

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



**ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ για το μάθημα**  
**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ**  
**ΓΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ - 1115201600028**

**ΜΑΡΙΑ ΚΑΡΑΜΗΝΑ – 1115201600059**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΥΡΣΙΟΥΝΗΣ - 1115201600077**

## 1. Γενική περιγραφή λειτουργίας

### A. Υλοποίηση πολυνηματισμού

Ο πολυνηματισμός έγινε με χρήση πολλών νημάτων (τα οποία αποφασίζει ο χρήστης) και ενός job scheduler όπως ζητήθηκε από την εκφώνηση. Ο scheduler κρατά μία ουρά από jobs (λίστα πινάκων με δείκτες σε jobs παρόμοια της λίστας αποτελεσμάτων του πρώτου μέρους O(1) append/pop) από την οποία τα threads μπορούν να παίρνουν το επόμενο job προς εκτέλεση και να το εκτελούν. Ένα job αποτελείται από τις παραμέτρους που χρειάζεται για να εκτελεστεί (void\*) και δύο συναρτήσεις:

1) run: Η ρουτίνα κώδικα που θα εκτελέσει το νήμα (λεπτομέρειες παρακάτω).

2) destroy: χρησιμοποιείται για αποδέσμευση πόρων.

Στην υλοποίηση μας υπάρχει πλήρης παραλληλία (με εξαίρεση την φόρτωση των σχέσεων/ερωτημάτων και τα κατηγορήματα τύπου hidden self-join π.χ. 0.1=1.0&0.1=2.1&0.2=2.2 όπου η παραλληλοποίηση είναι δύσκολη και έχει μεγάλο κόστος).

Τα jobs είναι φτιαγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε νήμα να δουλεύει ανεξάρτητα των άλλων και να μην περιμένει κάποιο άλλο να τελειώσει την δουλεία του ώστε να συνεχίσει, οι καθυστερήσεις να είναι ελάχιστες και μόνο δύο ειδών:

α) Ένα νήμα αν έχει τελειώσει μία δουλειά και η ουρά των jobs είναι κενή τότε περιμένει.

β) Ένα νήμα μπορεί να περιμένει για να αποκτήσει πρόσβαση σε μία κοινόχρηστη δομή που προστατεύεται με έναν mutex (οι mutexes χρησιμοποιούνται όσο λιγότερο γίνεται και οι δομές είναι αποδοτικές).

### B. Εκτέλεση ερωτημάτων με την χρήση των jobs

Αρχικά μόλις ένα ερώτημα διαβαστεί από το stdin δημιουργείται ένα query\_job το οποίο προστίθεται στην ουρά του scheduler. Όταν ένα νήμα την λάβει προς εκτέλεση κάνει τα εξής:

1) Αναλύει το ερώτημα

2) Ελέγχει ότι είναι έγκυρη ερώτηση και μπορεί να εκτελεστεί

3) Διατάσσει τα κατηγορήματα με την βέλτιστη σειρά

4) Δημιουργεί έναν πίνακα στον οποίο αποθηκεύεται αν χρειάζεται μία σχέση ταξινόμηση και μειώνει τις ταξινομήσεις αλλάζοντας θέσεις στα R/S

5) Αλλάζει την σειρά εκτέλεσης των κατηγορημάτων ώστε να μειωθεί η κατανάλωση μνήμης χωρίς να αυξηθεί ο χρόνος εκτέλεσης

6) Ξεκινά η εκτέλεση του ερωτήματος

Η εκτέλεση των κατηγορημάτων γίνεται με σειρά και διακρίνεται στις εξής περιπτώσεις:

i) Φίλτρο: χωρίζονται τα δεδομένα σε κομμάτια και δίνονται σε filter jobs οι οποίες τα φιλτράρουν, το thread σταματά το job που εκτελεί και συνεχίζει σε επόμενο. Τα δεδομένα μπορεί να είναι από σχέση ή από την ενδιάμεση δομή, και χωρισμός γίνεται ανάλογα με τον αριθμό στοιχείων/ κάδων λίστας. Μόλις ολοκληρωθεί το φιλτράρισμα το τελευταίο filter job ενώνει τα αποτελέσματα που δημιουργήθηκαν από τα άλλα jobs και ξαναβάζει το job του ερωτήματος στην ουρά ώστε να συνεχίσει από το σημείο που σταμάτησε.

ii) Join: Φτιάχνει δύο presort\_jobs τα οποία δημιουργούν τα relations R/S και τα αντίγραφα τους (Project part 1) και το καθένα κάνει την ταξινόμηση δημιουργώντας ένα sort\_job με παραμέτρους το 1ο byte και όρια ολόκληρη την σχέση, έπειτα τερματίζει. Κάθε sort job

δημιουργεί ένα ιστόγραμμα το οποίο χρησιμοποιεί για να φτιάξει και άλλα `sort_jobs` για κάθε κάδο (ο χωρισμός γίνεται όπως είχε περιγραφεί η ταξινόμηση στο part 1). Μόλις ταξινομηθούν και οι δύο σχέσεις R/S το τελευταίο `sort_job` βάζει στην ουρά ένα `prejoin_job`. Το `prejoin_job` όταν εκτελεστεί χωρίζει τις σχέσεις σε κομμάτια τα οποία αναθέτει σε `join_jobs` τα οποία κάνουν το `join`, έπειτα τερματίζει.

Μόλις ολοκληρωθεί το `join` το τελευταίο `join_job` ενώνει τα αποτελέσματα που δημιουργήθηκαν από τα άλλα `jobs` και ξαναβάζει το `job` του ερωτήματος στην ουρά ώστε να συνεχίσει από το σημείο που σταμάτησε.

Μόλις τα κατηγορήματα εκτελεστούν πρέπει να γίνουν οι προβολές, οπότε δημιουργούνται όσα `projection jobs` χρειάζονται και τα οποία υπολογίζουν τα αθροίσματα και μετά τα τοποθετούν στην `projection list` για να εμφανιστούν στον χρήστη με την σωστή σειρά. Το τελευταίο `projection job` απελευθερώνει τους πόρους του ερωτήματος.

## 2. Παραδοχές

1. Το Best Tree λειτουργεί με μέγιστο αριθμό πινάκων το 4 όπως έχει αναφερθεί.
2. Αν δύο πίνακες γίνονται `join` σε παραπάνω από ένα κατηγορήματα τότε το Best Tree λαμβάνει μόνο τη διακριτή τους σχέση και τα κατηγορήματα με ίδιους πίνακες τοποθετούνται σειριακά σύμφωνα με το αποτέλεσμα του Join Enumeration.

## 3. Σχεδιαστικές επιλογές

1. Για την αποφυγή περιττών ταξινομήσεων κατά το στάδιο της εκτέλεσης `query` έχουμε κατασκευάσει ένα `Bool array` με τιμές 1 = το `relation` πρέπει να ταξινομηθεί και 0 = το `relation` δεν χρειάζεται να ταξινομηθεί.
2. Τα ενδιαμέσα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε μια δομή `middleman` με τη μορφή πίνακα όπου κάθε θέση του πίνακα δείχνει σε μια λίστα από `rowlds`. Η λίστα `middle_list` είναι μία απλά συνδεδεμένη λίστα με κεφαλή και δείκτη στον τελευταίο κάδο (ουρά). Κάθε κάδος της λίστας εκτός από τον `buffer` με μέγεθος 1MB και τον δείκτη στο επόμενο κάδο έχει και έναν δείκτη στην επόμενη κενή θέση του `buffer` ώστε σε συνδυασμό με τον δείκτη της ουράς η εισαγωγή να γίνεται σε  $O(1)$ .
3. Ο χωρισμός σε `join_jobs` διαφέρει ελάχιστα από την εκφώνηση δεδομένου ότι ο χωρισμός των `join_jobs` ώστε να έχουν περίπου ίδιο αριθμό στοιχείων θεωρούμε ότι είναι πιο αποδοτικός από πλευράς χρόνου και κατανάλωσης μνήμης.

## 4. Μεταγλώττιση και εκκίνηση προγράμματος

### A. Μεταγλώττιση

- Για τα `queries` και τα `tests` τους: ***make*** ή ***make all***
- Για τα `queries` μόνο: ***make notests***
- Για τα `tests`: ***make tests***
- Για διαγραφή των εκτελέσιμων και των αντικειμενικών (.o) αρχείων: ***make clean***

Χρησιμοποιείται by default -O3 optimization.

Ο χρήστης την ώρα της μεταγλώττισης μπορεί να επιλέγει ποιες εργασίες θα γίνονται παράλληλα (λεπτομέρειες για τον τρόπο στην μεταγλώττιση του προγράμματος).

Flag	Make command	Λειτουργία
-DSORTED_PROJECTIONS	sorted_projections=true	Εκτύπωση των αποτελεσμάτων με τη σωστή σειρά
-DSERIAL_EXECUTION	s_execution=true	Κάθε thread εκτελεί ένα ερώτημα
-DSERIAL_JOIN	s_join=true	Η ζεύξη των relation r s γίνεται από ένα thread
-DSERIAL_SORTING	s_sorting=true	Η ταξινόμηση μίας σχέσης γίνεται από ένα thread
-DSERIAL_PRESORTING	s_presorting=true	Η δημιουργία των relation R/S γίνεται από ένα thread (υποχρεωτικά συνδυάζεται με s_sort s_join)
-DSERIAL_FILTER	s_filter=true	Τα φίλτρα της μορφής 0.1 <>= uint64_t να εκτελούνται από ένα thread
-DSERIAL_SELFJOIN	s_selfjoin=true	Τα φίλτρα της μορφής 0.1=0.2 εκτελούνται από ένα thread
-DSERIAL_PROJECTIONS	s_projections=true	Οι προβολές εκτελούνταν από ένα thread
-DONE_QUERY_AT_A_TIME	one_query=true	Όλα τα threads εκτελούν το ίδιο ερώτημα
-DMAX_QUERIES_LIMIT	max_queries=true	Το πρόγραμμα παίρνει ένα παραπάνω όρισμα που είναι το πόσα queries το πολύ θα εκτελούνται ταυτόχρονα
-DONE_BATCH_AT_A_TIME	one_batch=true	Εκτελεί ένα batch ερωτημάτων την φορά

## B. Εκτέλεση

### Μέσω script:

Εκτελέστε μέσα από τον φάκελο small (ή medium) δίνοντας για ορίσματα το path προς το εκτελέσιμο queries και τη λέξη "small" (ή "medium" αντίστοιχα). Το τελικό αποτέλεσμα είναι το output της συνάρτησης diff.

```
./script.sh ../queries αριθμός_threads small/medium
```

### Μέσω command:

```
./queries
```

## 5. Μετρήσεις

Οι μετρήσεις εκτελέστηκαν αφενός στα μηχανήματα της σχολής (linux25) και αφετέρου σε έναν προσωπικό υπολογιστή μέλους της ομάδας.

Οι μετρήσεις αφορούν αποκλειστικά το dataset MEDIUM.

### A. Αποτελέσματα μετρήσεων στον linux25

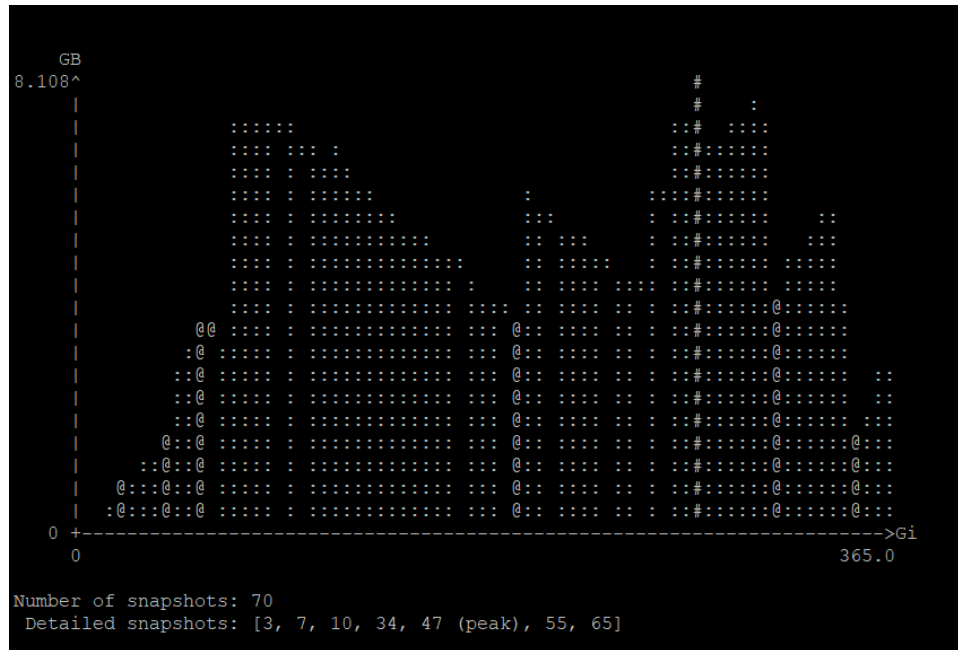
#### i. Χαρακτηριστικά μηχανήματος

```
>lscpu
Architecture:          x86_64
CPU op-mode(s):        32-bit, 64-bit
Byte Order:             Little Endian
Address sizes:          39 bits physical, 48 bits virtual
CPU(s):                 4
On-line CPU(s) list:    0-3
Thread(s) per core:     2
Core(s) per socket:     2
Socket(s):              1
NUMA node(s):          1
Vendor ID:              GenuineIntel
CPU family:             6
Model:                  78
Model name:             Intel(R) Core(TM) i7-6500U CPU @ 2.50GHz
Stepping:               3
CPU MHz:                2800.060
CPU max MHz:            3100.0000
CPU min MHz:            400.0000
BogoMIPS:               5199.98
Virtualization:         VT-x
L1d cache:              64 KiB
L1i cache:              64 KiB
L2 cache:               512 KiB
L3 cache:               4 MiB
```

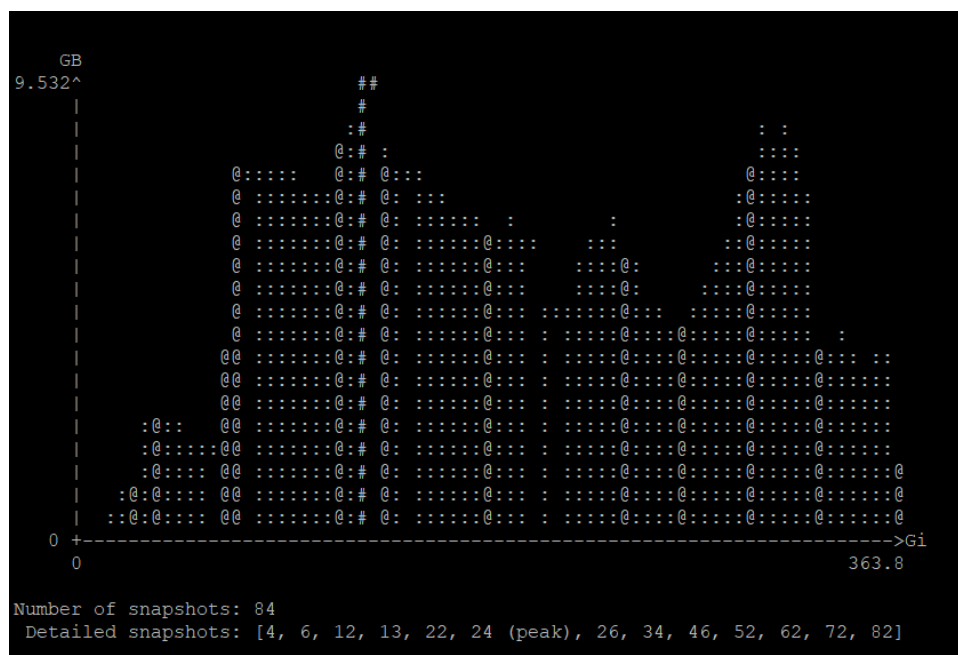
#### ii. **ΒΑΣΙΚΗ Εκτέλεση με πλήρη παραλληλία & ταξινομημένες προβολές (sorted\_projections=true)**

```
> make sorted_projections=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads
```

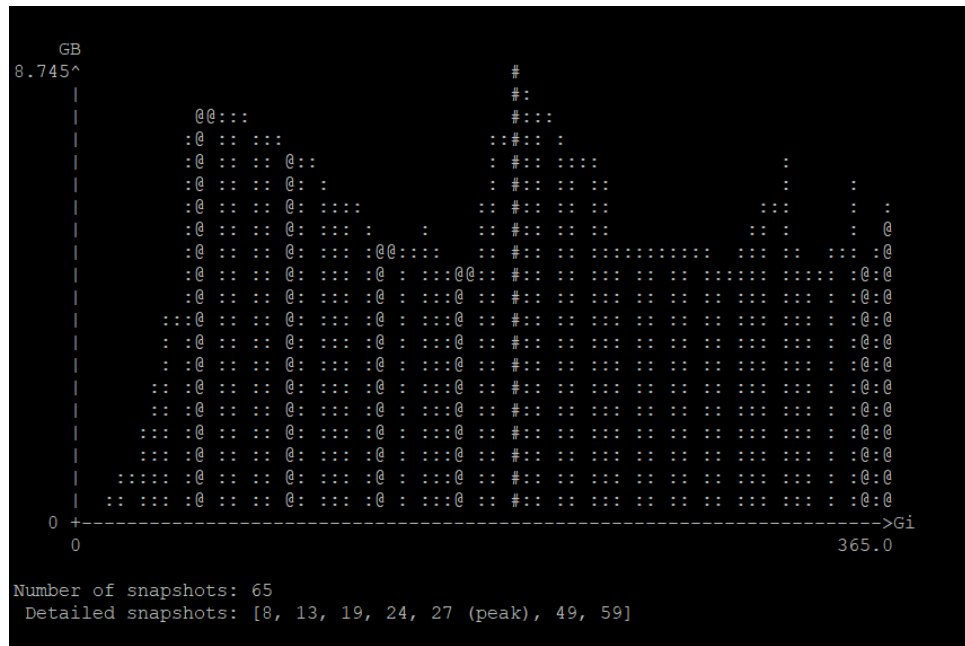
Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	5.608659	61.650076
2	5.614574	34.318706
4	<b>5.611118</b>	<b>21.290931</b>
8	5.628218	22.141975



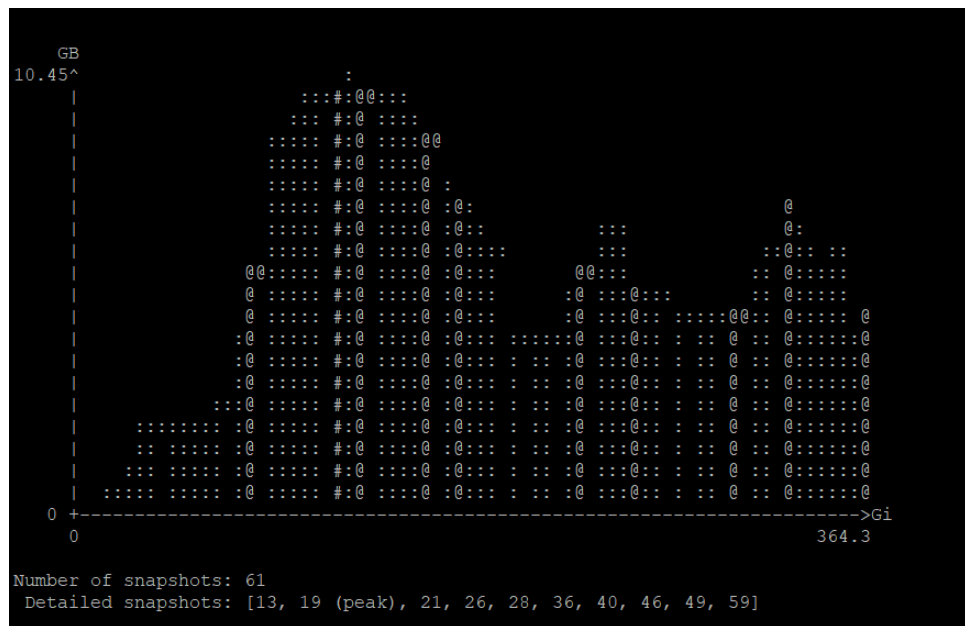
Εικόνα 1. Διάγραμμα μνήμης για 1 thread



Εικόνα 2. Διάγραμμα μνήμης για 2 threads



Εικόνα 3. Διάγραμμα μνήμης για 4 threads

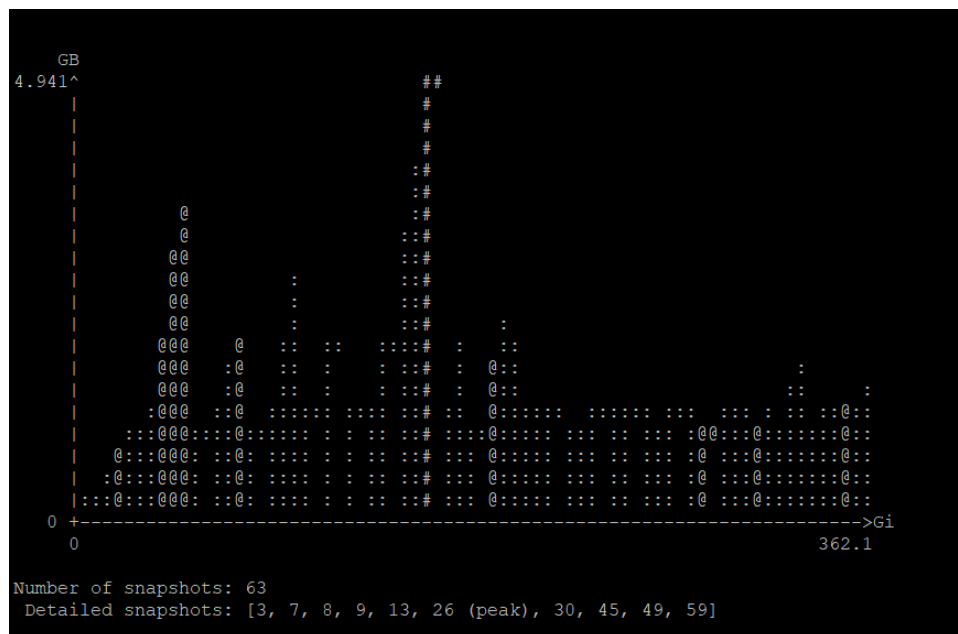


Εικόνα 4. Διάγραμμα μνήμης για 8 threads

iii. Όλα τα threads εκτελούν το ίδιο ερώτημα (one\_query=true) & ταξινομημένες προβολές(sorted\_projections=true)

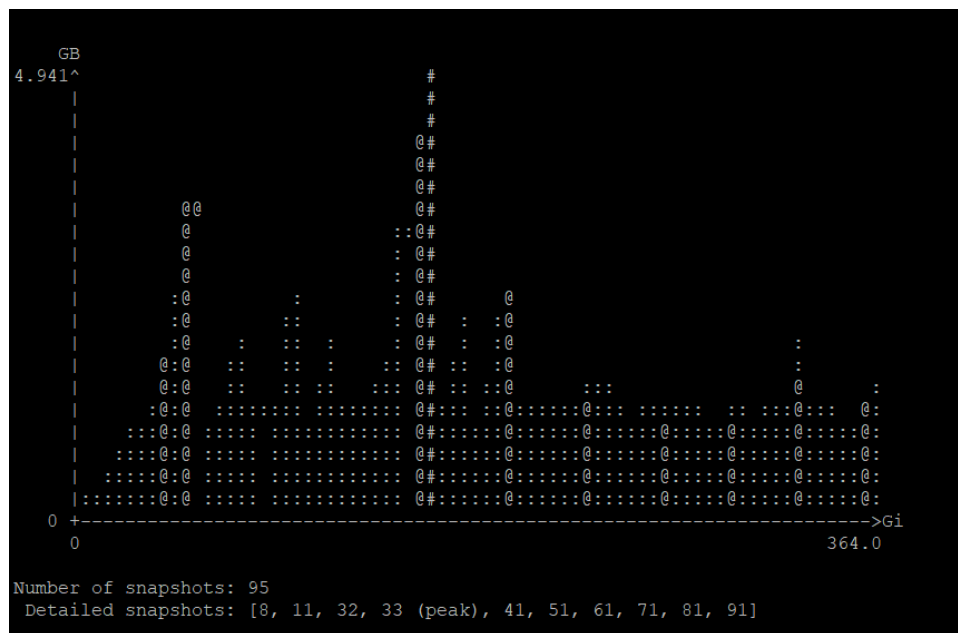
```
> make sorted_projections=true one_query=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads
```

Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	5.599503	64.325225
2	5.595457	50.462987
<b>4</b>	<b>5.595775</b>	<b>44.894061</b>
8	5.596730	44.943897

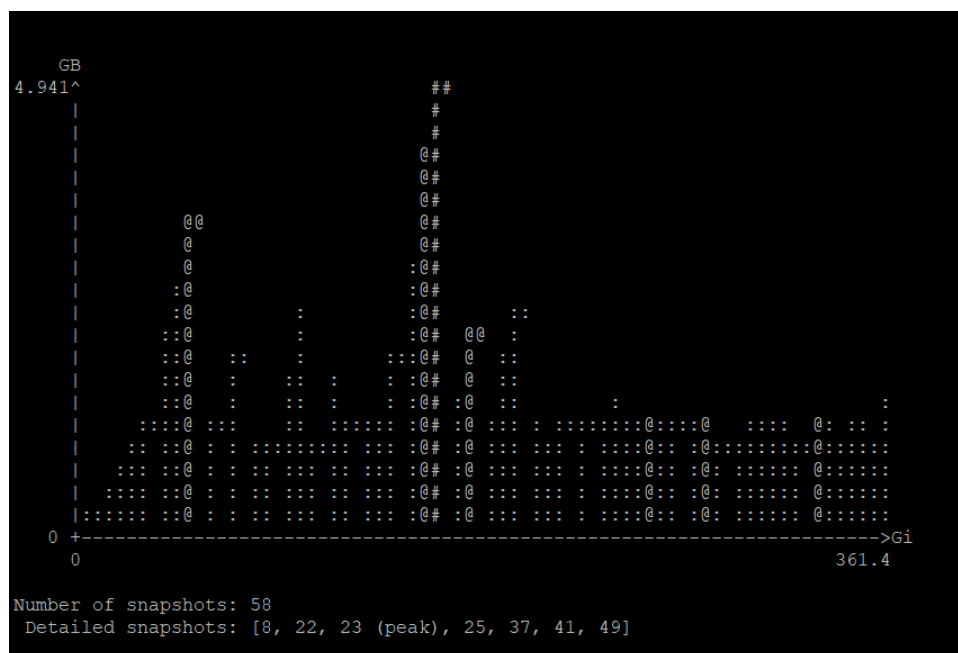


Εικόνα 5. Διάγραμμα μνήμης για 1 thread

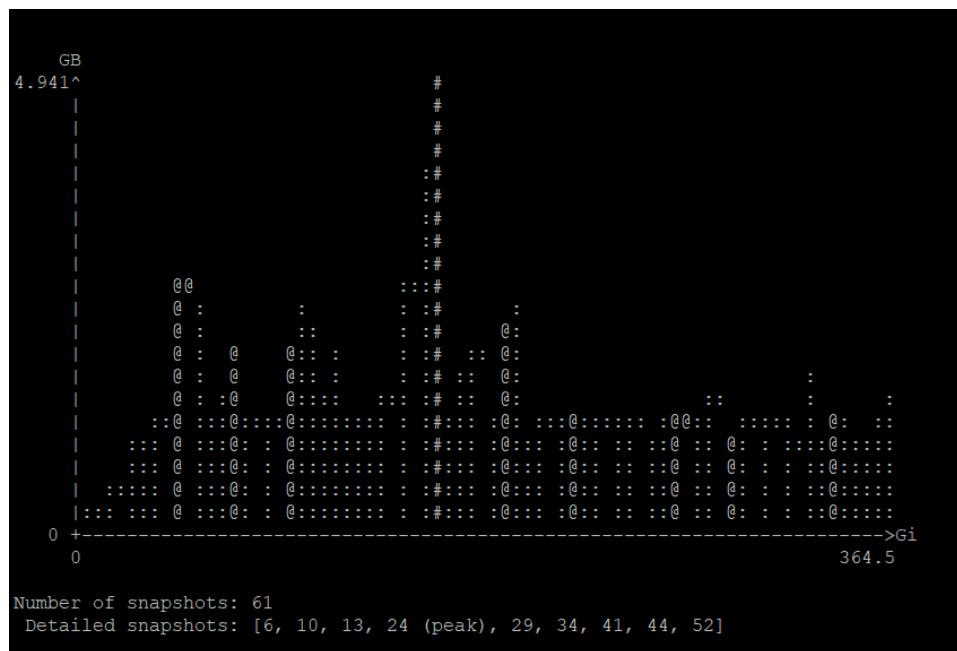




Εικόνα 6. Διάγραμμα μνήμης για 2 threads

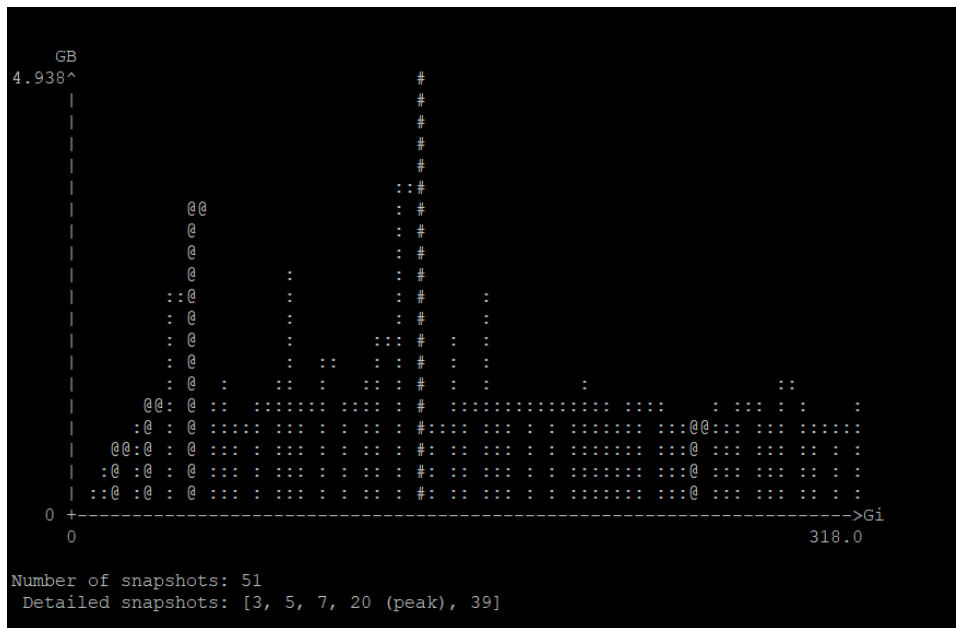


Εικόνα 7. Διάγραμμα μνήμης για 4 threads

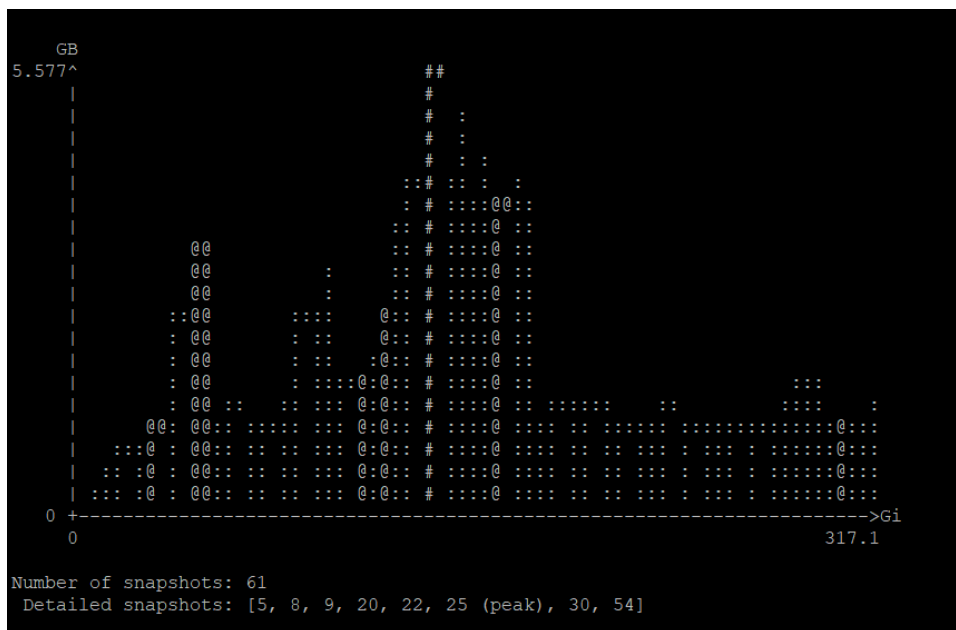


iv. Κάθε thread εκτελεί ένα ερώτημα (`s_execution=true`) & ταξινομημένες προβολές(`sorted_projections=true`)

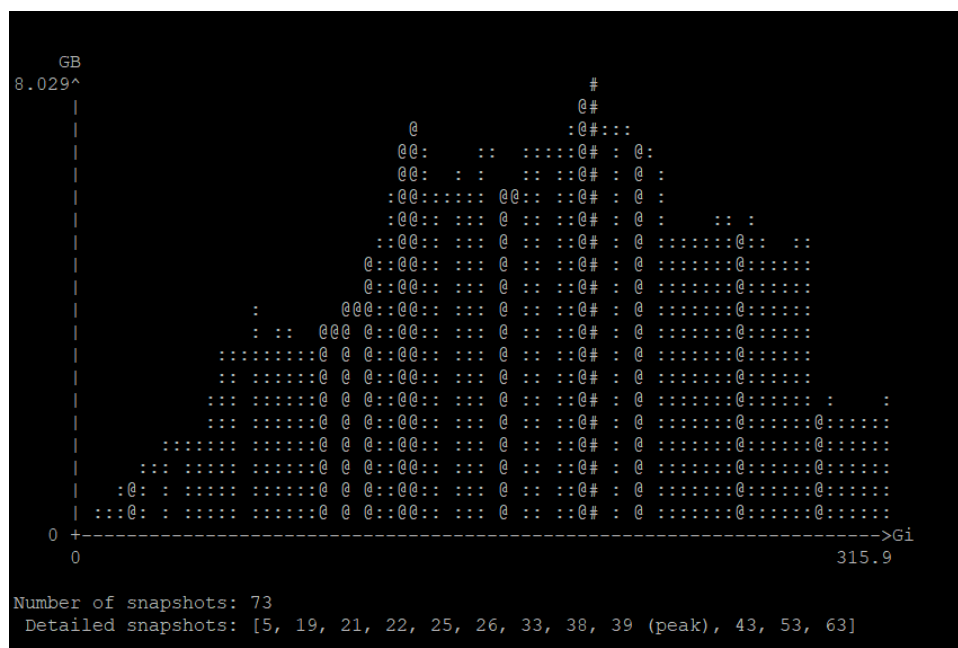
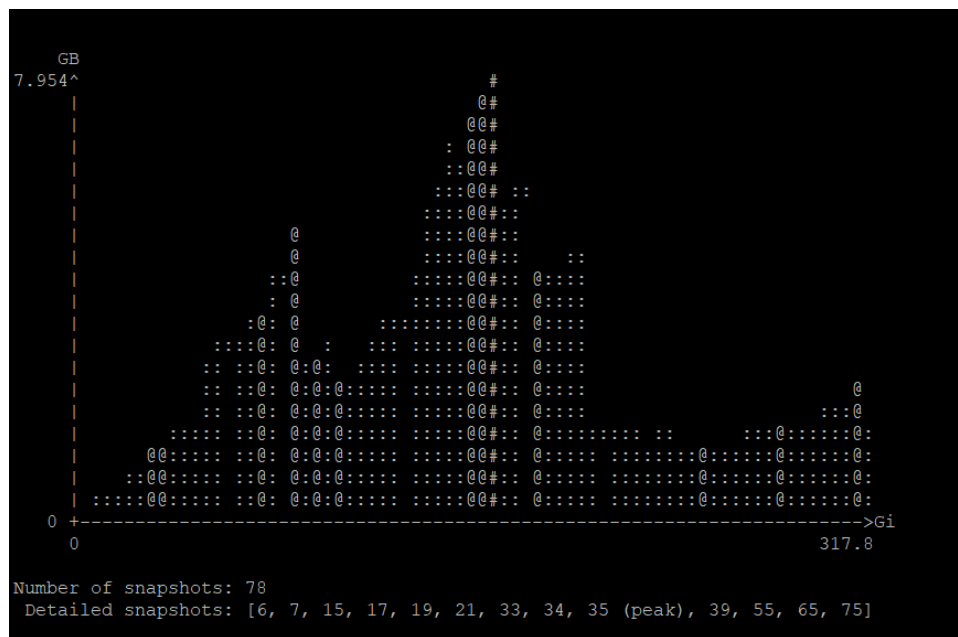
Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	5.398737	55.457012
2	5.396011	29.555194
<b>4</b>	<b>5.400537</b>	<b>17.406146</b>
8	5.394617	17.626498



**Εικόνα 9. Διάγραμμα μνήμης για 1 thread**



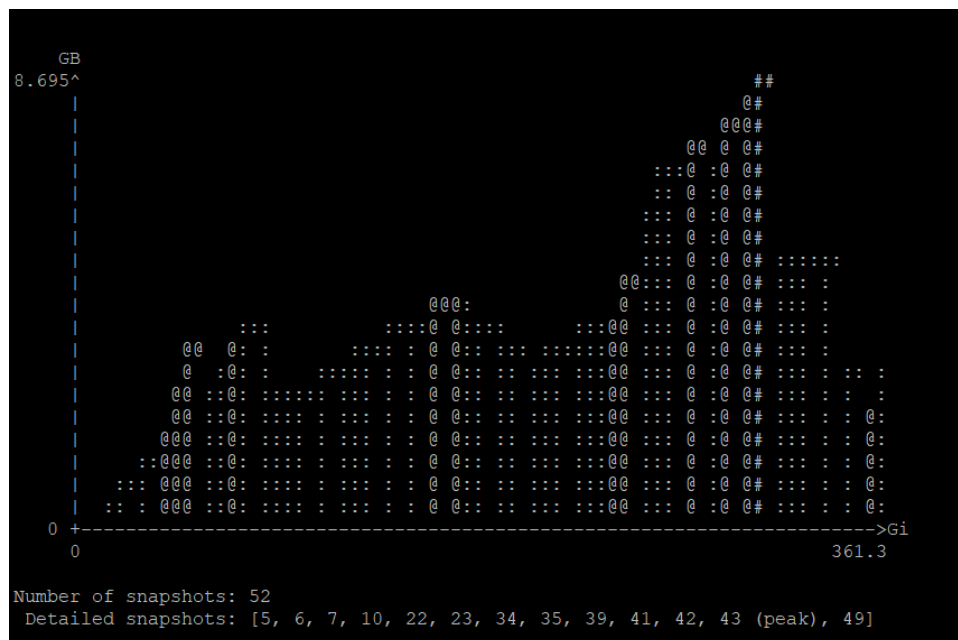
**Εικόνα 10. Διάγραμμα μνήμης για 2 threads**



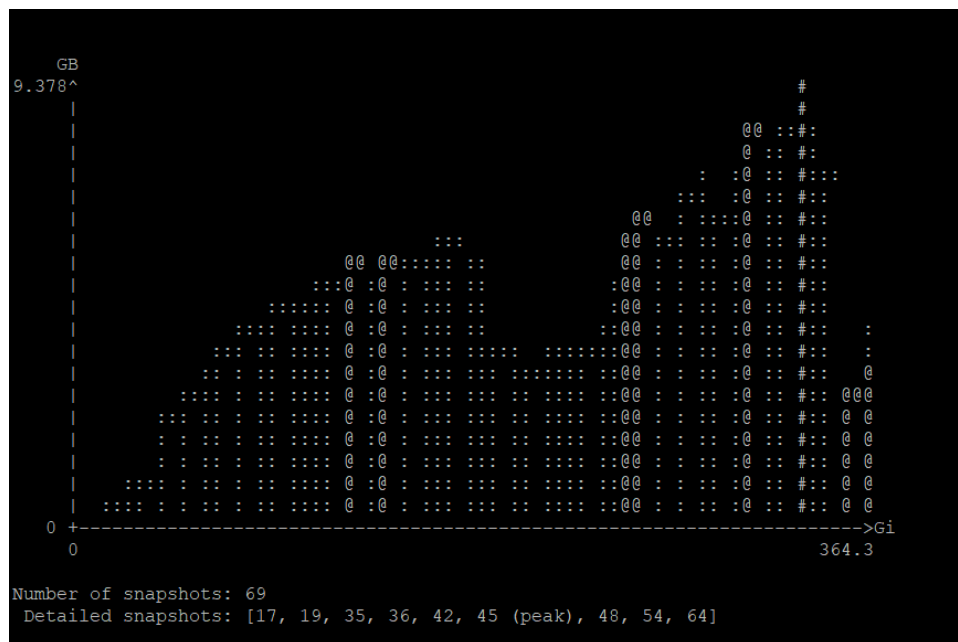
ν. Η ταξινόμηση μιας σχέσης γίνεται από ένα thread (s\_sorting=true) & ταξινομημένες προβολές(sorted\_projections=true)

```
> make sorted_projections=true s_sorting=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads
```

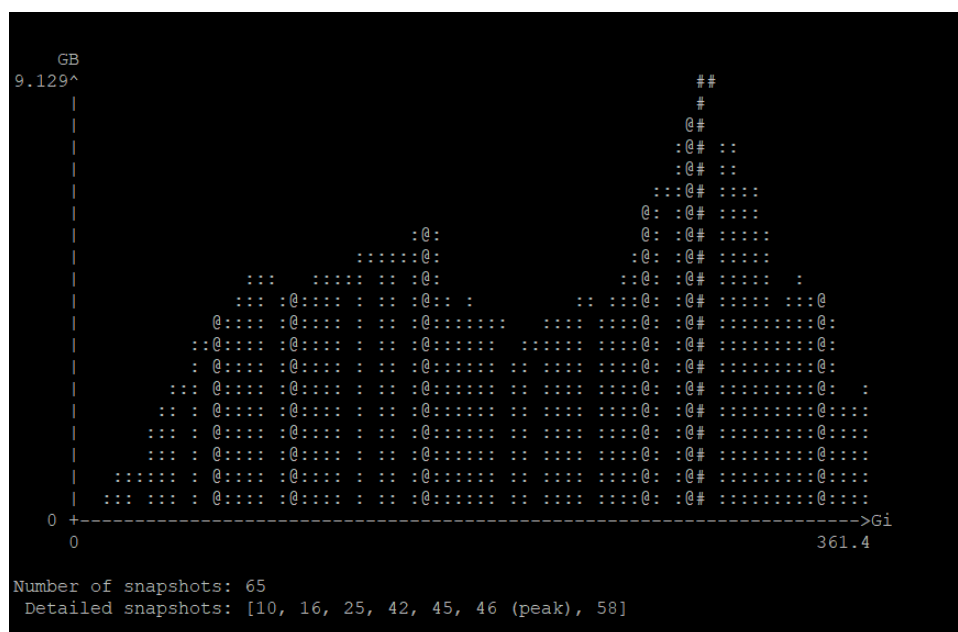
Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	5.614153	60.790483
2	5.615919	33.340965
<b>4</b>	<b>5.613277</b>	<b>19.575593</b>
8	5.616220	20.980385



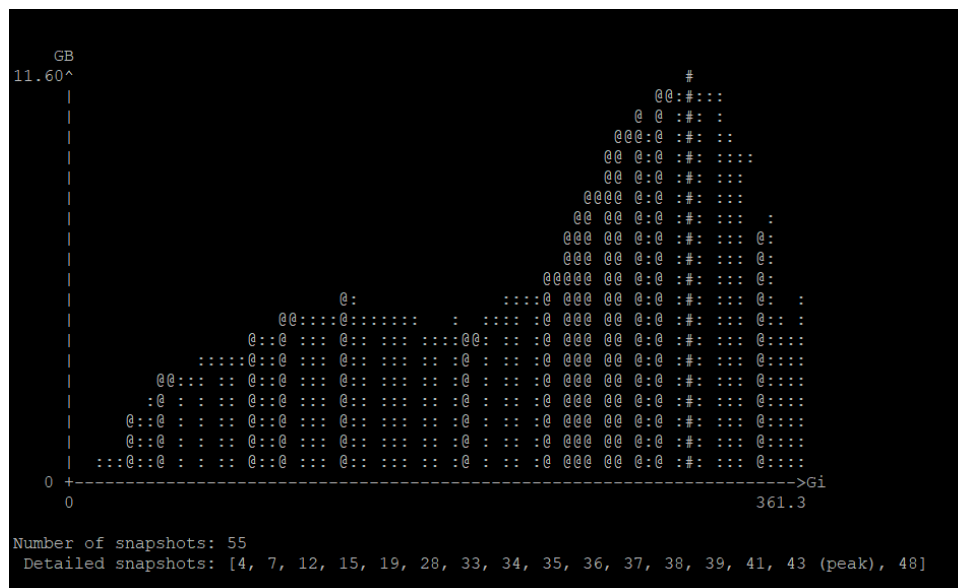
**Εικόνα 13. Διάγραμμα μνήμης για 1 thread**



Εικόνα 14. Διάγραμμα μνήμης για 2 threads



Εικόνα 15. Διάγραμμα μνήμης για 4 threads



**Εικόνα 16. Διάγραμμα μνήμης για 8 threads**

## B. Αποτελέσματα μετρήσεων σε προσωπικό υπολογιστή B450 AORUS M

**i. Χαρακτηριστικά μηχανήματος**

```
*-memory
  description: System Memory
  physical id: 9
  slot: System board or motherboard
  size: 32GiB

*-bank:0
  description: DIMM DDR4 Synchronous Unbuffered (Unregistered) 3200 MHz (0,3 ns)
  product: KHX3200C16D4/8GX
  vendor: Kingston
  physical id: 0
  serial: 7FBB0CD8
  slot: DIMM 0
  size: 8GiB
  width: 64 bits
  clock: 3200MHz (0.3ns)

*-bank:1
  description: DIMM DDR4 Synchronous Unbuffered (Unregistered) 3200 MHz (0,3 ns)
  product: KHX3200C16D4/8GX
  vendor: Kingston
  physical id: 1
  serial: 0B5E0046
  slot: DIMM 1
  size: 8GiB
  width: 64 bits
  clock: 3200MHz (0.3ns)

*-bank:2
```

description: DIMM DDR4 Synchronous Unbuffered (Unregistered) 3200 MHz (0,3 ns)  
product: KHX3200C16D4/8GX  
vendor: Kingston  
physical id: 2  
serial: E9BB0B48  
slot: DIMM 0  
size: 8GiB  
width: 64 bits  
clock: 3200MHz (0.3ns)

\*-bank:3

description: DIMM DDR4 Synchronous Unbuffered (Unregistered) 3200 MHz (0,3 ns)  
product: KHX3200C16D4/8GX  
vendor: Kingston  
physical id: 3  
serial: 0A5E189D  
slot: DIMM 1  
size: 8GiB  
width: 64 bits  
clock: 3200MHz (0.3ns)

\*-cache:0

description: L1 cache  
physical id: c  
slot: L1 - Cache  
size: 384KiB  
capacity: 384KiB  
clock: 1GHz (1.0ns)  
capabilities: pipeline-burst internal write-back unified  
configuration: level=1

\*-cache:1

description: L2 cache  
physical id: d  
slot: L2 - Cache  
size: 3MiB  
capacity: 3MiB  
clock: 1GHz (1.0ns)  
capabilities: pipeline-burst internal write-back unified  
configuration: level=2

\*-cache:2

description: L3 cache  
physical id: e  
slot: L3 - Cache  
size: 32MiB  
capacity: 32MiB  
clock: 1GHz (1.0ns)  
capabilities: pipeline-burst internal write-back unified  
configuration: level=3

\*-cpu

description: CPU  
product: AMD Ryzen 5 3600 6-Core Processor  
vendor: Advanced Micro Devices [AMD]  
physical id: f



```

bus info: cpu@0
version: AMD Ryzen 5 3600 6-Core Processor
serial: Unknown
slot: AM4
size: 3601MHz
capacity: 4200MHz
width: 64 bits
clock: 100MHz
configuration: cores=6 enabledcores=6 threads=12

```

## ii. **ΒΑΣΙΚΗ Εκτέλεση με πλήρη παραλληλία & ταξινομημένες προβολές (sorted\_projections=true)**

```

> make sorted_projections=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads

```

Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	4.013499	53.158049
2	3.967026	28.231862
3	3.945958	20.039258
4	4.008930	16.191860
6	3.997297	13.212006
8	3.993070	12.335795
<b>12</b>	<b>3.950410</b>	<b>11.396190</b>
16	3.954679	11.737083
24	3.962276	11.512975

## iii. **Όλα τα threads εκτελούν το ίδιο ερώτημα (one\_query=true) & ταξινομημένες προβολές(sorted\_projections=true)**

```

> make sorted_projections=true s_execution=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads

```

Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	3.928364	47.466849
2	3.948091	24.893249
3	3.944387	17.477655
4	3.927595	13.961151
6	3.930287	10.673232
8	3.932697	9.878880
<b>12</b>	<b>3.965038</b>	<b>8.987036</b>
16	3.942931	9.736968
24	3.931237	10.112750

**iv. Κάθε thread εκτελεί ένα ερώτημα (s\_execution=true) & ταξινομημένες προβολές(sorted\_projections=true)**

```
> make sorted_projections=true one_query=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads
```

Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	3.986762	54.682986
2	3.958781	41.672859
3	3.961692	38.563542
4	3.969754	36.892797
6	4.085157	35.179977
8	3.976101	34.938618
<b>12</b>	<b>3.966161</b>	<b>34.351414</b>
16	3.941654	34.610831
24	3.966126	34.660177

**v. Η ταξινόμηση μιας σχέσης γίνεται από ένα thread (s\_sorting=true) & ταξινομημένες προβολές(sorted\_projections=true)**

```
> make sorted_projections=true s_sorting=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads
```

Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
1	3.959821	52.495572
2	3.974779	27.800552
3	3.967809	19.781864
4	3.995966	15.392042
6	3.962640	11.747725
8	4.001685	10.844093
<b>12</b>	<b>3.978305</b>	<b>10.229269</b>
16	3.999611	10.754502
24	3.966883	10.893566

iv. Το πρόγραμμα παίρνει ένα παραπάνω όρισμα που είναι το πόσα queries το πολύ θα εκτελούνται ταυτόχρονα (`max_queries=true`) & ταξινομημένες προβολές(`sorted_projections=true`)

```
> make sorted_projections=true max_queries=true queries_fast
> cat /tmp/temp_medium_dataset/medium.txt | ./queries αριθμός_threads 10
```

Αριθμός Threads	Χρόνος φόρτωσης πινάκων (sec)	Χρόνος εκτέλεσης queries (sec)
<b>1</b>	<b>3.992746</b>	<b>9.930044</b>
2	3.957839	19.226326
4	3.972631	37.639145
8	3.957961	73.951724
16	3.958513	146.847615