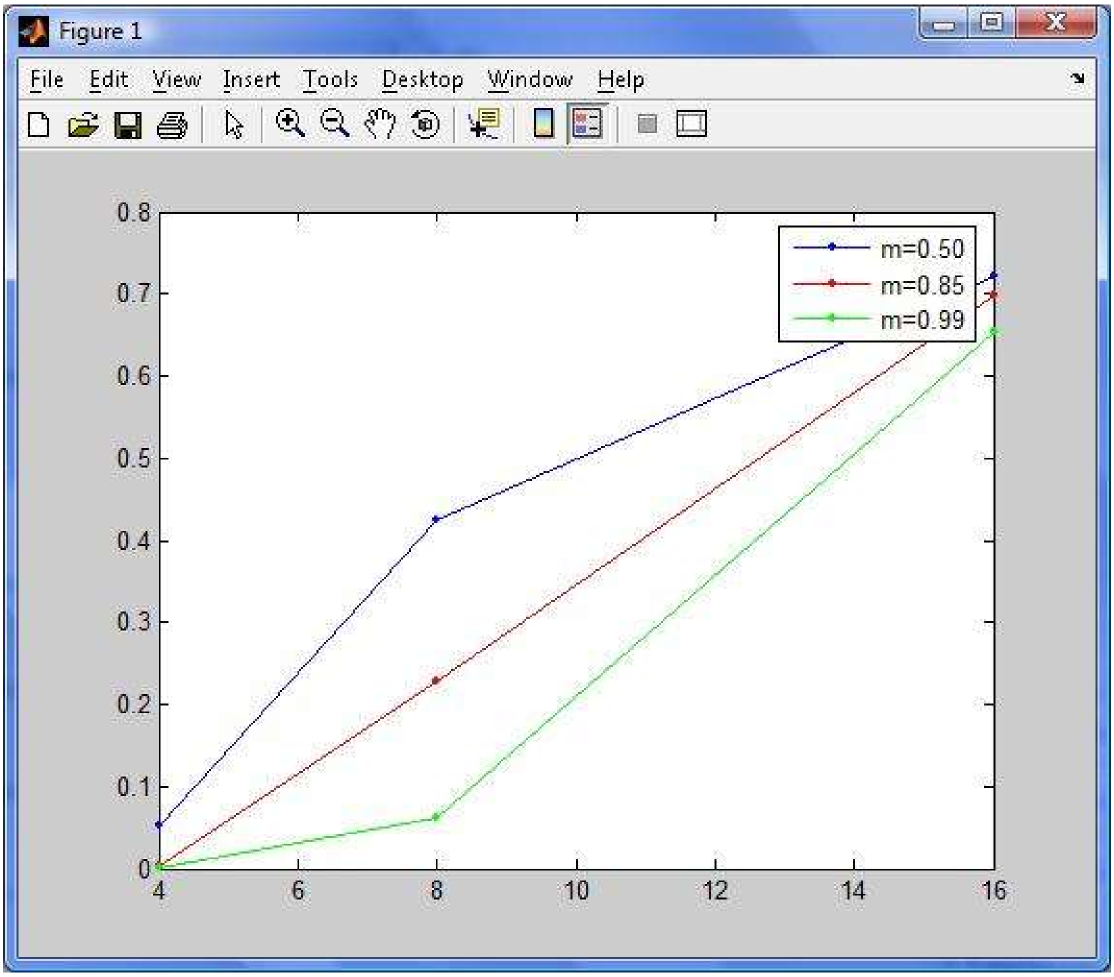
Παρατηρούμε ότι όσο μικρότερο είναι το s τόσο μικρότερη και η ευκλείδεια απόσταση όπως επίσης και όσο μικρότερο το μ τοσο μεγαλύτερη. Για μικρά s η ευκλείδια απόσταση είναι σχεδόν ίδια για όλα τα μ.

ΓΩΝΙΑ

Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε ήταν ο ακόλουθος:

```
%ASKISI 1 ERWTIMA 4 IPOEROTIMA 3 GONIA METAKSI TON c POY
PROKYPTOYN ME TIN
%XRISI TIS 1is KAI TIS 4is ME8ODOY
gonia=zeros(3,3);
s=zeros(3,1);
n=256;
I=eye(n);
e=ones(n,1);
b1=rand(n,1);
b2=[0:255]';
m=[0.50; 0.85; 0.99];
%looparei gia na parei 3 diaforetika μ
for j=1:1:3
   %looparei gia na parei ta 3 diaforetika s
   for i=2:1:4
      s(i-1)=2^i;
      %me sinartisi dinamis
      A=m(j)*I+((1-m(j))/n)*e*e';
      c1=mpower(A,s(i-1))*b1;
      %pros aristera kai xrisi epimeristikis idiotitas
      C=b2;
      for k=1:1:s(i-1)
         C=m(j)*C+((1-m(j))/n)*e*e'*C;
      end
      c2=C;
      %ipologismos metrou c1 dianusmatos
      metro_c1=0;
      for k=1:1:256
         metro_c1=c1(k)^2+metro_c1;
      end
      metro_c1=sqrt(metro_c1);
      %ipologismos metrou c2 dianusmatos
      metro_c2=0;
      for k=1:1:256
         metro_c2=c2(k)^2+metro_c2;
      end
      metro_c2=sqrt(metro_c2);
      gonia(j,i-1)=acos(c1'*c2/(metro_c1*metro_c2));
   end
end
%grafiki parastasi pou apikonizei tin eukleideia apostasi gia ka8e s
plot(s,gonia(:,1), 'b.-');
hold on;
plot(s,gonia(:,2), 'r.-');
plot(s,gonia(:,3), 'g.-');
legend('m=0.50', 'm=0.85', 'm=0.99')
hold;
```
askisi1erotima4ipoerotima3gonia.m

Η γραφική παράσταση που λάβαμε σαν αποτέλεσμα ήταν η ακόλουθη:



askisi1erotima4ipoerotima3gonia.fig

Παρατηρούμε ότι όσο μικρότερο είναι το s τόσο μικρότερη και η γωνία όπως επίσης και όσο μικρότερο το μ τοσο μεγαλύτερη. Για μικρά s η γωνία είναι σχεδόν ίδια για όλα τα μ, όπως επίσης αυτό μπορουμε να υποθέσουμε από την γραφική παράσταση ότι συμβαίνει και για μεγαλύτερα του 16.