



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Άσκηση 2 - Προηγμένα Θέματα Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών

Γρηγόριος Θανάσουλας

gregthanasoulas@gmail.com

A.M: 03114131

8 Μαΐου 2020

1 Σκοπός

Η άσκηση αυτή αποσκοπεί στη μελέτη της επίδοσης διαφορετικών branch predictors. Για την αξιολόγηση τους γίνεται χρήση του εργαλείου PIN με τα παρακάτω μετροπρογράμματα (SPEC CPU2006 benchmarks):

1. 403.gcc
2. 429.mcf
3. 434.zeusmp
4. 436.cactusADM
5. 445.gobmk
6. 450.soplex
7. 456.hmmer
8. 458.sjeng
9. 459.GemsFDTD
10. 471.omnetpp
11. 473.astar
12. 483.xalancbmk

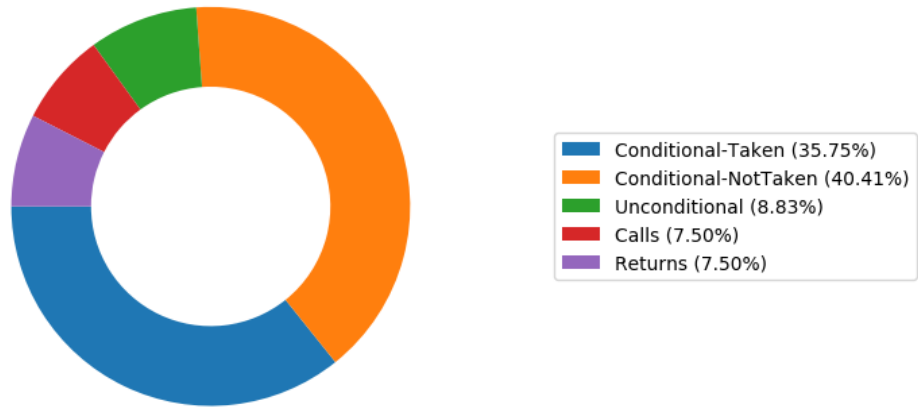
2 Πειραματική Αξιολόγηση

2.1 Μελέτη εντολών άλματος

Στο παρόν τμήμα της εργασίας συλλέγουμε στατιστικά για το είδος εντολών άλματος των benchmarks που θα εκτελέσουμε.

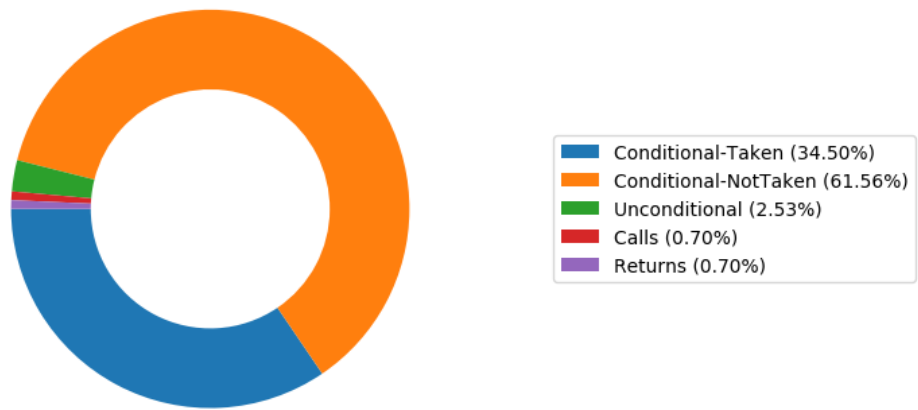
403-gcc

Total Branches: 754271130 - 23.69% of total instructions



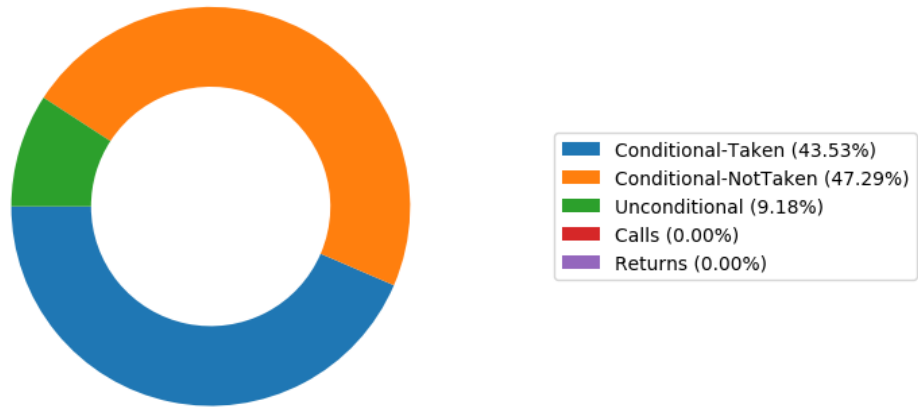
429-mcf

Total Branches: 3862679719 - 21.22% of total instructions



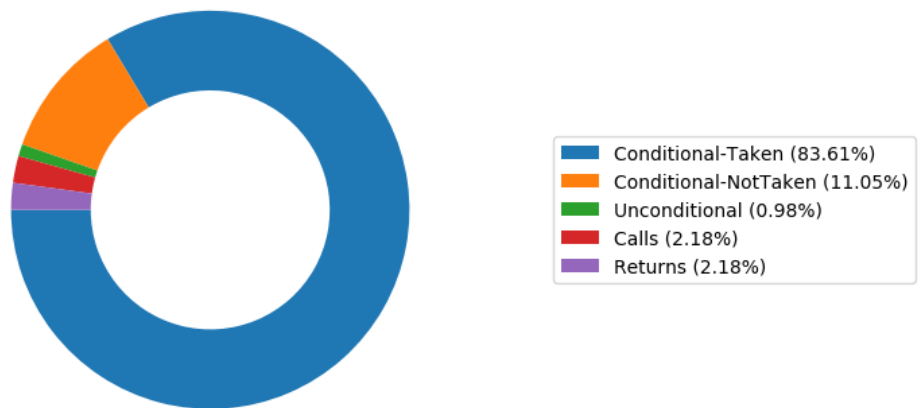
434-zeusmp

Total Branches: 7550195259 - 7.33% of total instructions



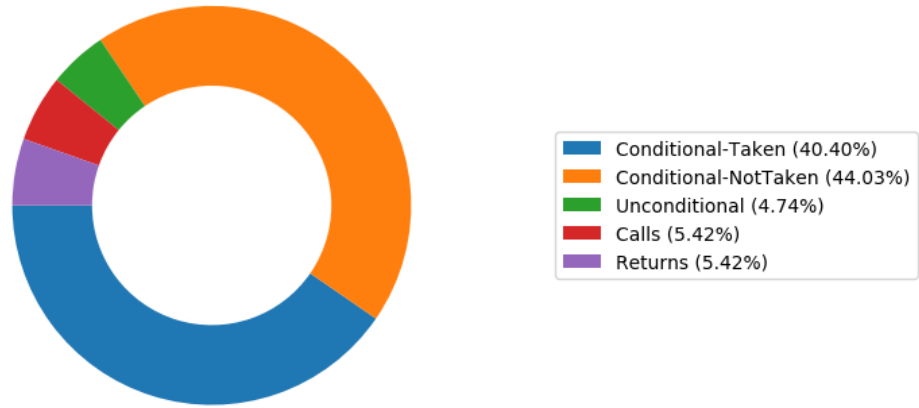
436-cactusADM

Total Branches: 170181784 - 0.21% of total instructions



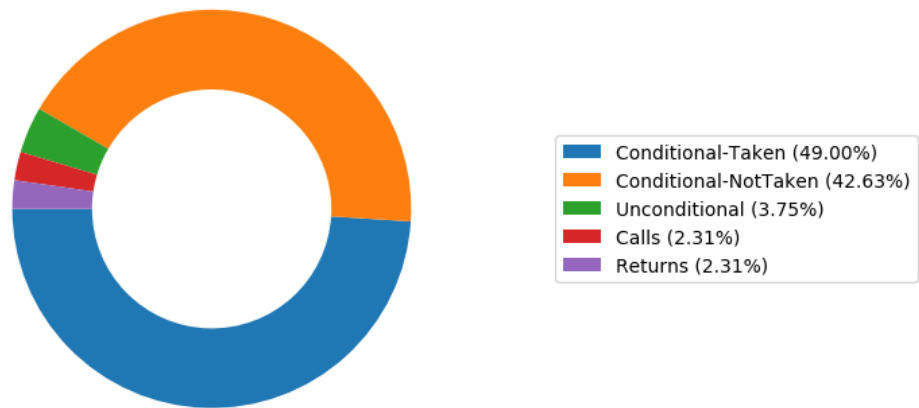
445-gobmk

Total Branches: 3463153780 - 19.66% of total instructions



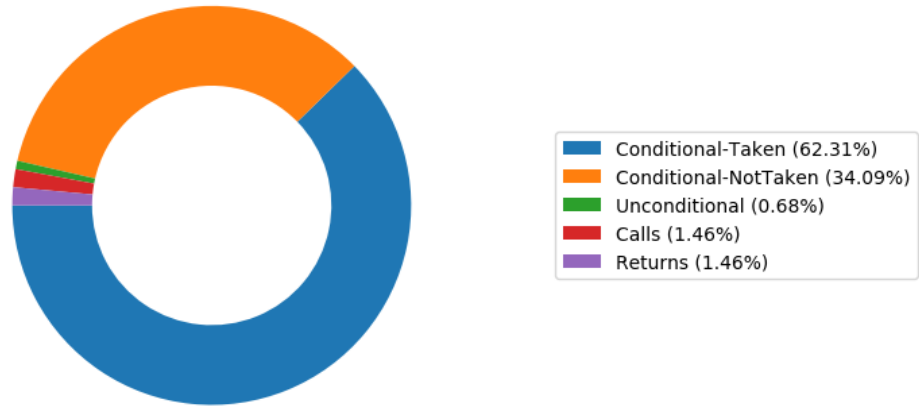
450-soplex

Total Branches: 1833637728 - 20.19% of total instructions



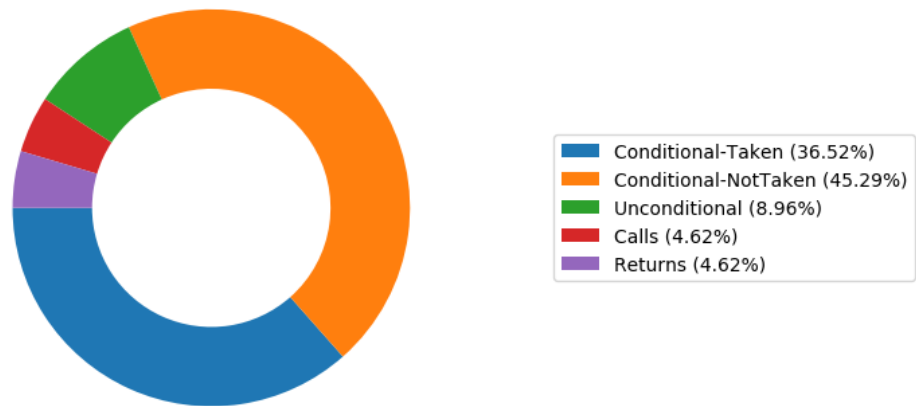
456-hmm

Total Branches: 13914144170 - 5.18% of total instructions



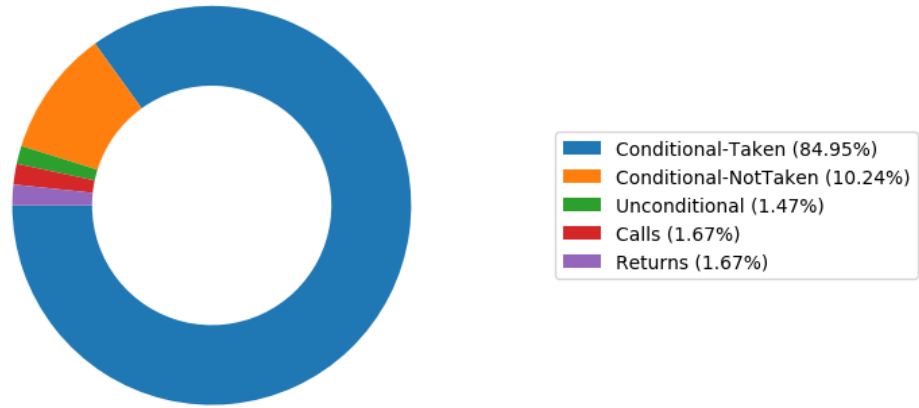
458-sjeng

Total Branches: 100333242483 - 21.92% of total instructions



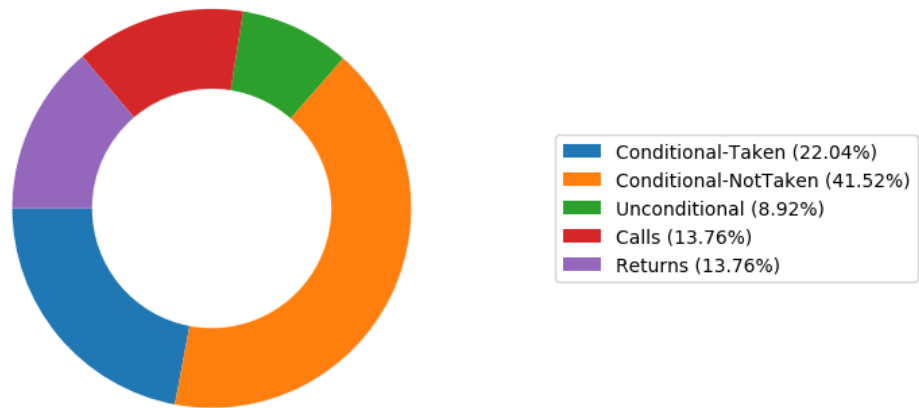
459-GemsFDTD

Total Branches: 3407996134 - 3.13% of total instructions



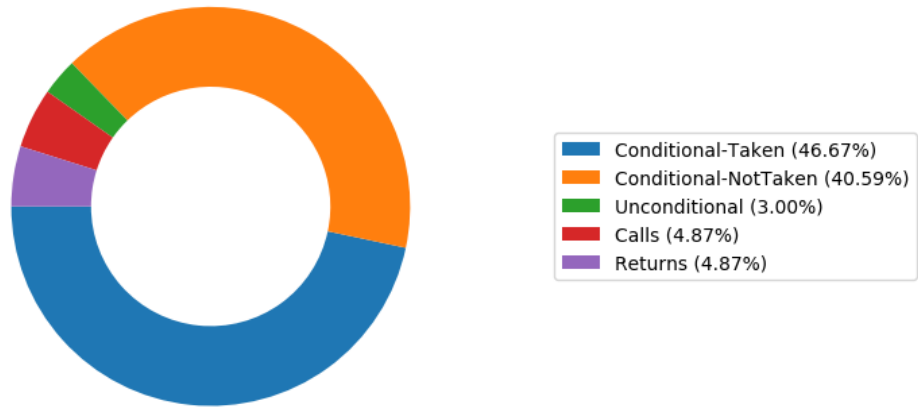
471-omnetpp

Total Branches: 51151322506 - 24.06% of total instructions



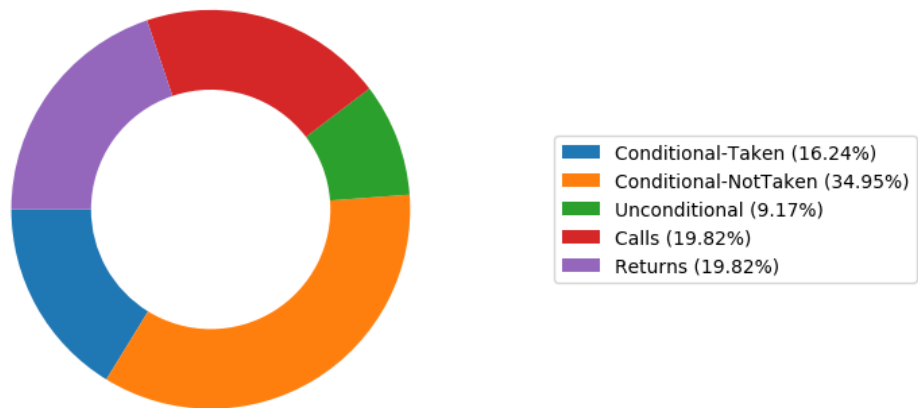
473-astar

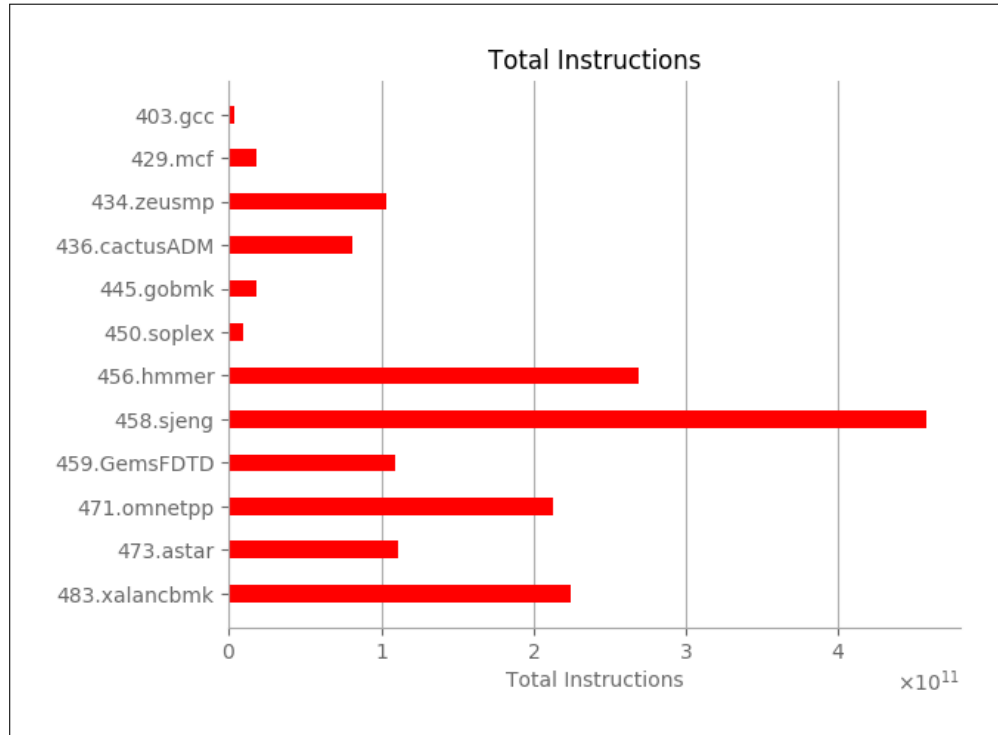
Total Branches: 18049727168 - 16.29% of total instructions



483-xalancbmk

Total Branches: 54603481117 - 24.37% of total instructions





Σχόλια Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι στα μετροπρογράμμά μας οι εντολές άλματος αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό των συνολικών εντολών που εκτελούνται. Υπάρχουν benchmarks όπου οι εντολές άλματος είναι περίπου το 20%-30% των συνολικών εντολών (403.gcc, 429.mcf, 445.gobmk, 450.soplex, 458.sjeng, 483.xalancbmk, 473.astar) και άλλα όπου οι εντολές άλματος είναι σημαντικά λιγότερες κάτω του 5% των συνολικών (459.GemsFDTD και 436.cactusADM).

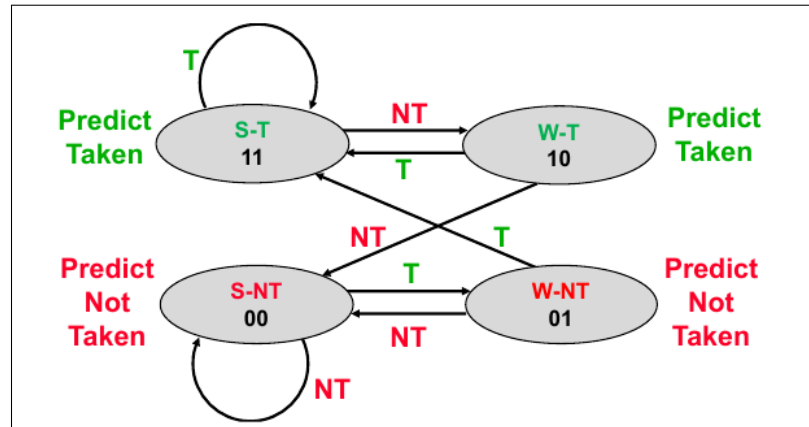
Όσον αφορά την κατηγορία των αλμάτων, τα περισσότερα από αυτά τα είναι είτε Conditional Taken, είτε Conditional NotTaken. Αρκετά λιγότερα (συνολικά περί το 10%) είναι τα Unconditional Branches, Calls, Returns.

Τέλος, για το σύνολο των εντολών, όπως βλέπουμε στο σφαιρικό ραβδόγραμμα, υπάρχουν benchmarks με μικρό πλήθος εντολών (gcc, mcf, zeusmp, soplex, gobmk) και άλλα με αρκετά μεγάλο πλήθος εντολών τα οποία απαιτούν και μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης (hmmmer, sjeng, omnetop).

2.2 Μελέτη των N-bit Predictors

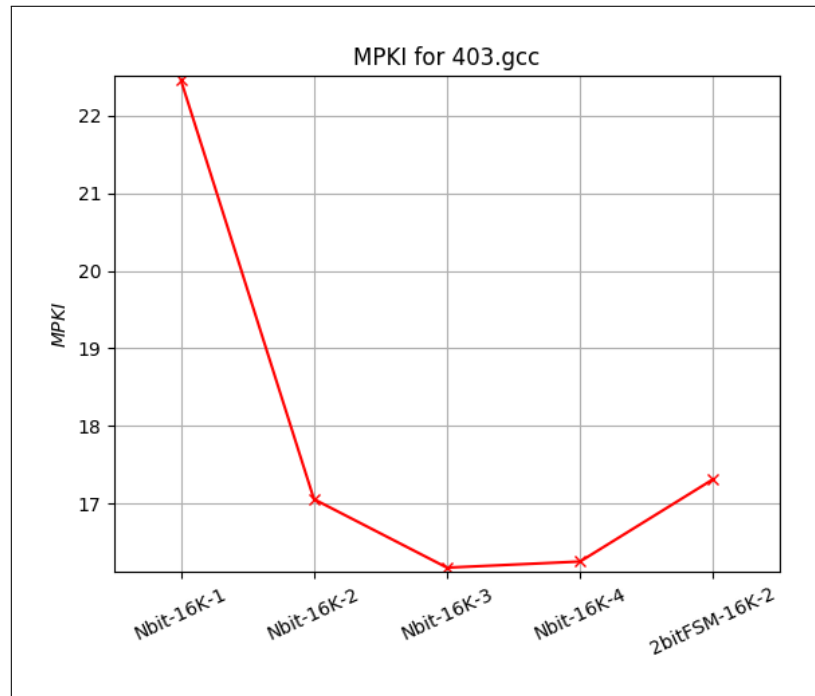
2.2.1 Μελέτη για σταθερό αριθμό BHT Entries

Στο σημείο αυτό μελετάται η απόδοση των N-bit Predictors για διαφορετικές τιμές του $N = 1, 2, 3, 4$, ενώ τα entries διατηρούνται σταθερά και ίσα με 16K. Τα N-bit υλοποιούν ένα saturating up-down counter. Επιπλέον, υλοποιείται ένας predictor με το κάτωθι FSM:

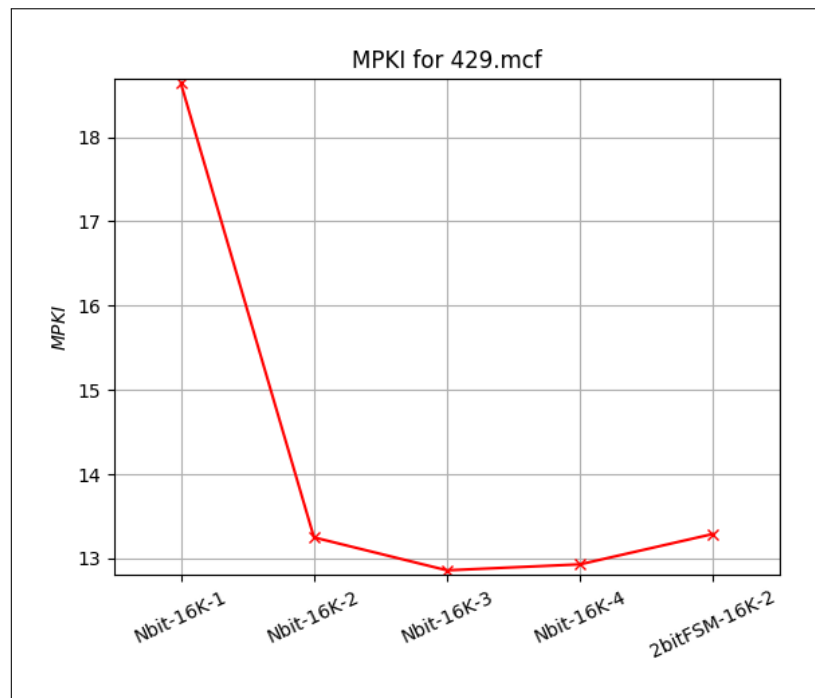


Η σύγκριση των predictors γίνεται με βάση τα direction Mispredictions Per Thousand Instructions (direction MPKI). Ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν και ο σχετικός σχολιασμός τους:

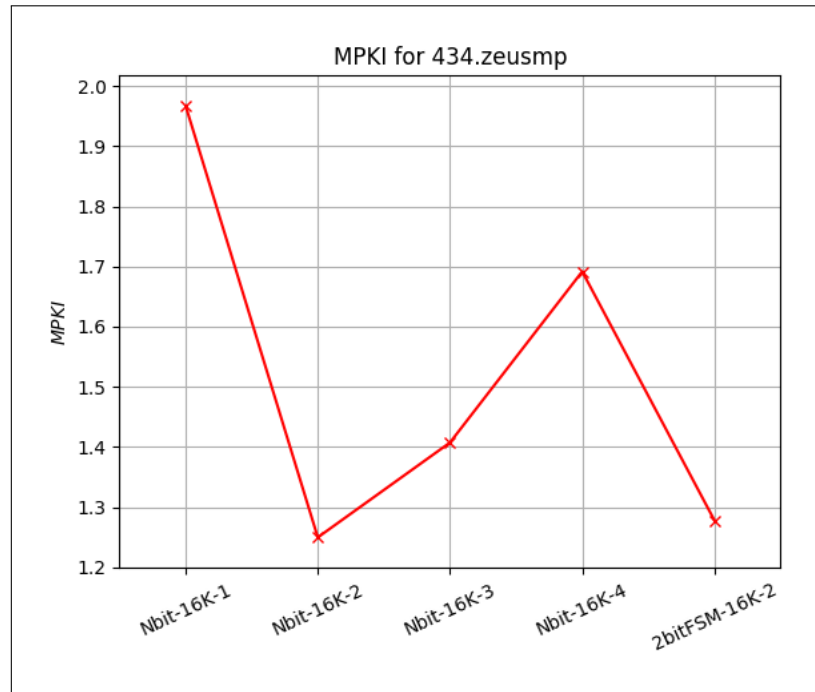
403-gcc



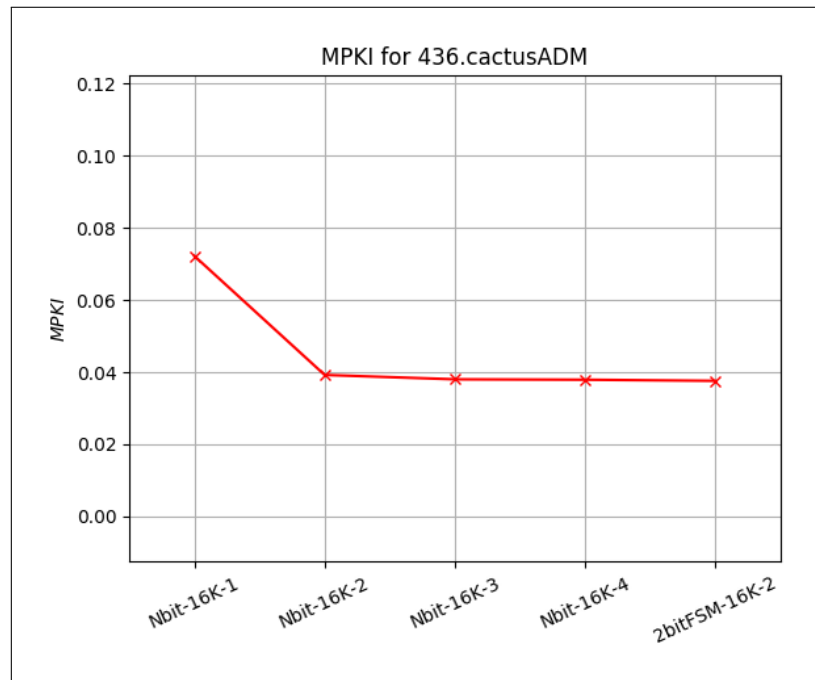
429-mcf



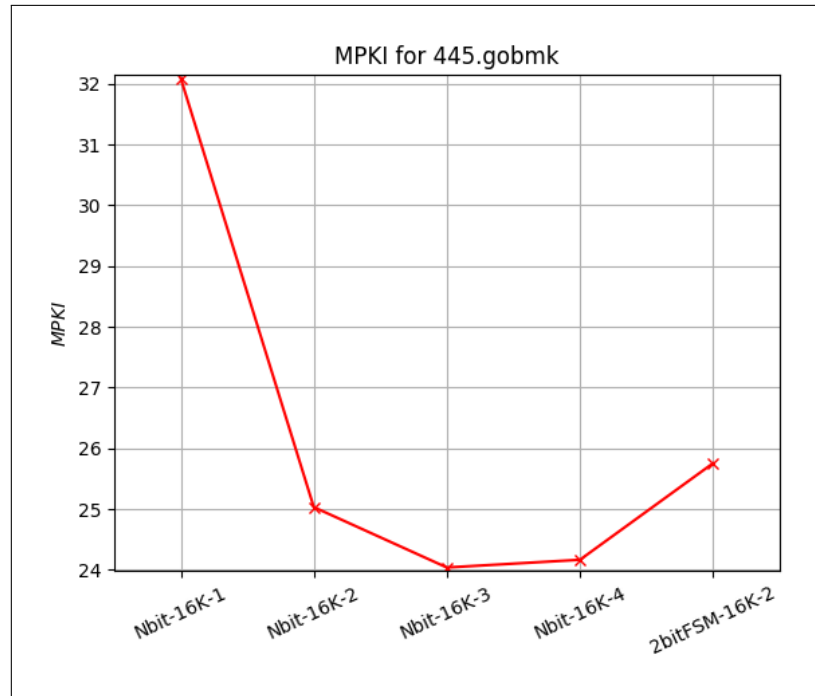
434-zeusmp



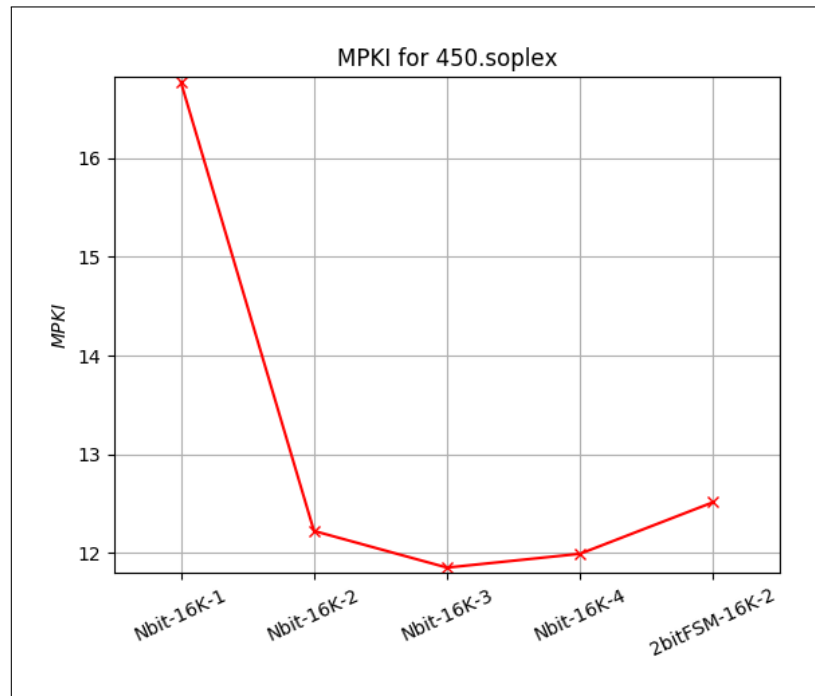
436-cactusADM



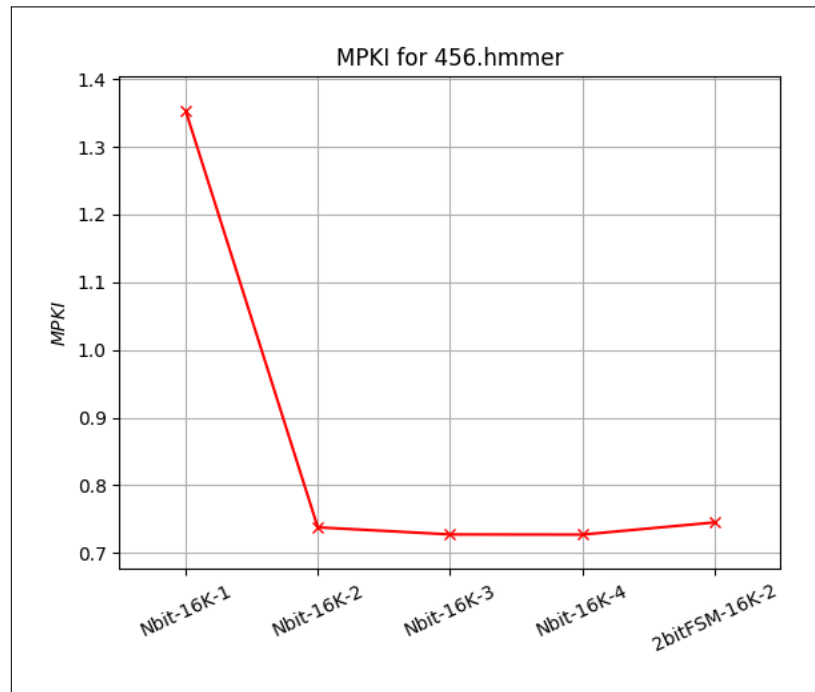
445-gobmk



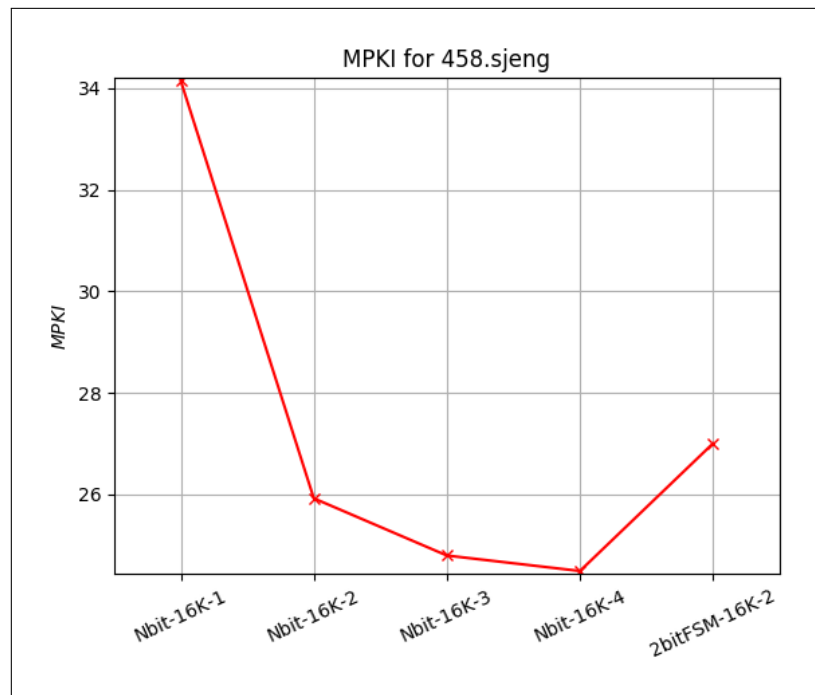
450-soplex



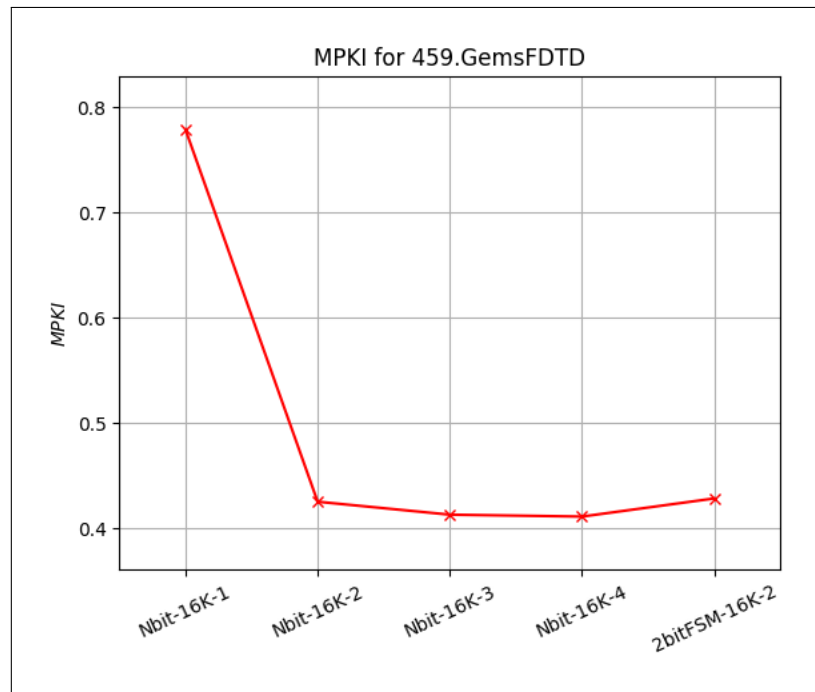
456-hmm



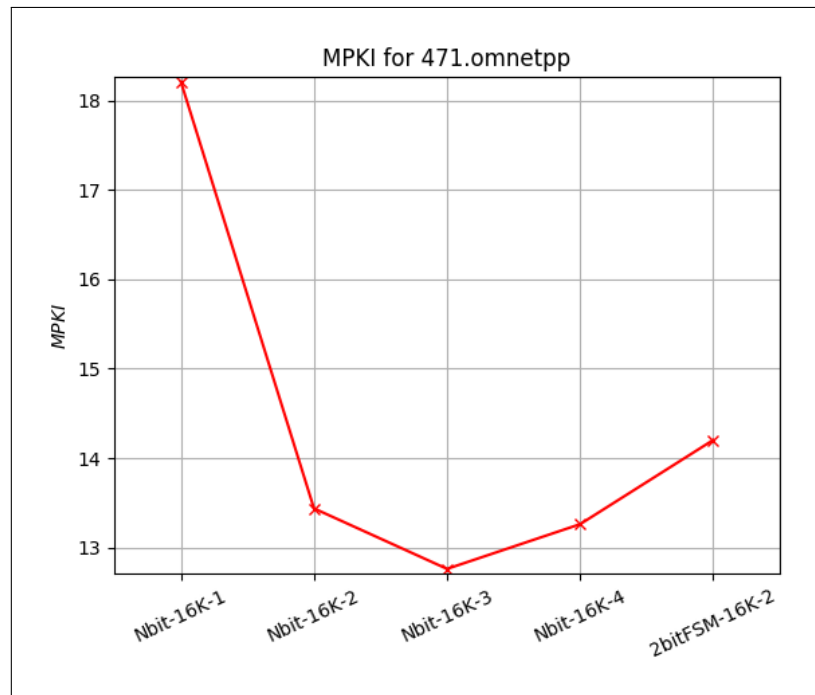
458-sjeng



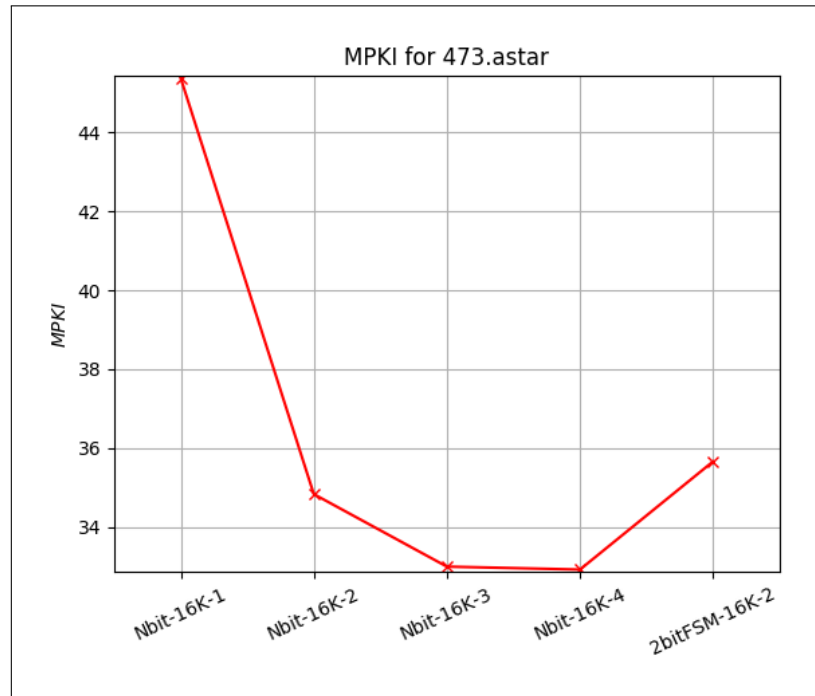
459-GemsFDTD



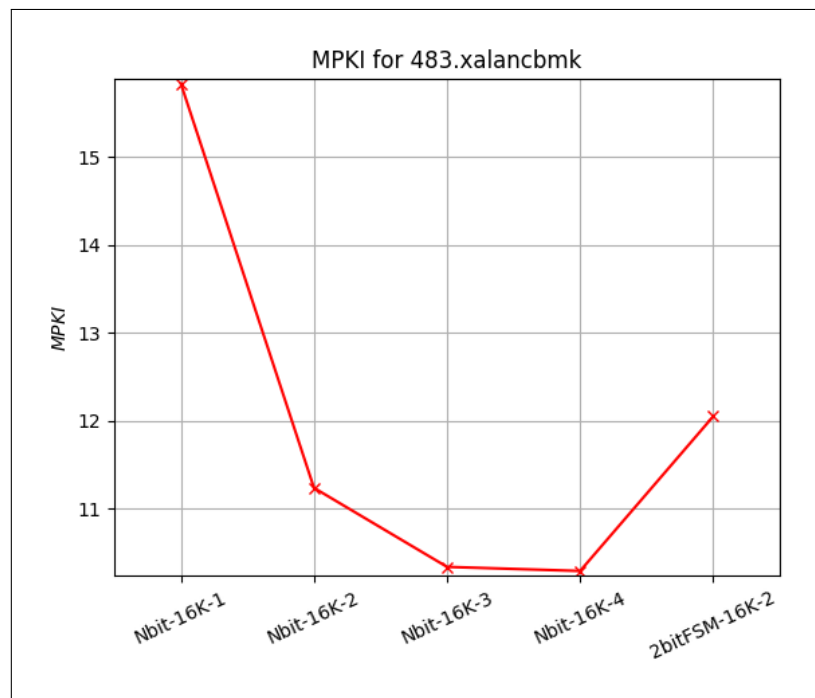
471-omnetpp



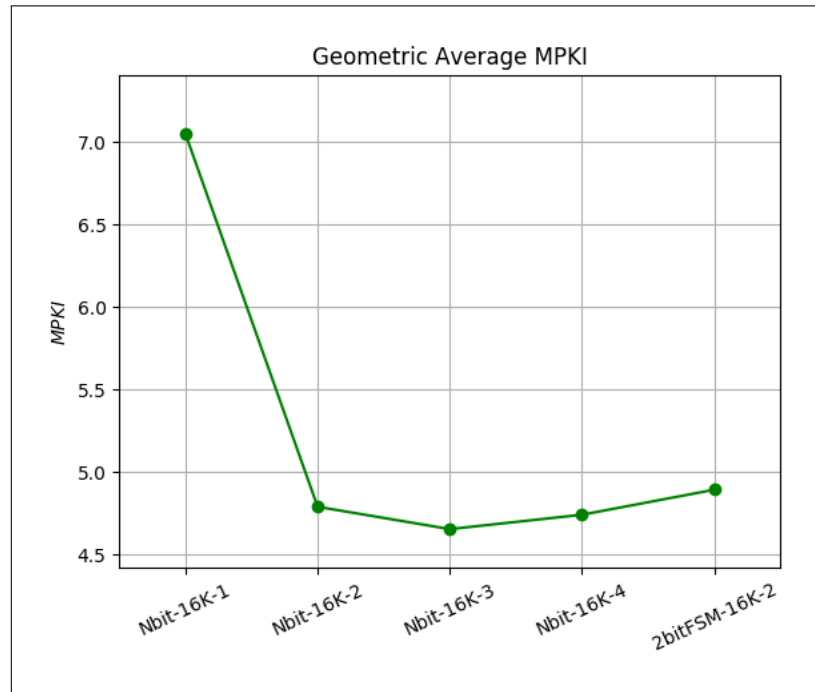
473-astar



483-xalancbmk



Geometric Average



Συμπεράσματα-Σχόλια Από της μορφές των καμπυλών στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως 11 στα 12 benchmarks παρουσιάζουν βελτίωση καθώς το πλήθος των bits του predictor αυξάνει, δηλαδή η μετρική dMPKI φθίνει καθώς τα bits αυξάνονται. Η μόνη διαφορετική ως προς την μορφή καμπύλη αντιστοιχεί στο μετρόπρόγραμμα 434.zeusmp για το οποίο το μικρότερο MPKI αντιστοιχεί σε 2-bit predictor. Ωστόσο πρέπει να επισημάνουμε πως για το εν λόγω μετροπρόγραμμα η μεταβολή το MPKI είναι ήδη αρκετά χαμηλό και η μεταβολή του με τη χρήση διαφορετικών Nbit-Predictors είναι αρκετά μικρή (εύρος 1.2 έως 2.0 Misses Per KILOInstructions), άρα δεν μας επηρεάζει και πολύ.

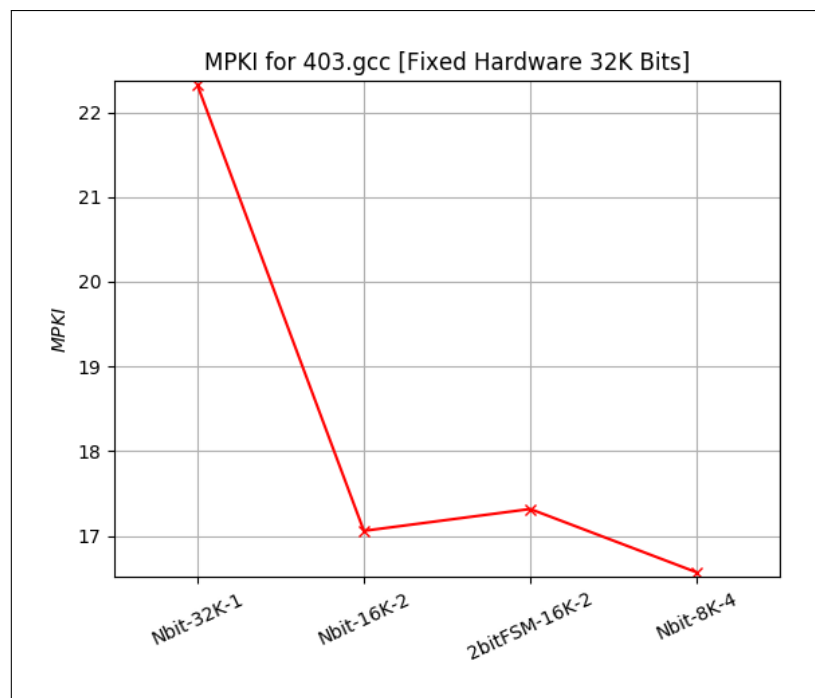
Βοηθάει να αποκτήσουμε μία σαφώς πιο συνολική εικόνα και το διάγραμμα γεωμετρικών μέσων των παραπάνω τιμών, όπου εκεί επιβεβαιώνουμε τα προηγούμενα συμπεράσματα. Επιπλέον, να σημειώσουμε ότι το FSM που υλοποιήσαμε αποδίδει καλύτερα μονάχα σε σχέση με τον 1bit Predictor. Σαφώς η **καλύτερη επιλογή φαίνεται να είναι ο 4-bit Predictor.**

2.2.2 Μελέτη των N-bit Predictors για σταθερό πλήθος bits Hardware

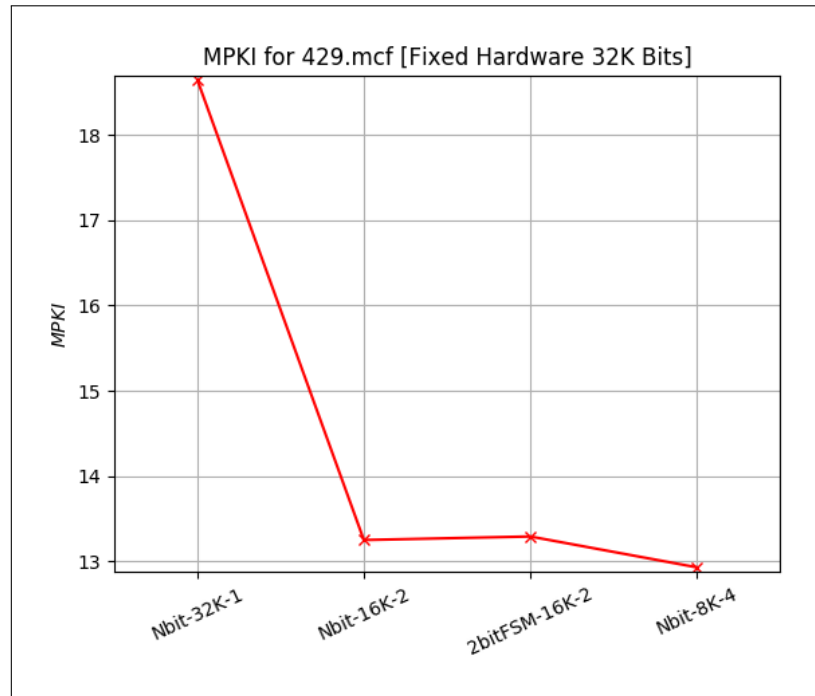
Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνεται η μελέτη της απόδοσης των N-bit Predictors για διαφορετικές τιμές του $N = 1, 2, 2b, 4$, με τη διαφορά ότι θα ελέγξουμε την επίδοση σε συνδυασμούς που αντιστοιχούν σε σταθερό hardware overhead 32K.

Ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν και ο σχετικός σχολιασμός τους:

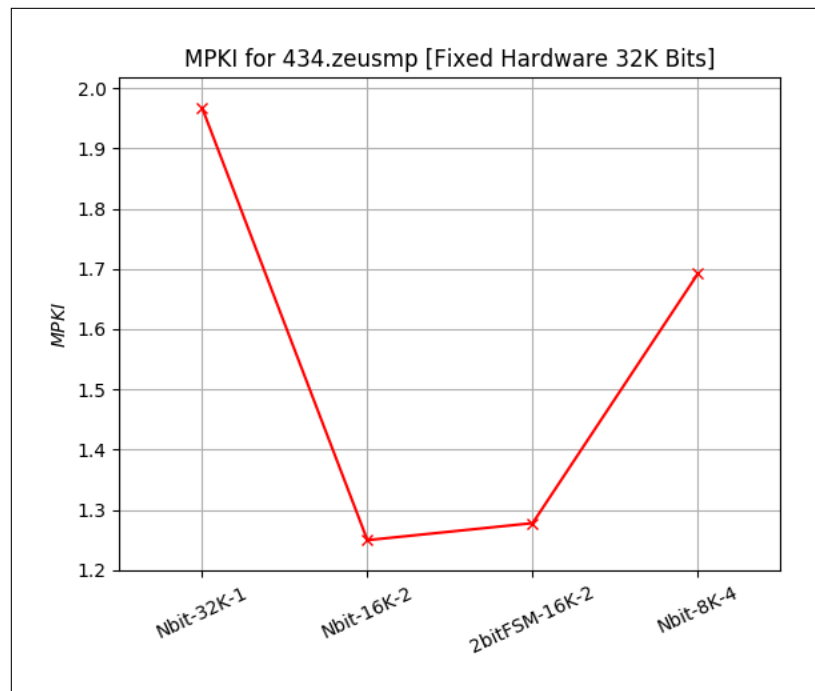
403-gcc



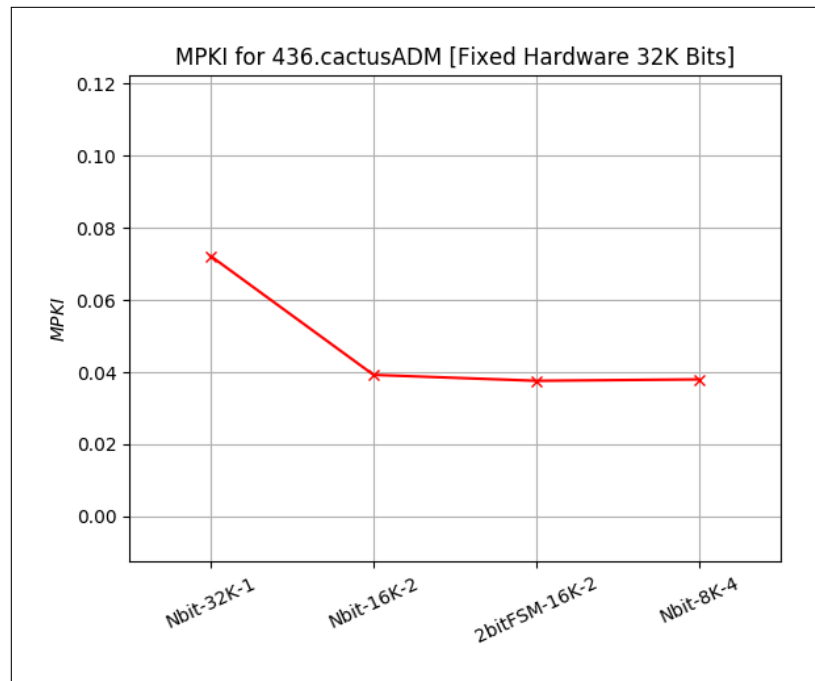
429-mcf



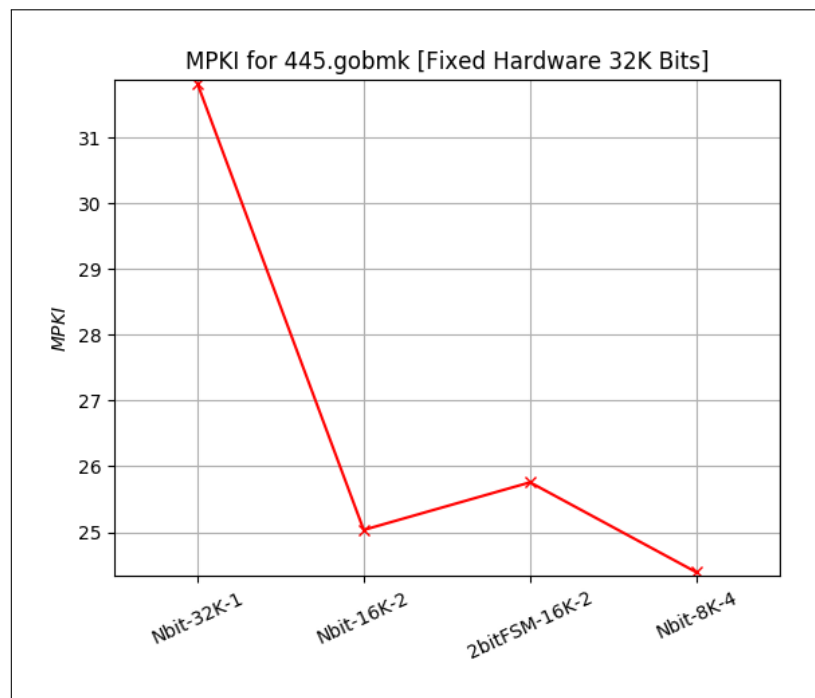
434-zeusmp



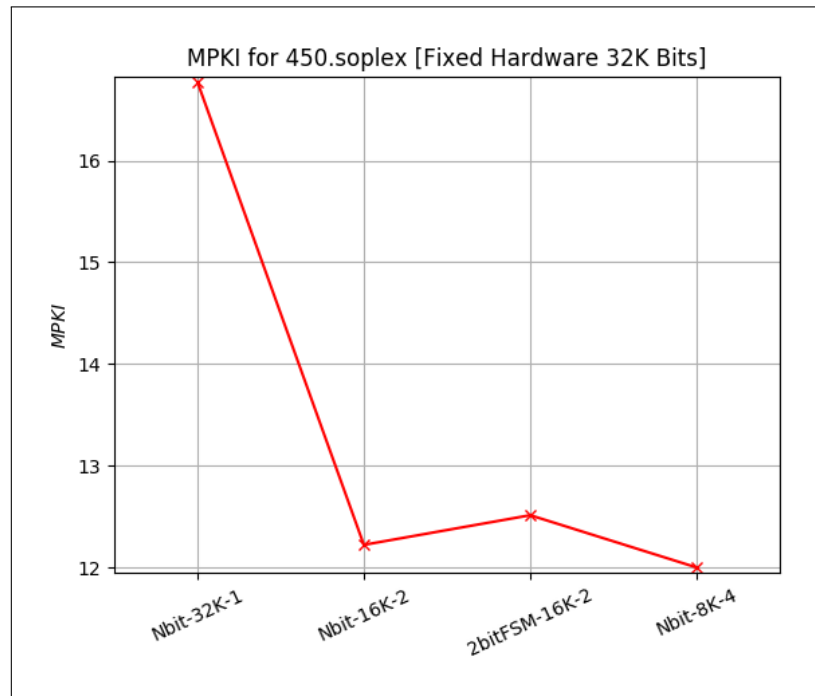
436-cactusADM



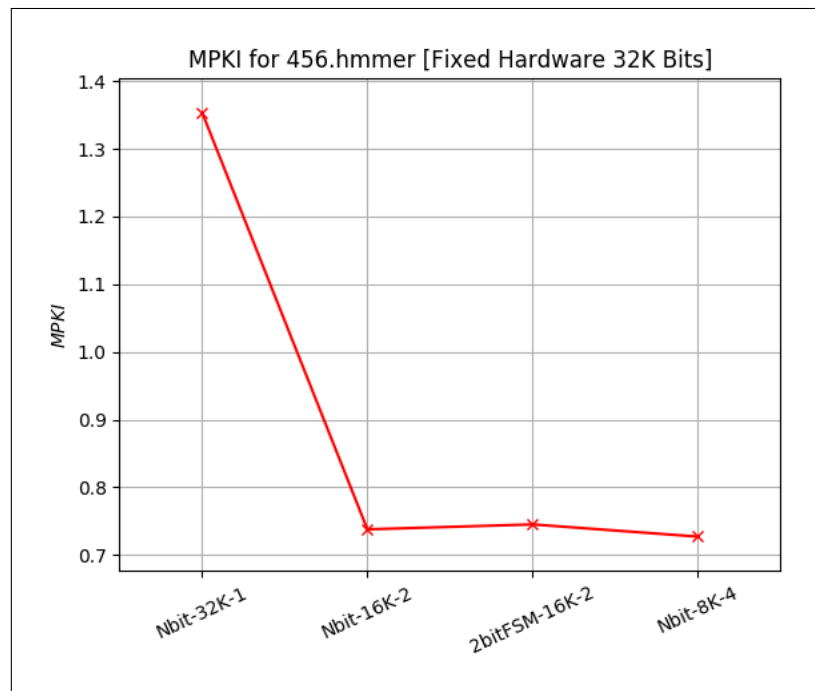
445-gobmk



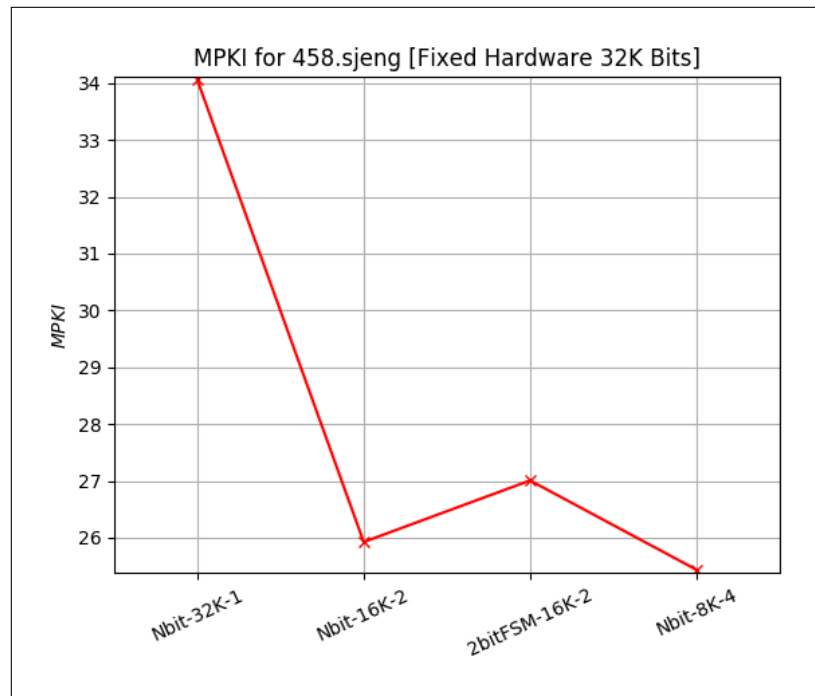
450-soplex



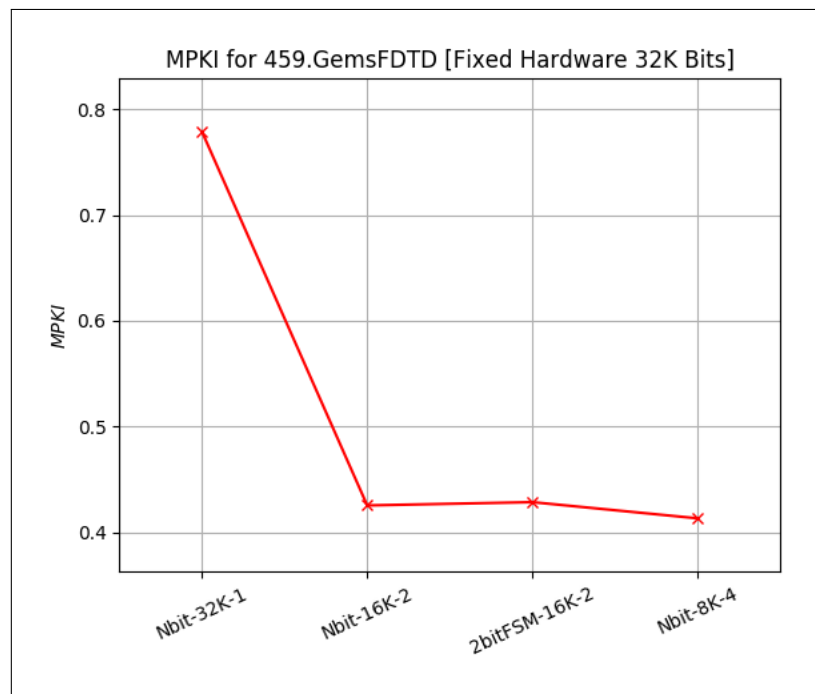
456-hmmer



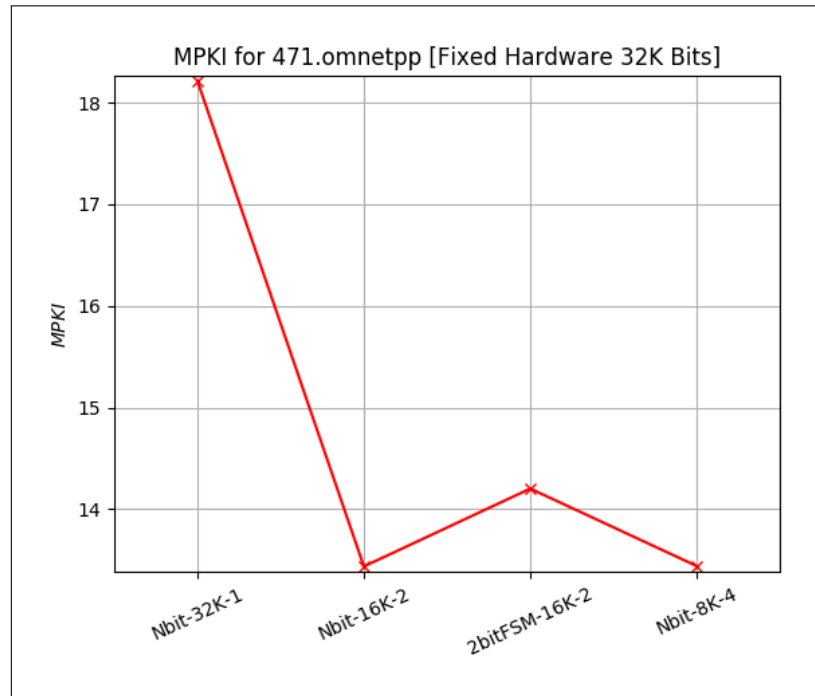
458-sjeng



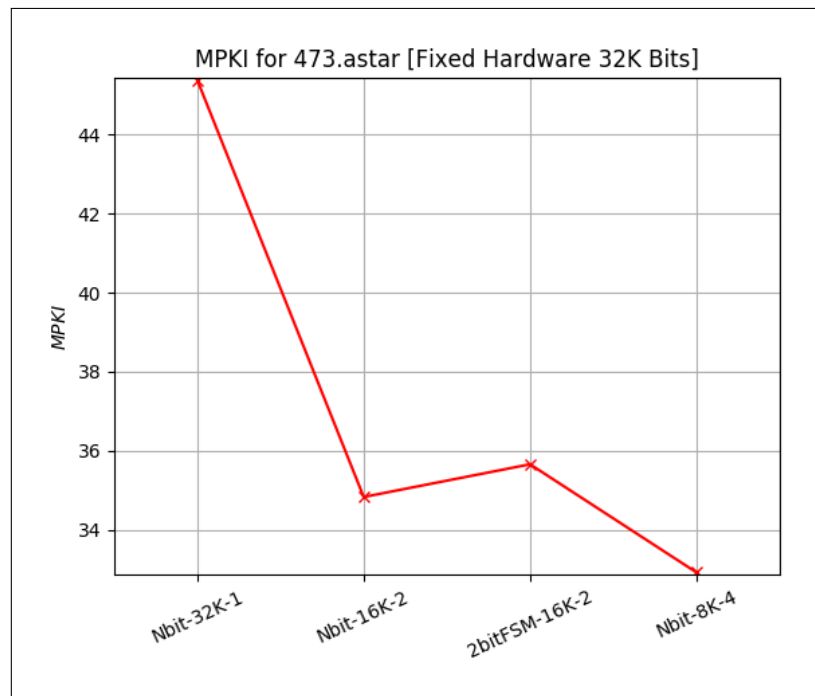
459-GemsFDTD



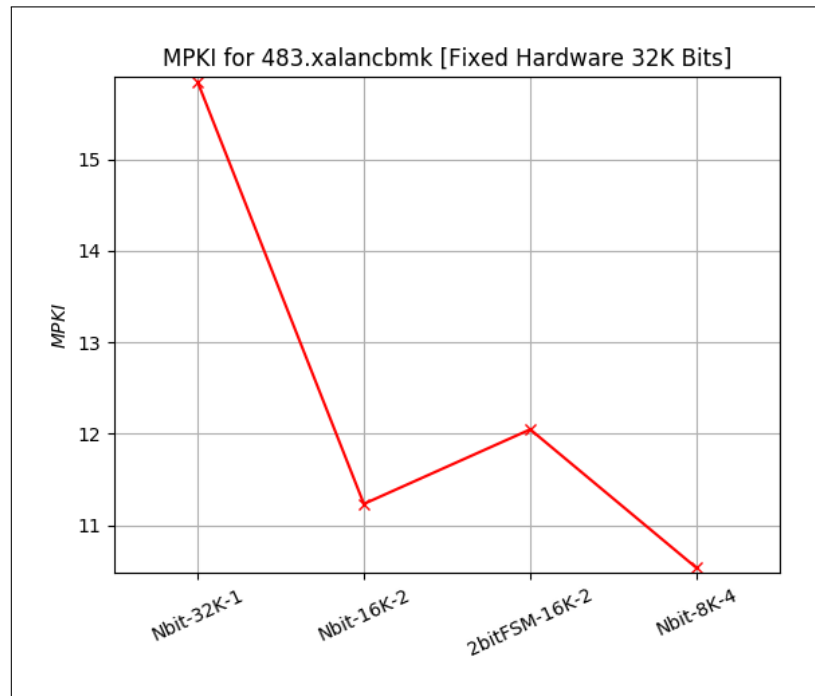
471-omnetpp



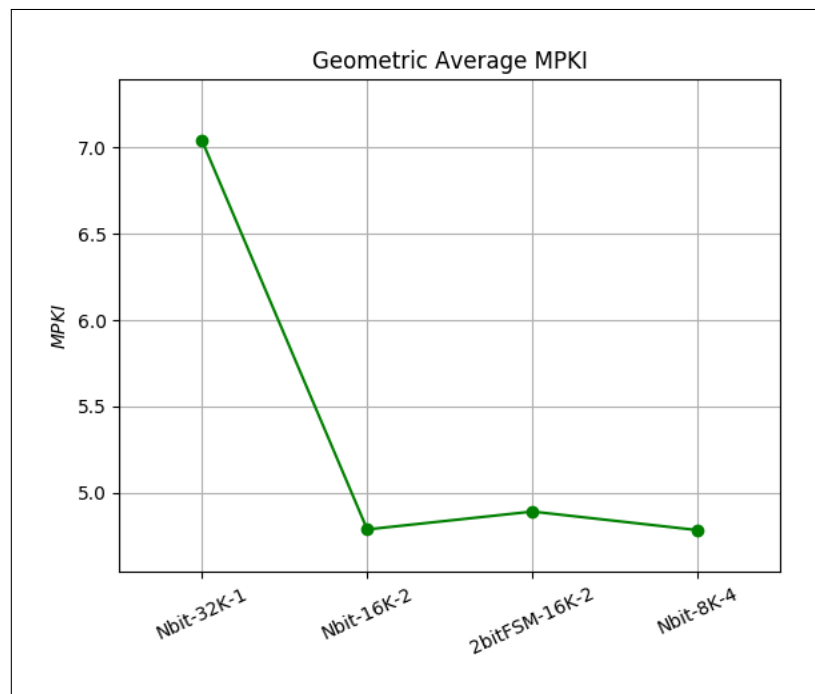
473-astar



483-xalancbmk



Geometric Average



Συμπεράσματα-Σχόλια Παρατηρούμε πως και στους νέους συνδυασμούς για σταθερό υλικό, η καμπύλες μοιάζουν με του προηγούμενου ερωτήματος και τα συμπεράσματα είναι ανάλογα.

Από της μορφές των καμπυλών στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως 11 στα 12 benchmarks παρουσιάζουν βελτίωση καθώς το πλήθος των bits του predictor αυξάνει, δηλαδή η μετρική dMPKI φθίνει καθώς τα bits αυξάνονται, παρά την μείωση του πλήθους των predictors. Η μόνη διαφορετική ως προς την μορφή καμπύλη αντιστοιχεί στο μετρόπρόγραμμα 434.zeusmp για το οποίο το μικρότερο MPKI αντιστοιχεί σε 2-bit predictor.

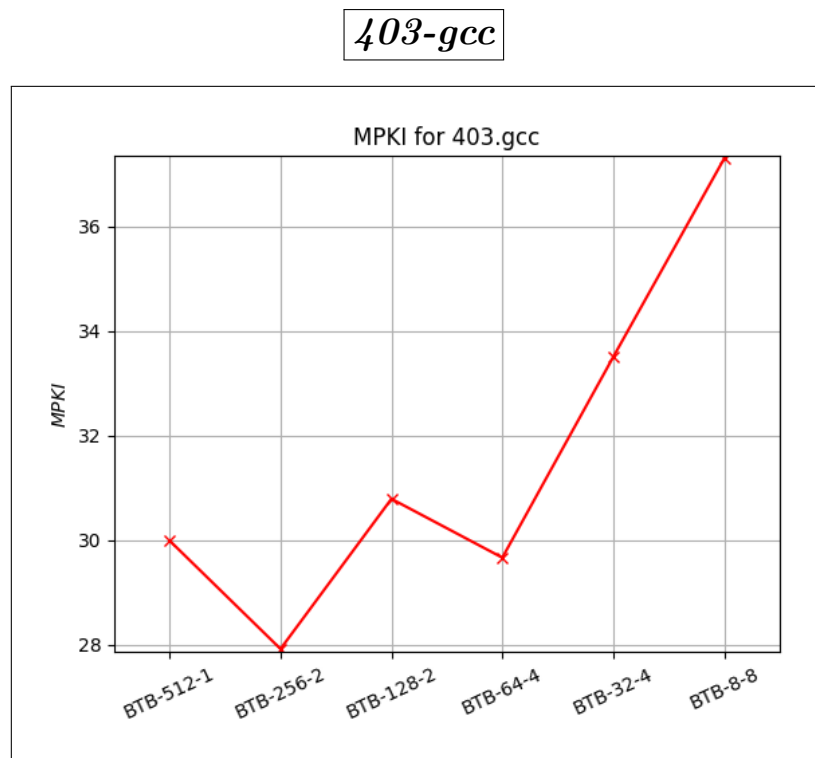
Από το διάγραμμα των γεωμετρικών μέσων μπορούμε να αποκτήσουμε μία συνολικότερη εποπτεία, και να καταλήξουμε πως και σε αυτή την περίπτωση **καλύτερη επιλογή είναι ο 4-bit Predictor με 8K entries.**

2.3 Μελέτη του BTB

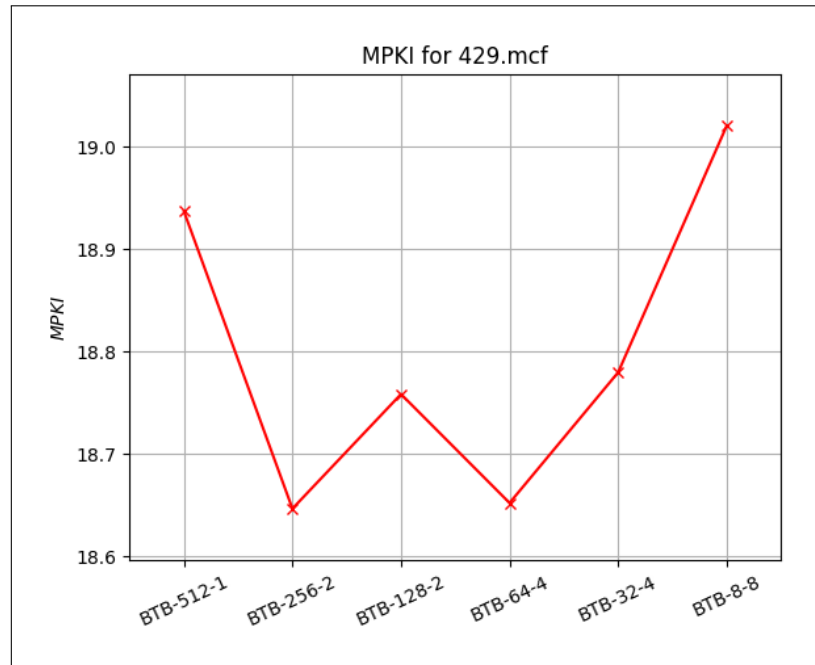
Στο σημείο αυτό μελετάμε την απόδοση του BTB για διαφορες τιμές entries. Συγκεκριμένα έχουμε τους εξής συνδυασμούς:

- 512 lines, associativity 1
- 256 lines, associativity 2
- 128 lines, associativity 4
- 64 lines, associativity 8
- 32 lines, associativity 4
- 8 lines, associativity 8

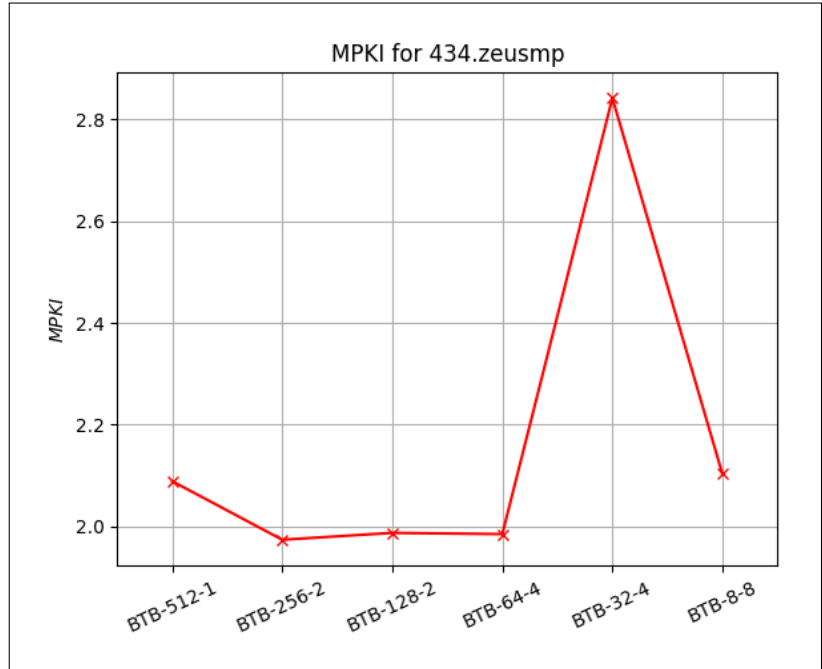
Ακολουθούν τα διαγράμματα και ο σχετικός σχολιασμός:



429-mcf

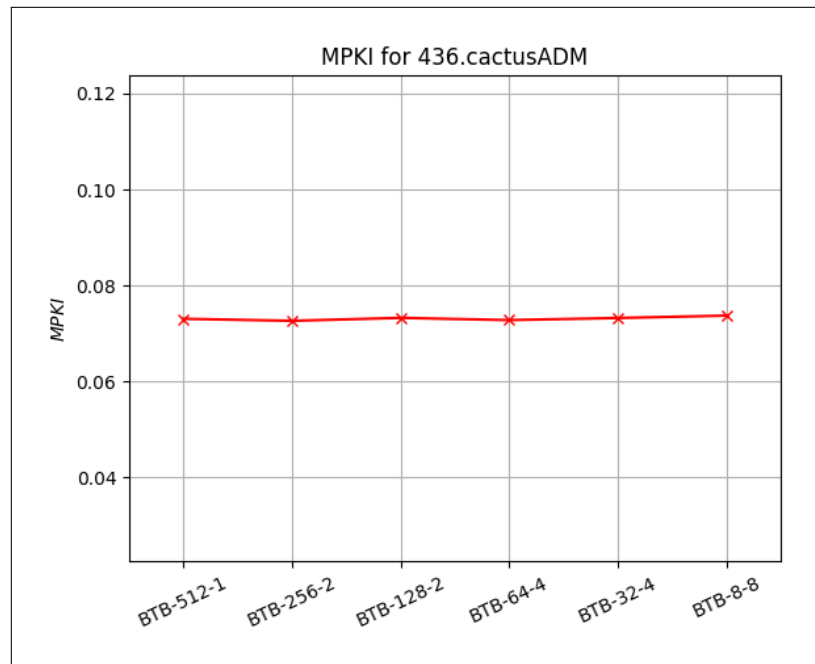


434-zeusmp

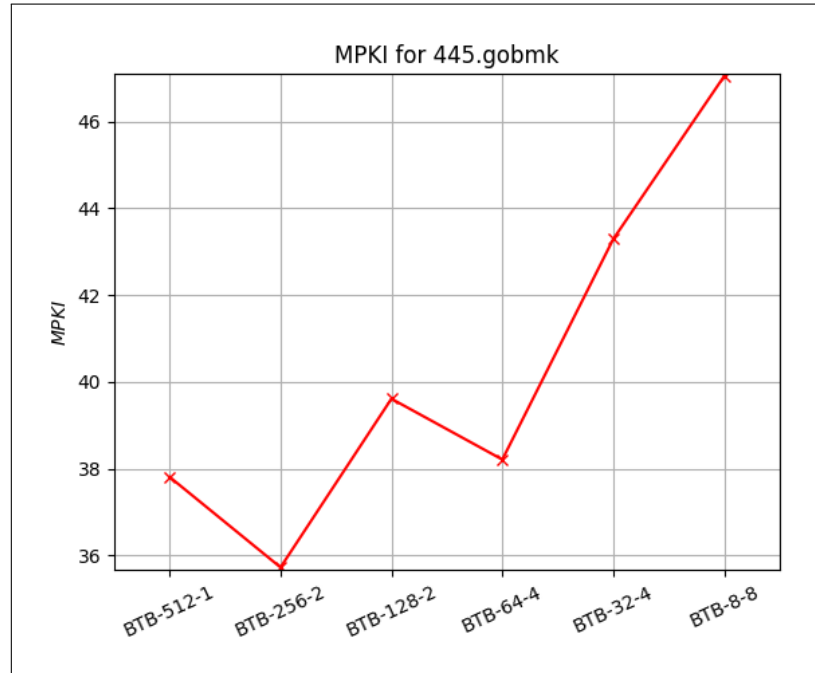


4

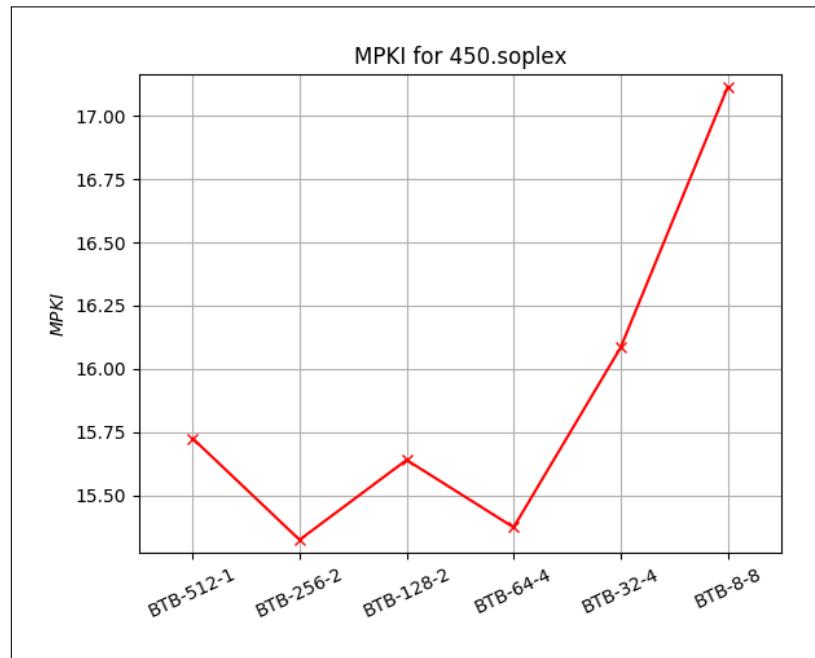
436-cactusADM



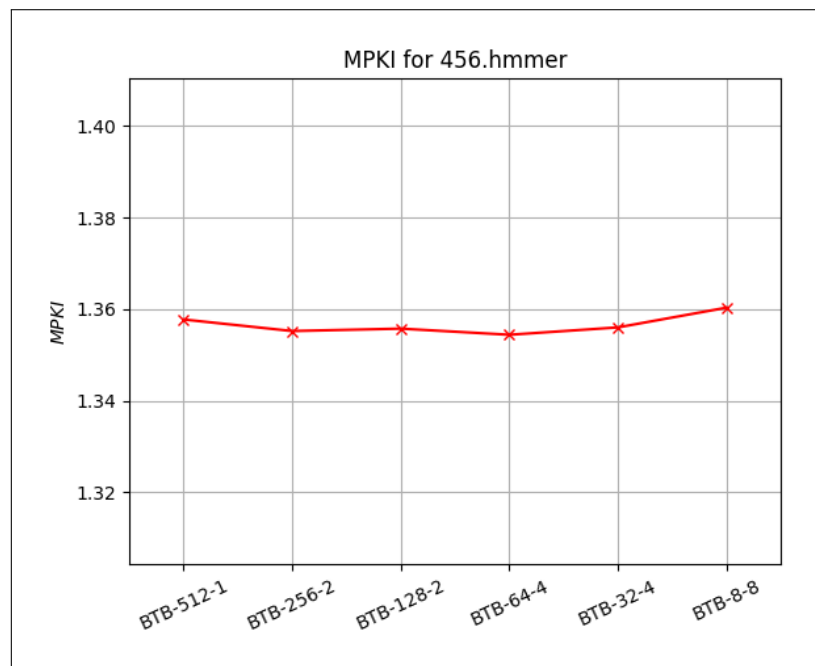
445-gobmk



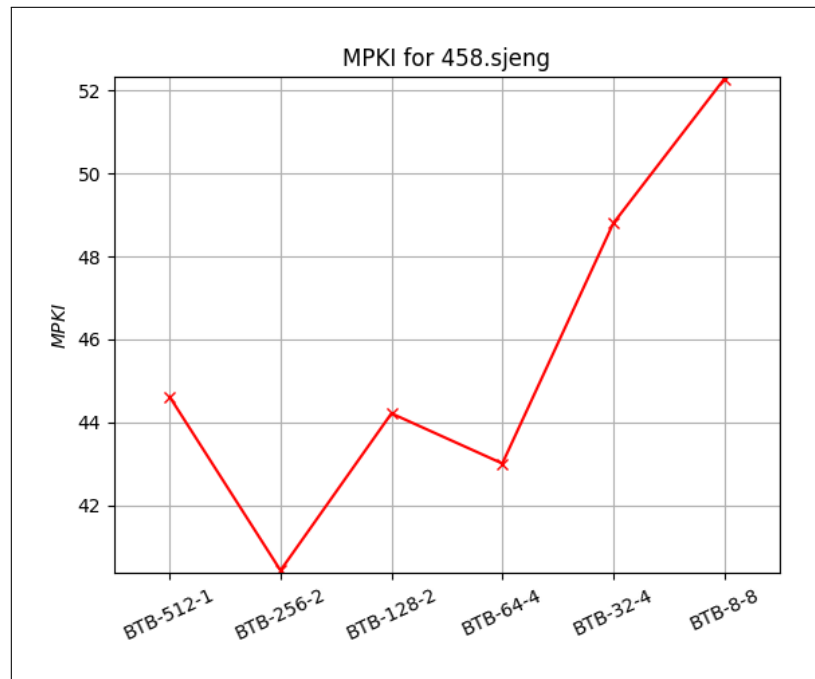
450-soplex



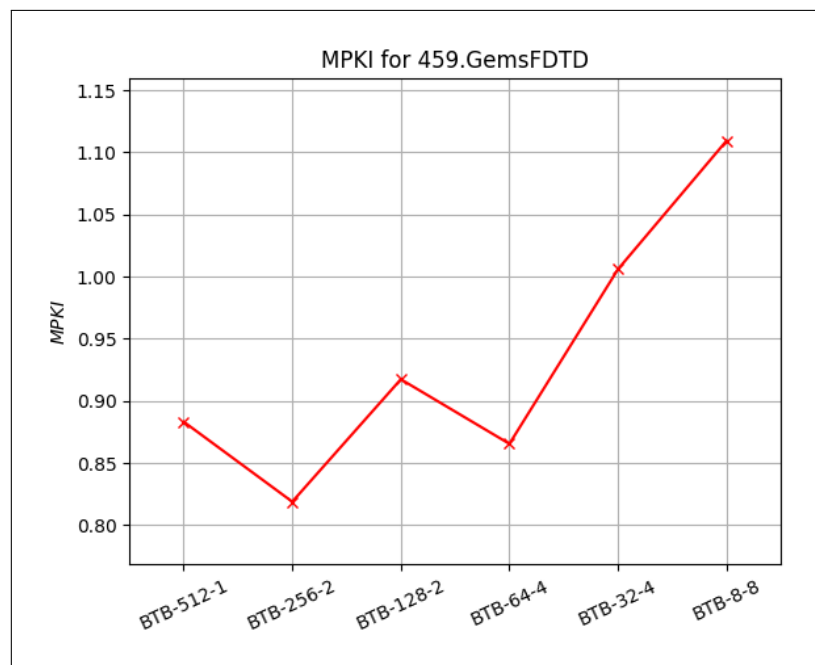
456-hmmer



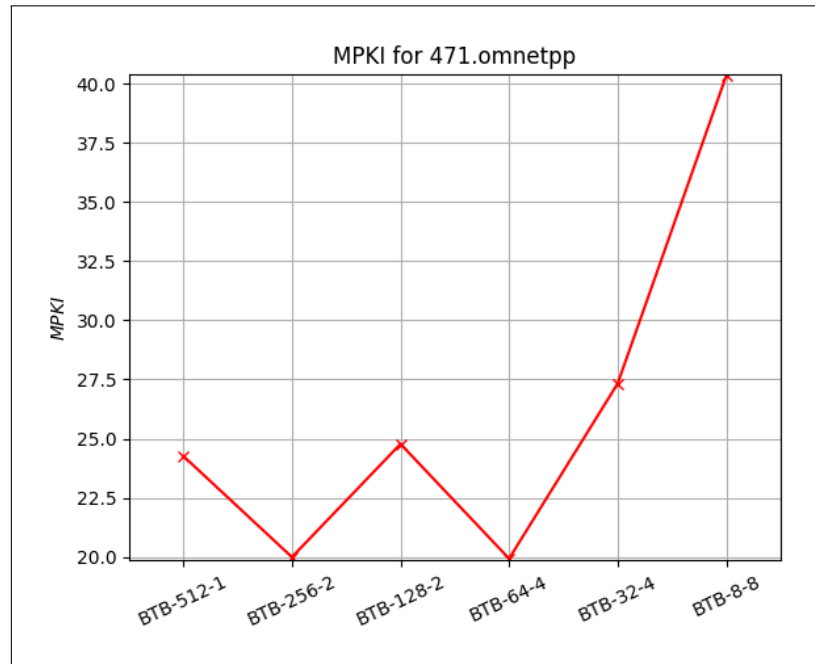
458-sjeng



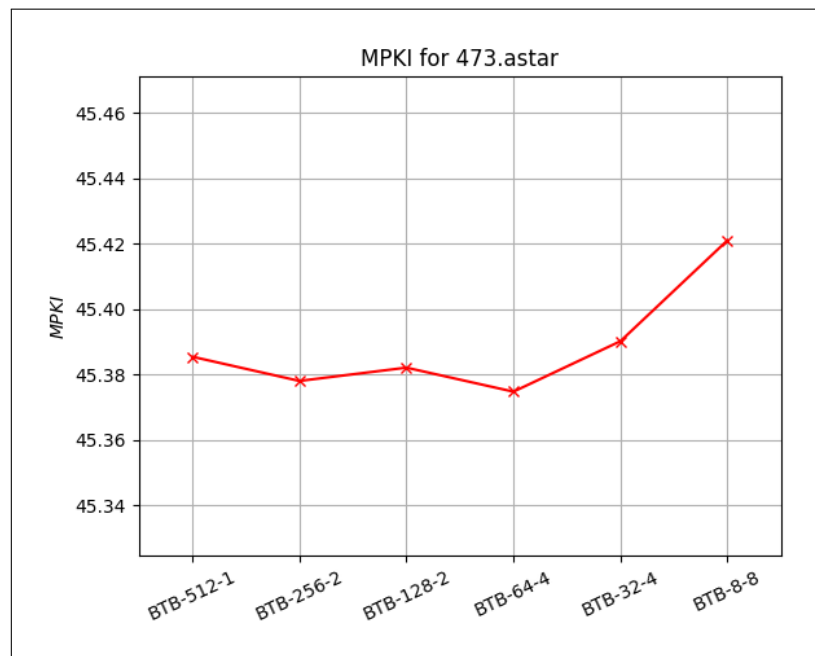
459-GemsFDTD



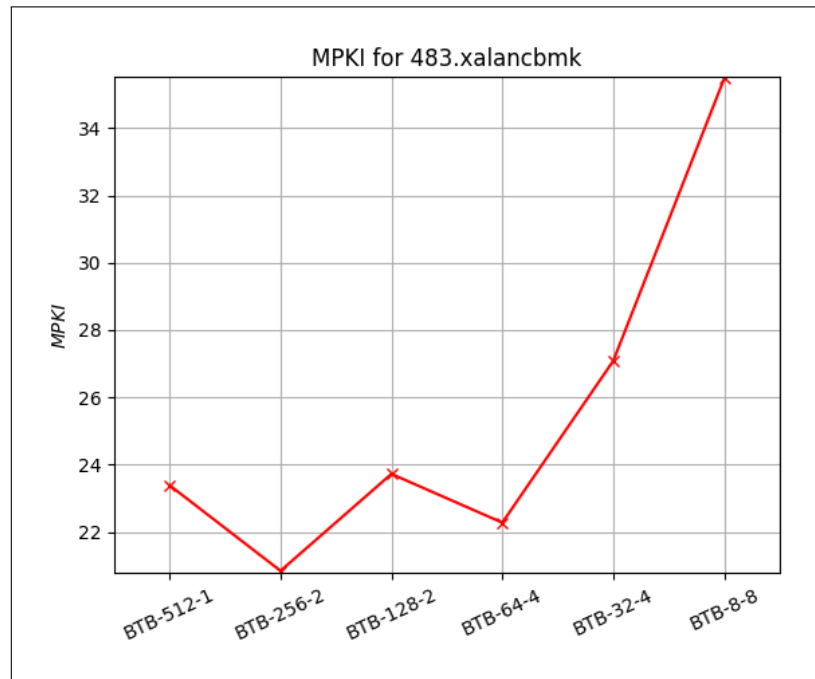
471-omnetpp



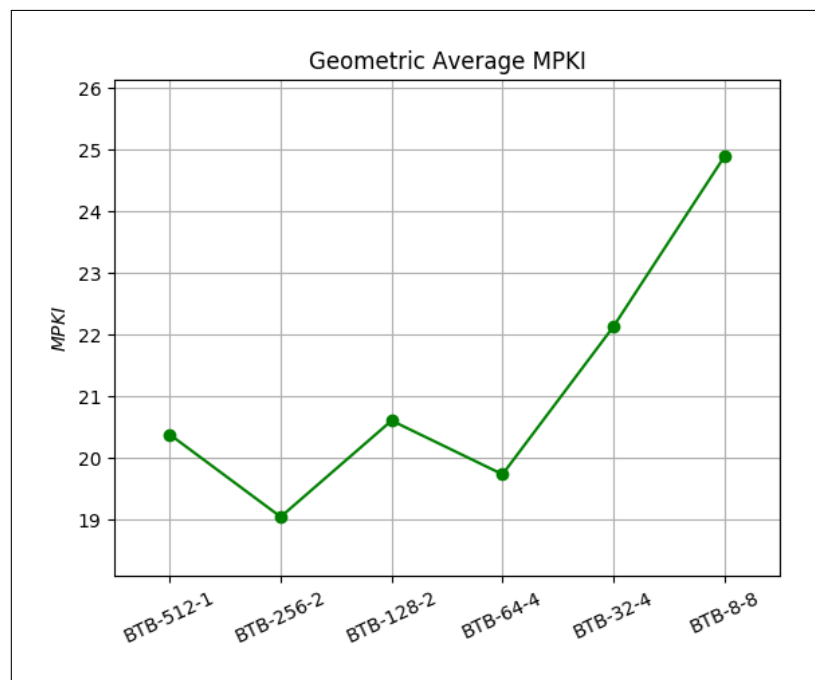
473-astar



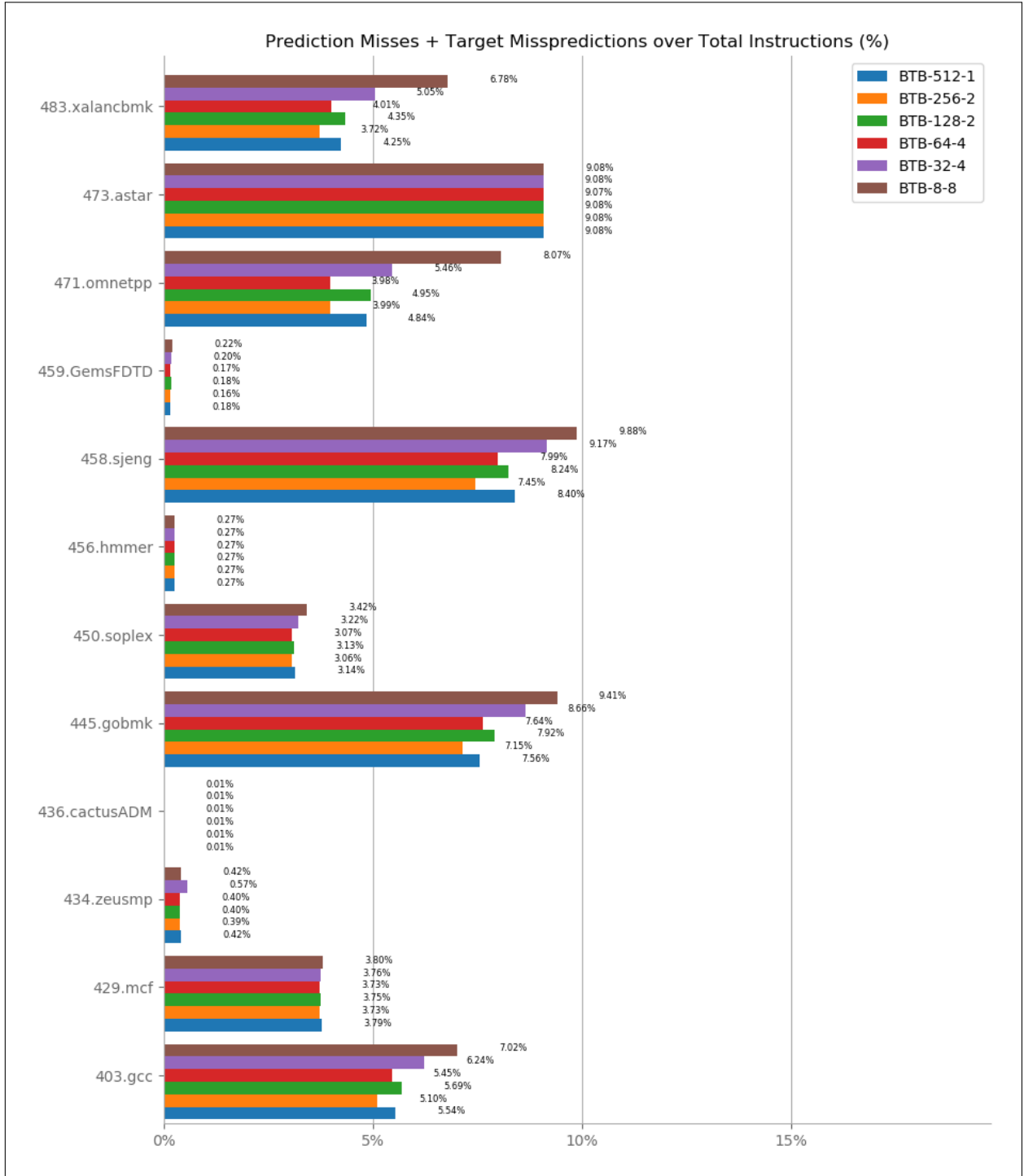
483-xalancbmk



Geometric Average of MPKI



Benchmarks Overview



Συμπεράσματα-Σχόλια Στα παραπάνω διαγράμματα χρησιμοποιούμε ως μετρική τα επιμέρους prediction misses + target misspredictions per KILOInstructions.

Από τα επιμέρους διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι για σταθερό πλήθος entries (table lines x associativity) η αύξηση του associativity επιφέρει βελτίωση. Την μικρότερη τιμή misses επιτυγχάνουν οι συνδυασμοί BTB-256-2 και BTB-64-4. Μάλιστα ο BTB-256-2 φαίνεται να έχει καθολικό προβάδισμα στην απόδοση όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα των γεωμετρικών μέσων.

Αξίζει να σημειώσουμε πως ο συνδυασμός BTB-8-8 έχει τη χειρότερη απόδοση, και άρα η υπερβολική αύξηση του associativity μειώνοντας τα table lines μετά από ένα όριο δε δρα βελτιωτικά.

Τέλος από το ραβδόγραμμα Benchmarks Overview, όπου φαίνονται συγκριτικά όλα τα παραπάνω και παρουσιάζονται τα total misspredictions per total instructions (%), μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ξανά ότι ο BTB-256-2 έχει την καλύτερη επίδοση. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι στο διάγραμμα αυτό κάποια μετροπρογράμματα φαίνονται να έχουν υπερβολικά καλή επίδοση (hmmer, cactusADM, etc), όμως αυτό οφείλεται εν μέρει και στο ότι γενικότερα έχουν μικρό ποσοστό branches, όπως είδατε στο πρώτο τμήμα της παρούσας άσκησης.

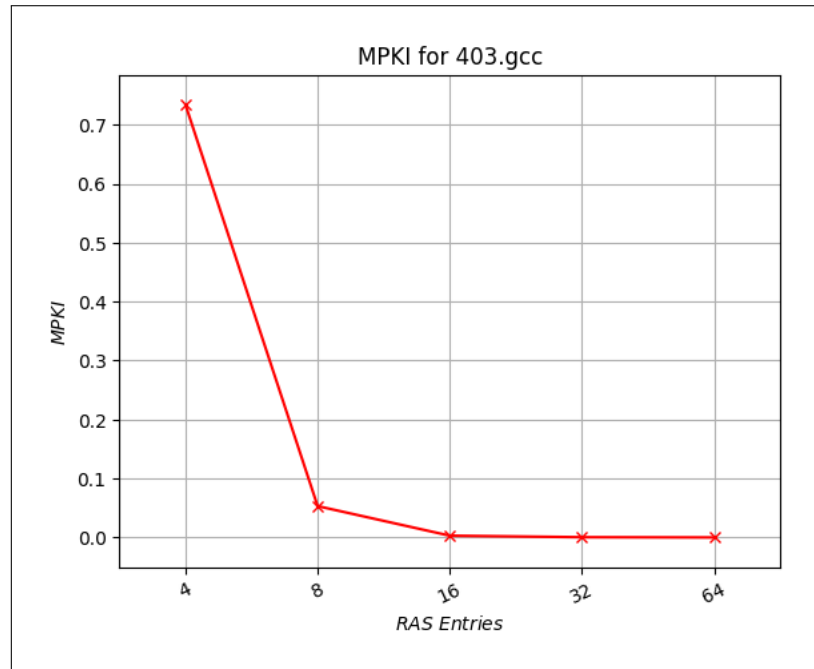
Συνοπτικά, καλύτερη επιλογή είναι ο BTB Predictor με 512 entries, οργανωμένα σε 256 lines και associativity 2. .

2.4 Μελέτη του RAS

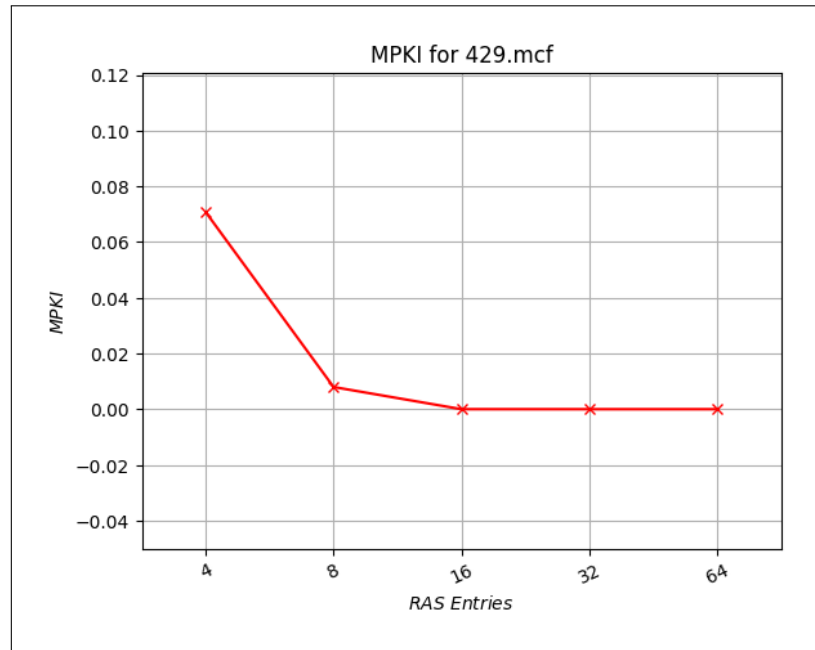
Στο σημείο αυτό μελετάμε την απόδοση του RAS για διαφορες τιμές entries.

Ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν και ο σχετικός σχολιασμός τους:

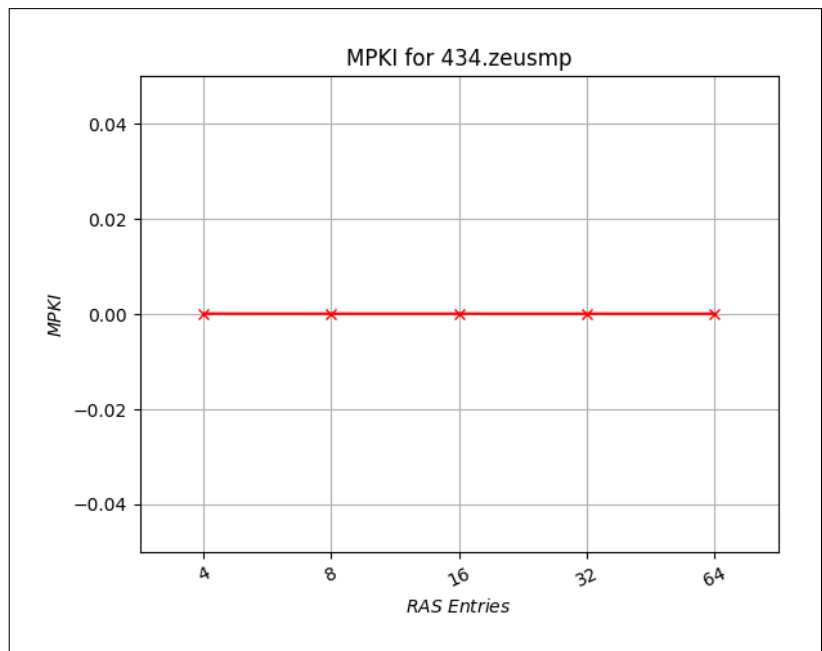
403-gcc



429-mcf

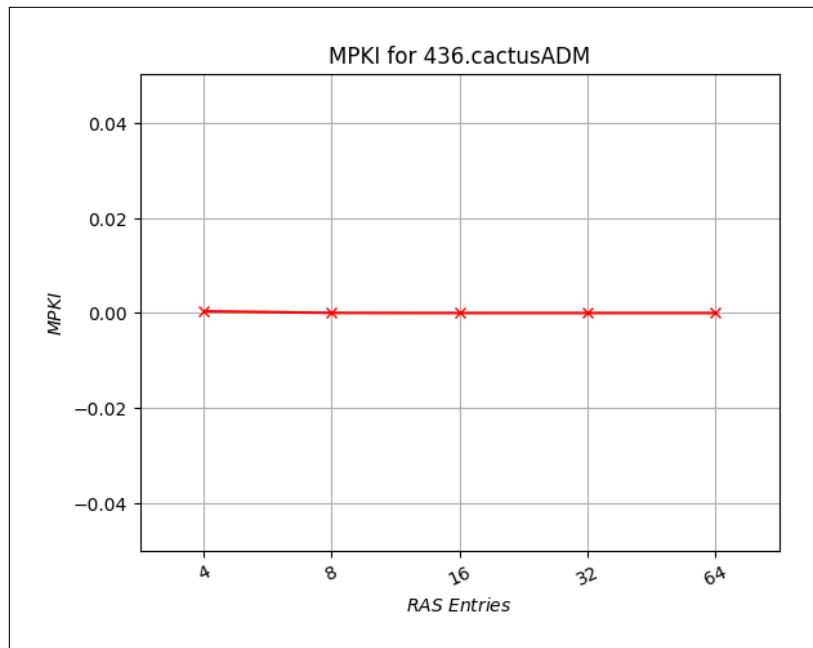


434-zeusmp

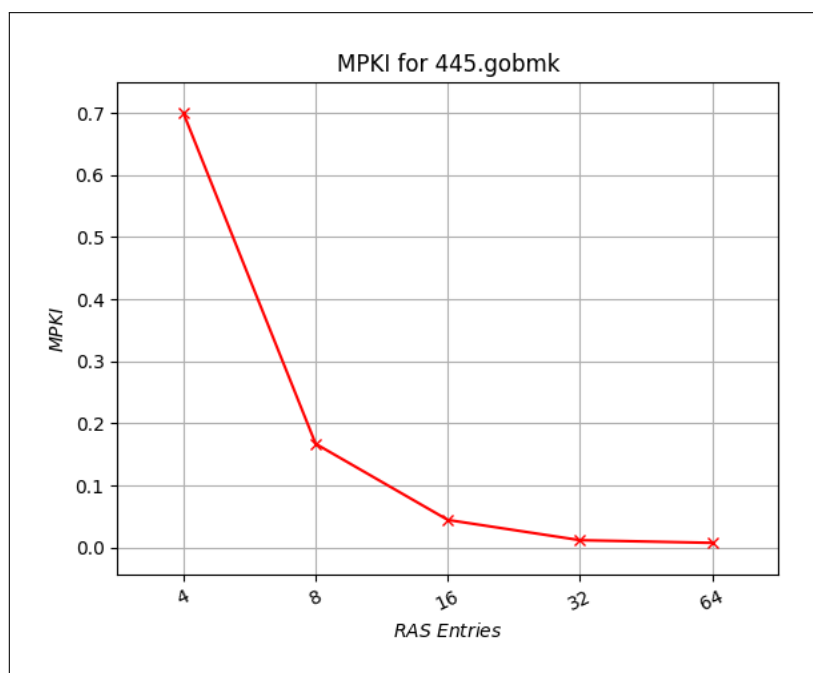


4

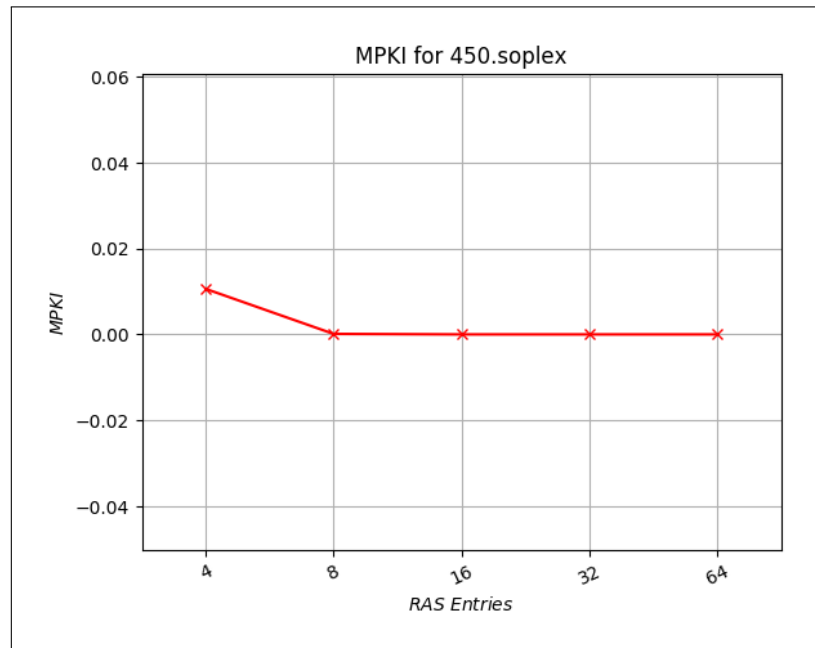
436-cactusADM



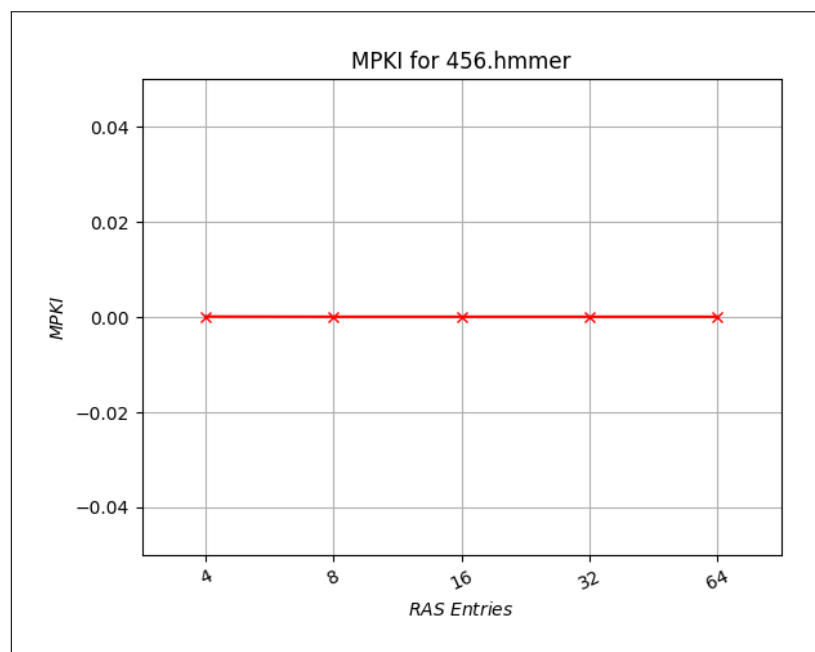
445-gobmk



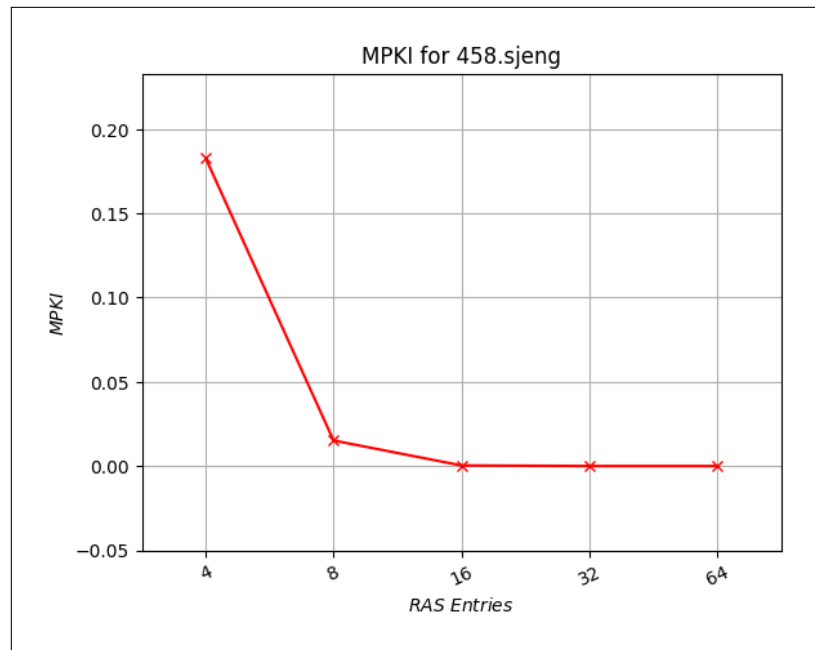
450-soplex



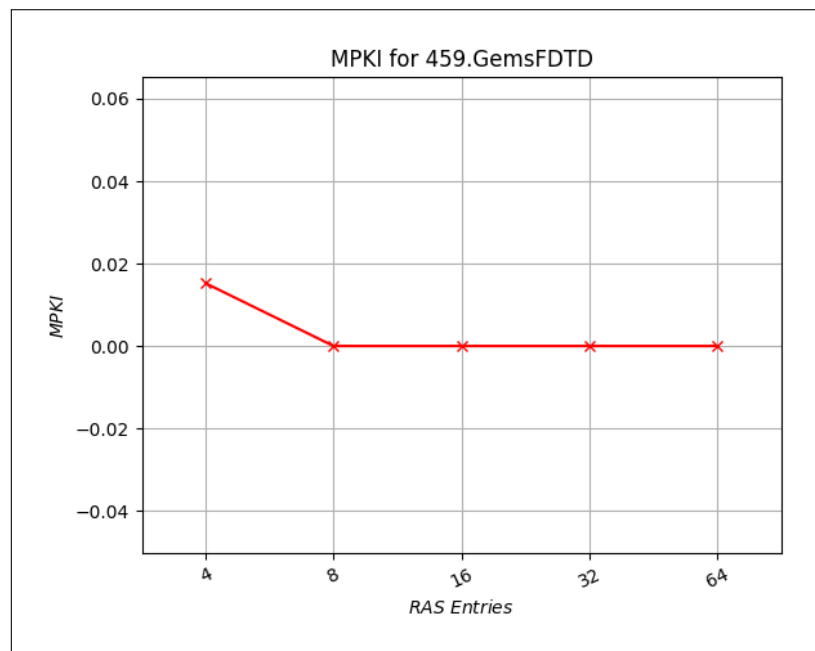
456-hmmer



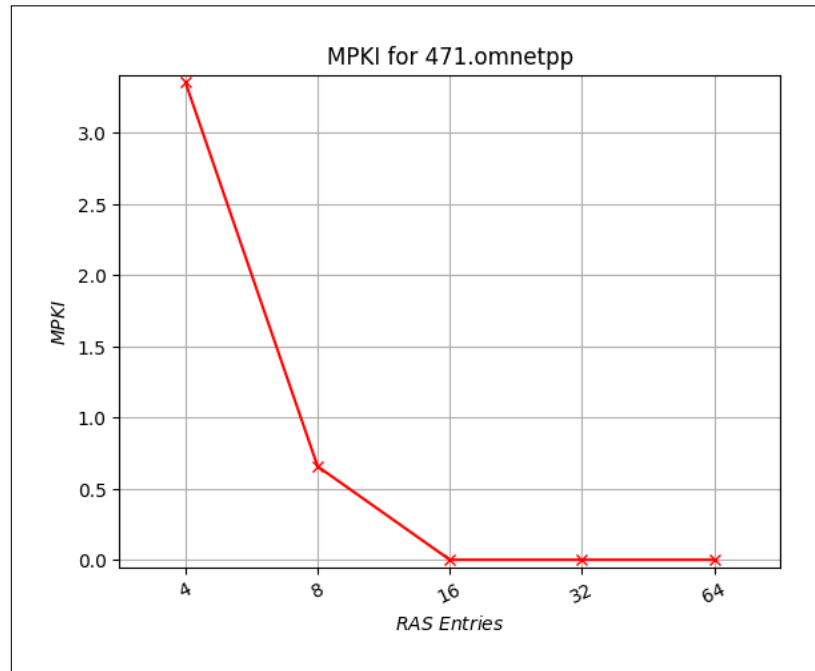
458-sjeng



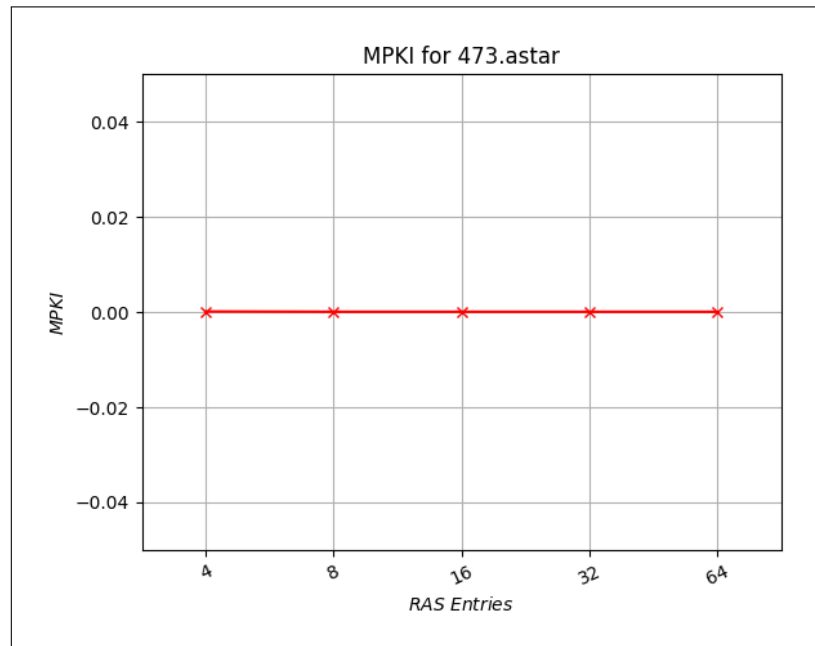
459-GemsFDTD



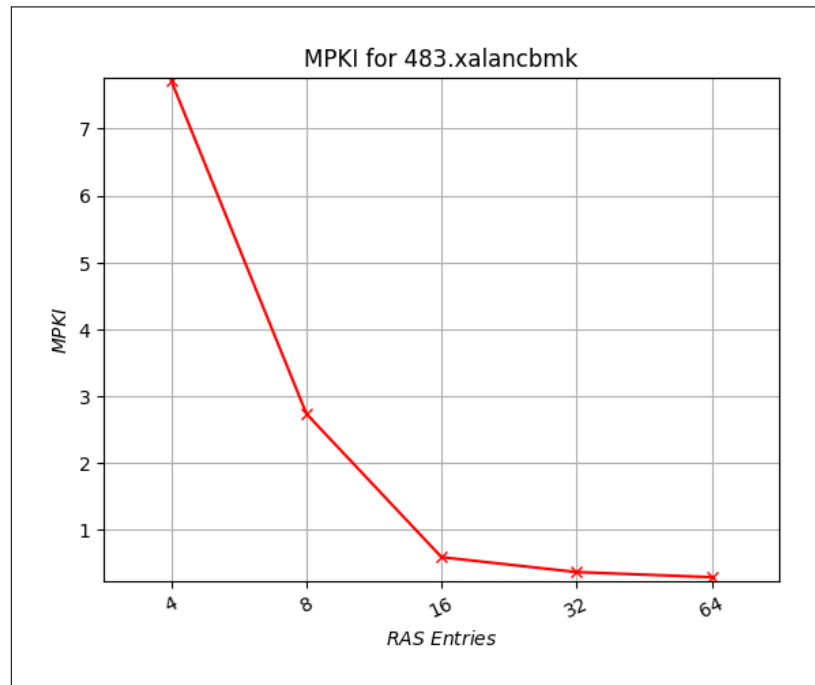
471-omnetpp



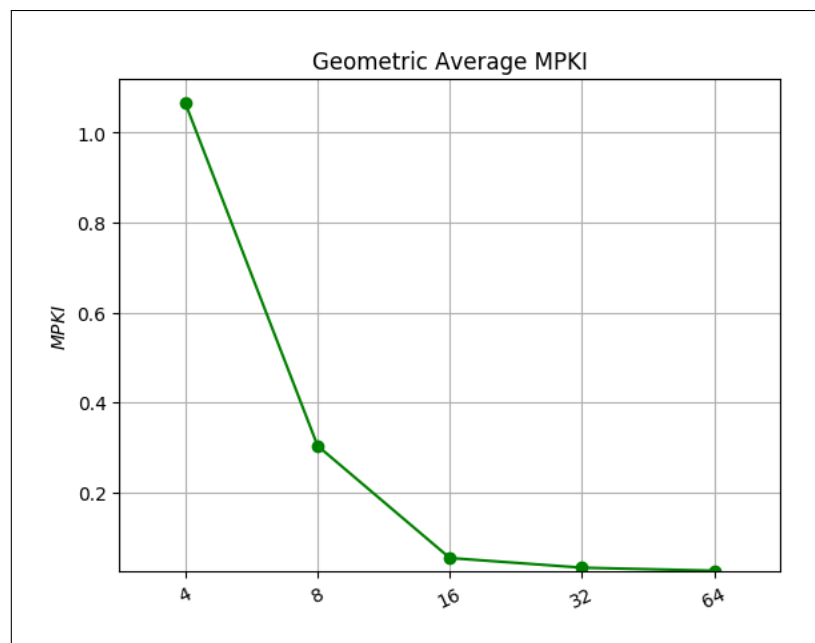
473-astar



483-xalancbmk



Geometric Average of MPKI



Συμπεράσματα-Σχόλια Για αριθμό εγγραφών στη RAS ίσο με 1, παρατηρούμε σε σχεδόν όλα τα benchmarks πολύ υψηλό MPKI. Μόλις το RAS κάνει χρήση 2 εγγραφών, είναι εμφανής η σημαντική μείωση του MPKI. Για μεταβολή από 2 σε 4 εγγραφές, παρατηρούμε και πάλι σχεδόν σε όλα τα μετρο-προγράμματα μείωση του MPKI, όπως είναι επιθυμητό. Για παραπάνω entries, τα MPKI μειώνονται μεν αλλά πλέον σχετικά λίγο, είτε παραμένουν σταθερά. Σε κάθε περίπτωση με την αύξηση των εγγραφών οδηγούμαστε σε βελτίωση της επίδοσης, ωστόσο από ένα σημείο και πέρα η περεταίρω αύξηση δεν έχει νόημα καθώς η επίδοση δεν βελτιώνονται δραστικά αναλογικά με την αύξηση του υλικού που πραγματοποιούμε.

Με βάση τα παραπάνω, οι επιλογή 16 ή 32 ή 64 εγγραφών είναι αρκετά καλή επιλογή. Αν λαμβάναμε υπ' όψιν και το κόστος του σχετικού υλικού, τότε ενδεχομένως να έπρεπε να περιοριστούμε στο ελάχιστο υλικό και άρα να επιλέξουμε 16 εγγραφές RAS.

Συνοπτικά, καλύτερη επιλογή είναι 16 εγγραφές στην RAS.

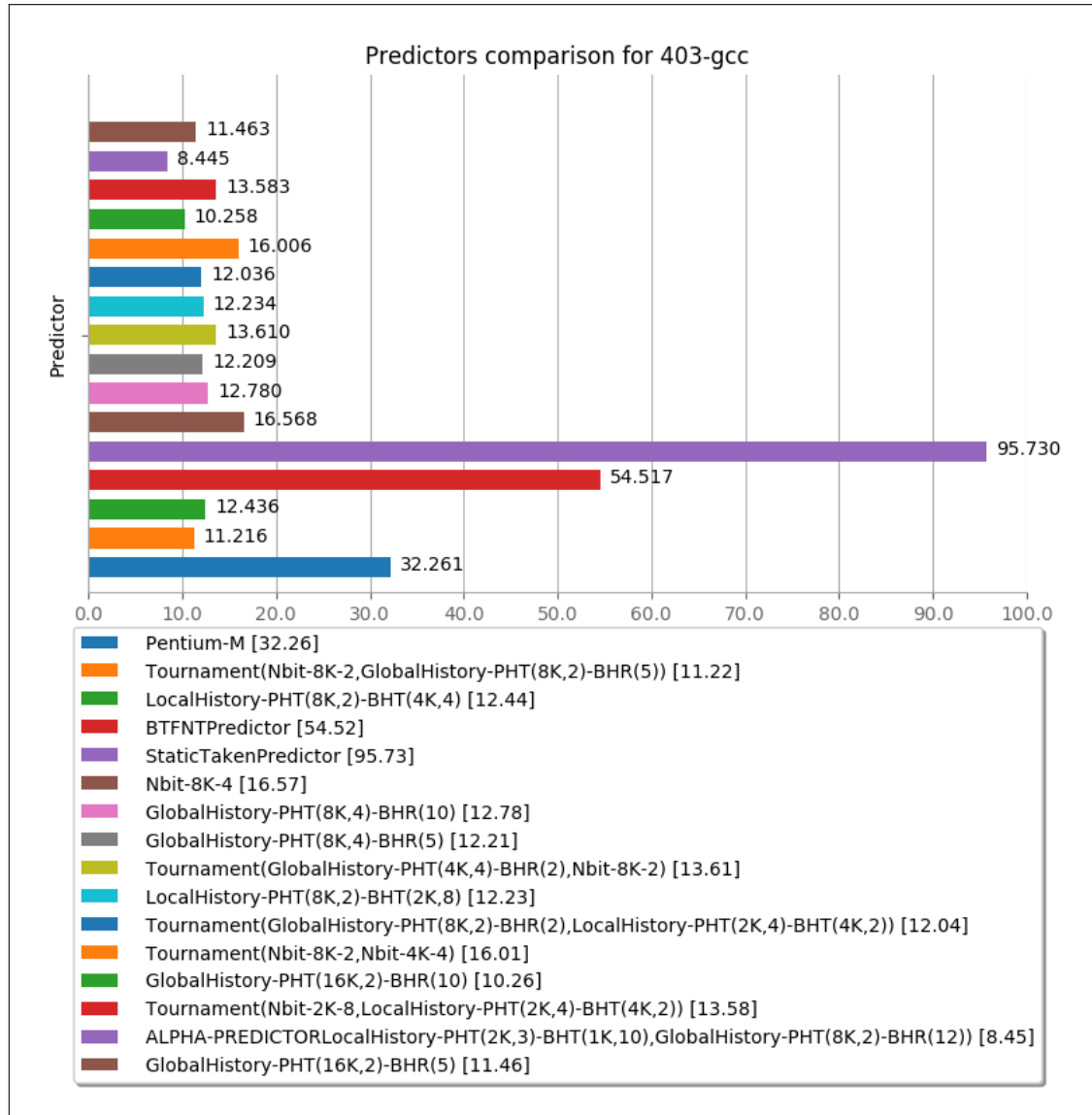
2.5 Μελέτη διαφορετικών Branch Predictors

Στο σημείο αυτό μελετάμε την απόδοση διαφορετικών predictors στο σύνολο των μετροπρογραμμάτων. Οι Predictors που συγκρίνονται είναι οι παρακάτω:

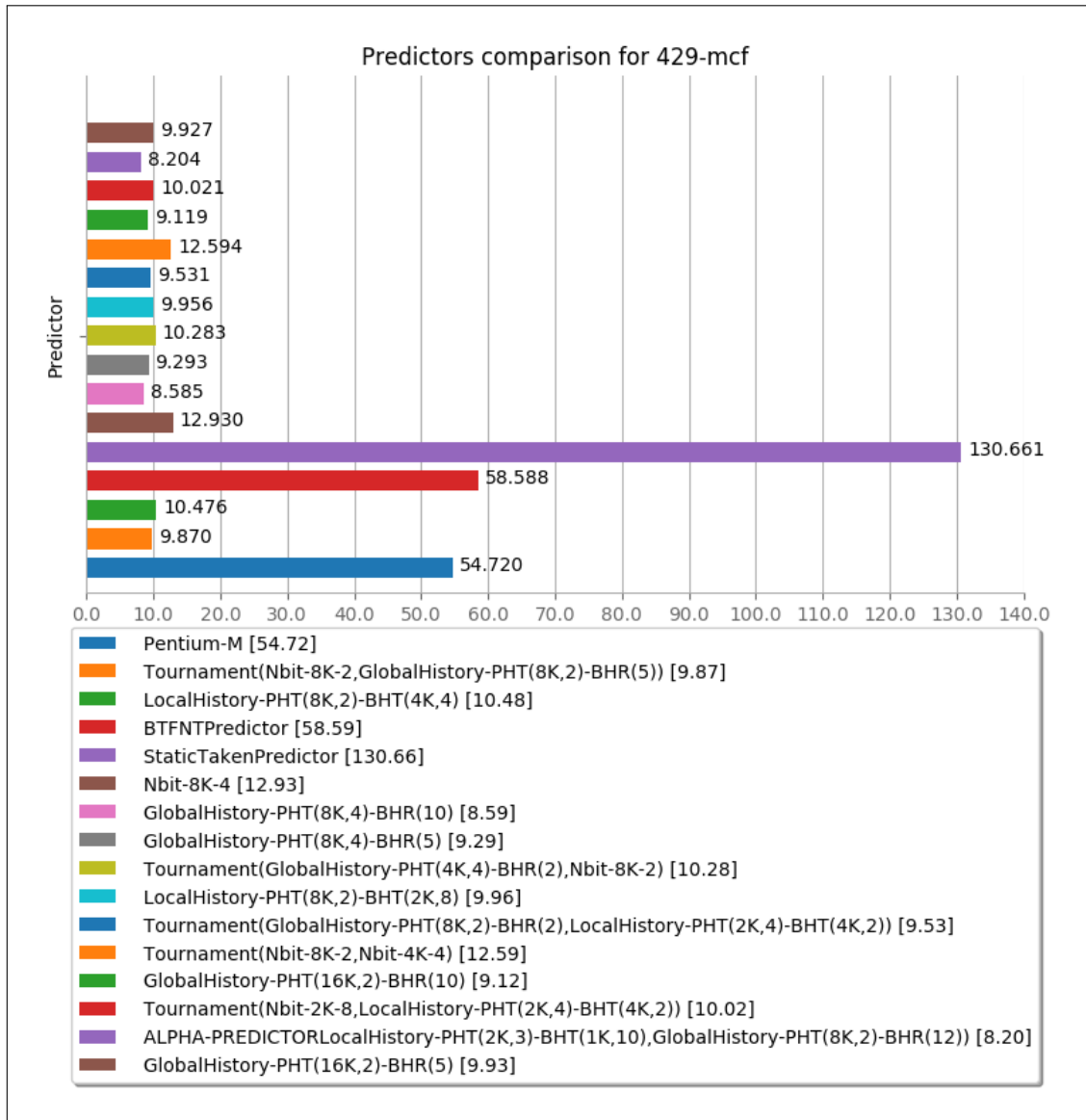
1. Static Taken Predictor
2. BTFNTPredictor
3. Pentium-M
4. Nbit-8K-4bit
5. LocalHistory-PHT(8K,2bit)-BHT(2K,8bit)
6. LocalHistory-PHT(8K,2bit)-BHT(4K,4bit)
7. GlobalHistory-PHT(16K,2bit)-BHR(5bit)
8. GlobalHistory-PHT(8K,4bit)-BHR(5bit)
9. GlobalHistory-PHT(8K,4bit)-BHR(10bit)
10. GlobalHistory-PHT(16K,2bit)-BHR(10bit)
11. Tournament(Nbit-8K-2bit, Nbit-4K-4bit)
12. Tournament(GlobalHistory-PHT(4K,4bit)-BHR(2bit), Nbit-8K-2bit)
13. Tournament(GlobalHistory-PHT(8K,2bit)-BHR(2bit),
LocalHistory-PHT(2K,4bit)-BHT(4K,2bit))
14. Tournament(Nbit-8K-2bit, GlobalHistory-PHT(8K,2bit)-BHR(5bit))
15. Tournament(Nbit-2K-8bit,
LocalHistory-PHT(2K,4bit)-BHT(4K,2bit))
16. ALPHA-PREDICTOR

Ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν και ο σχετικός σχολιασμός τους:

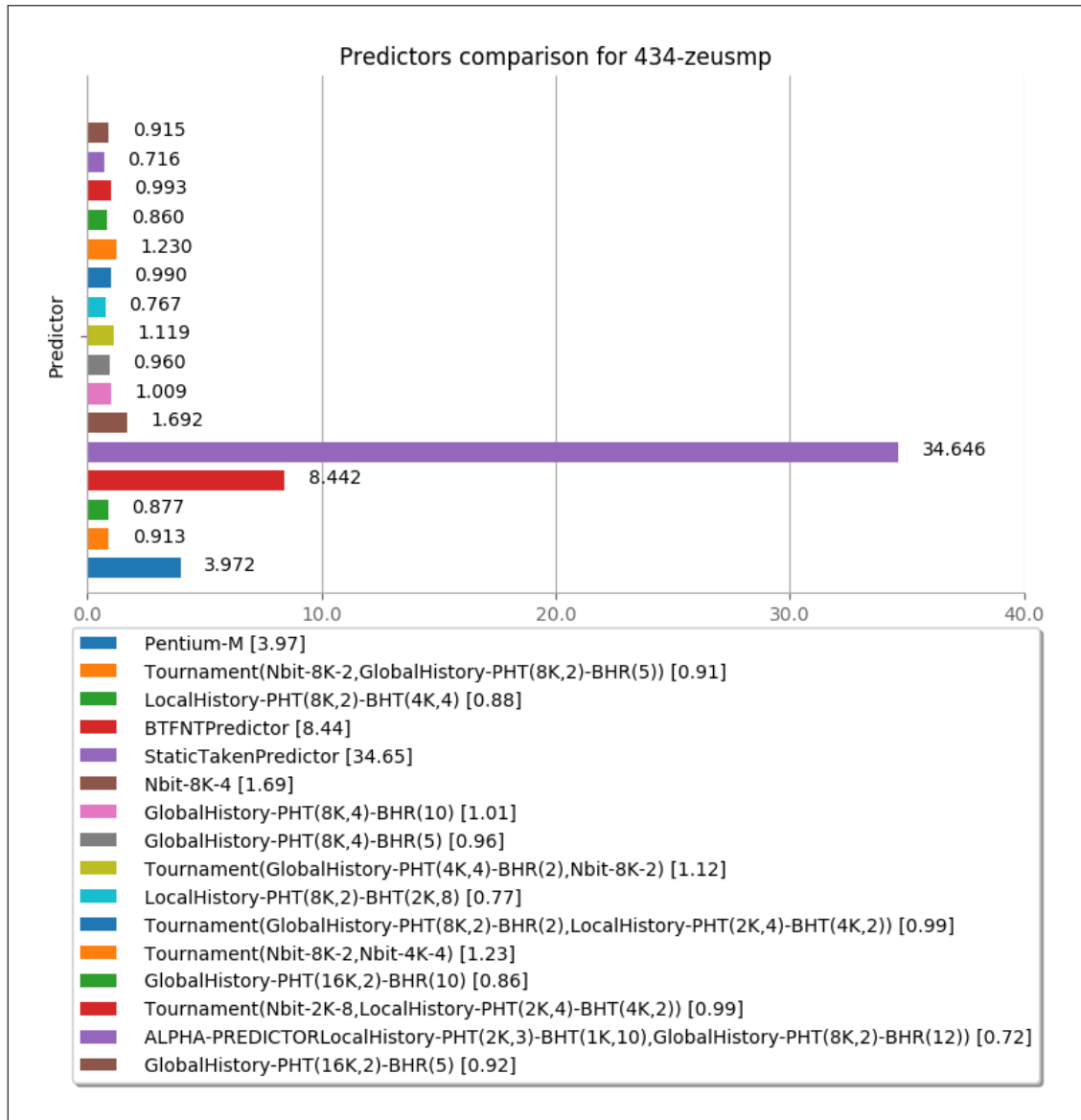
403-gcc



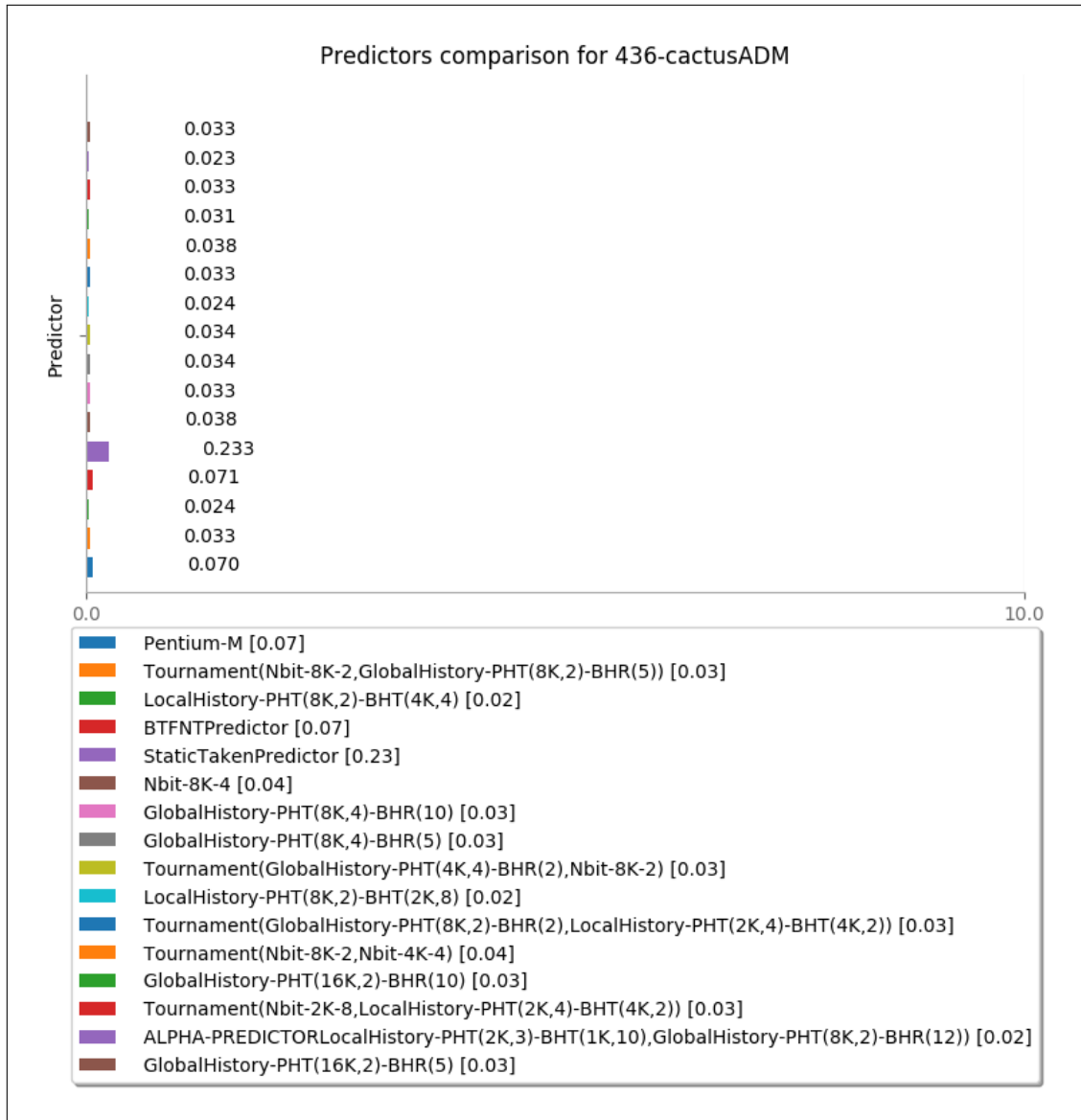
429-mcf



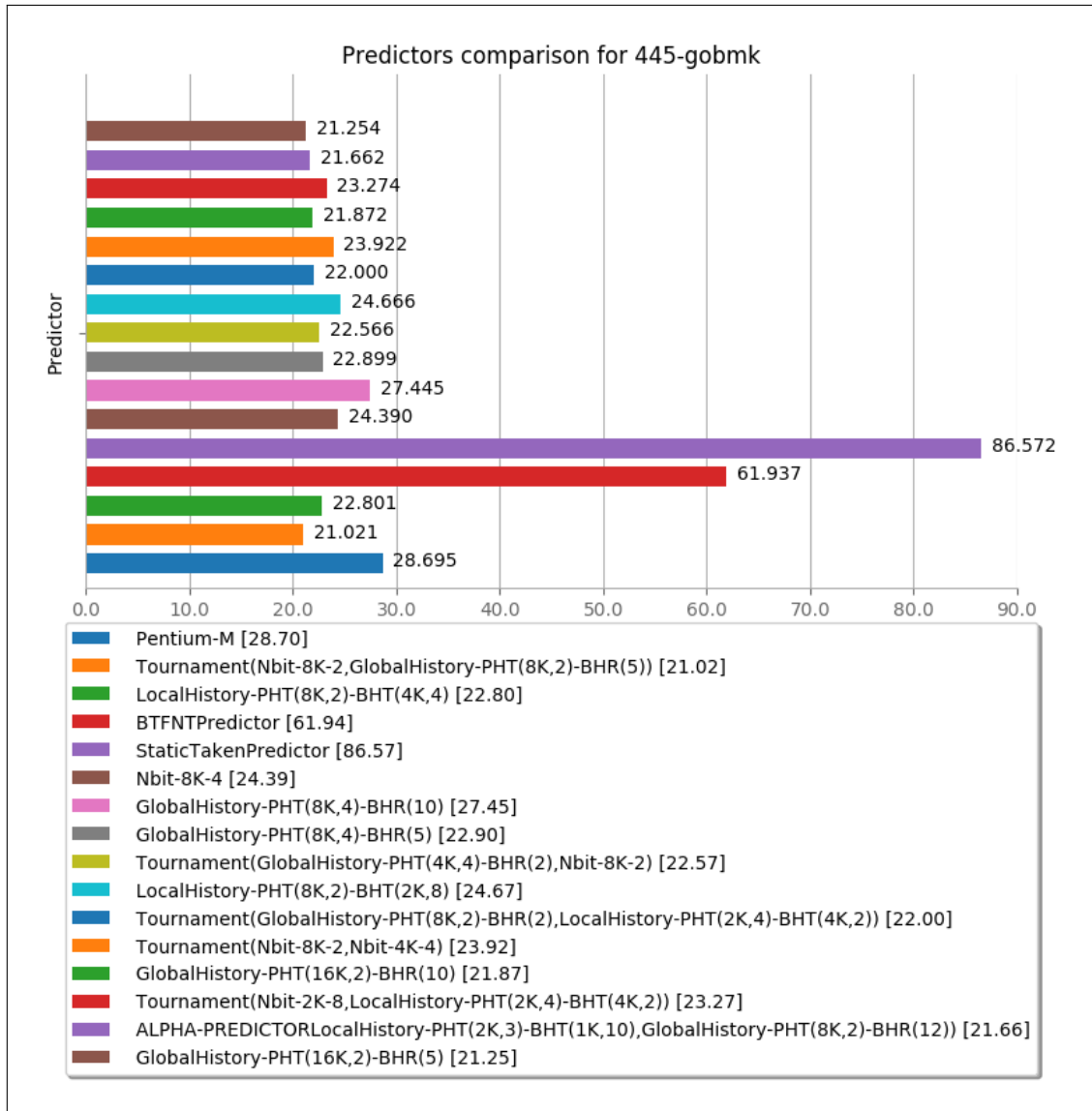
434-zeusmp



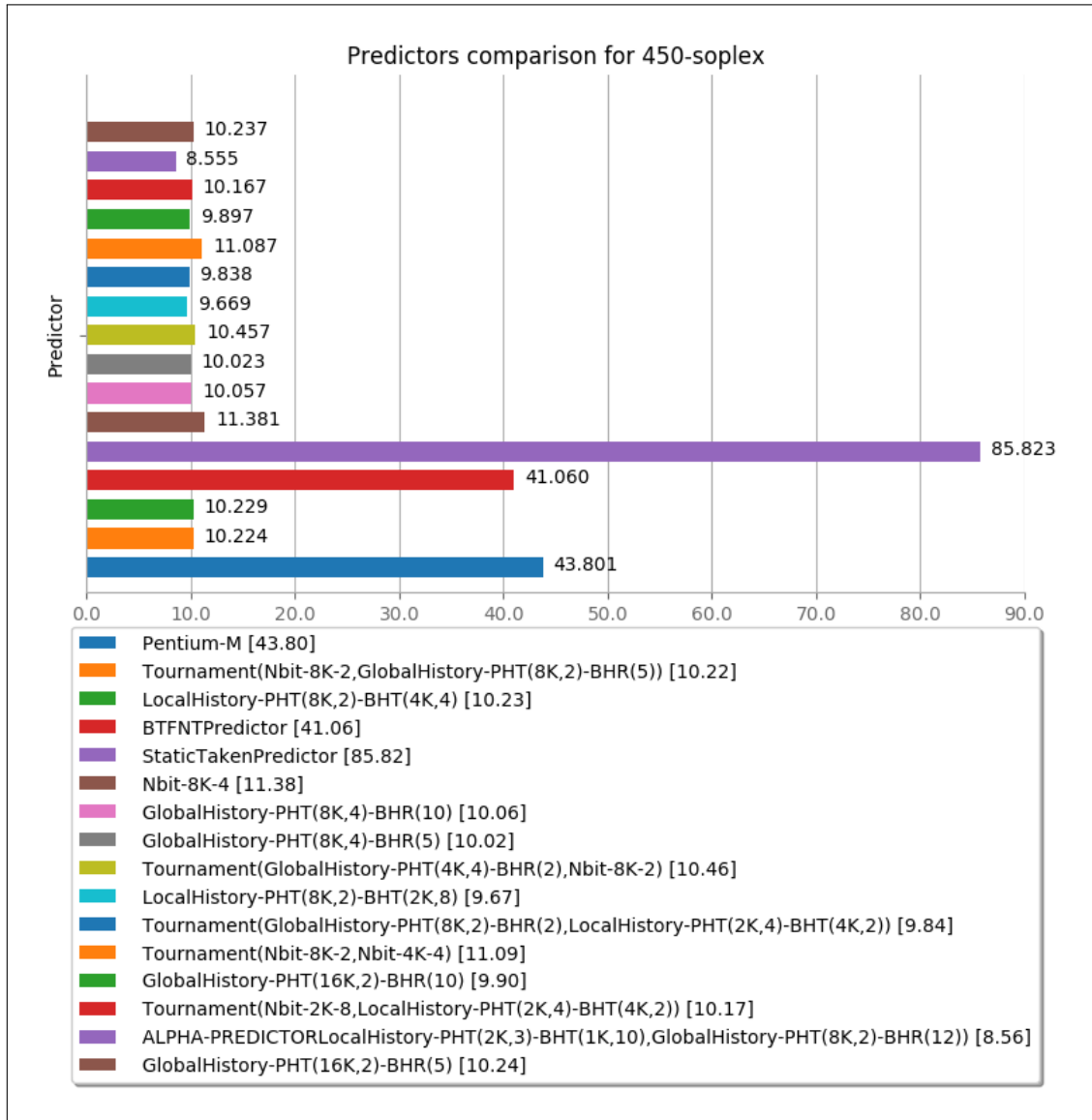
436-cactusADM



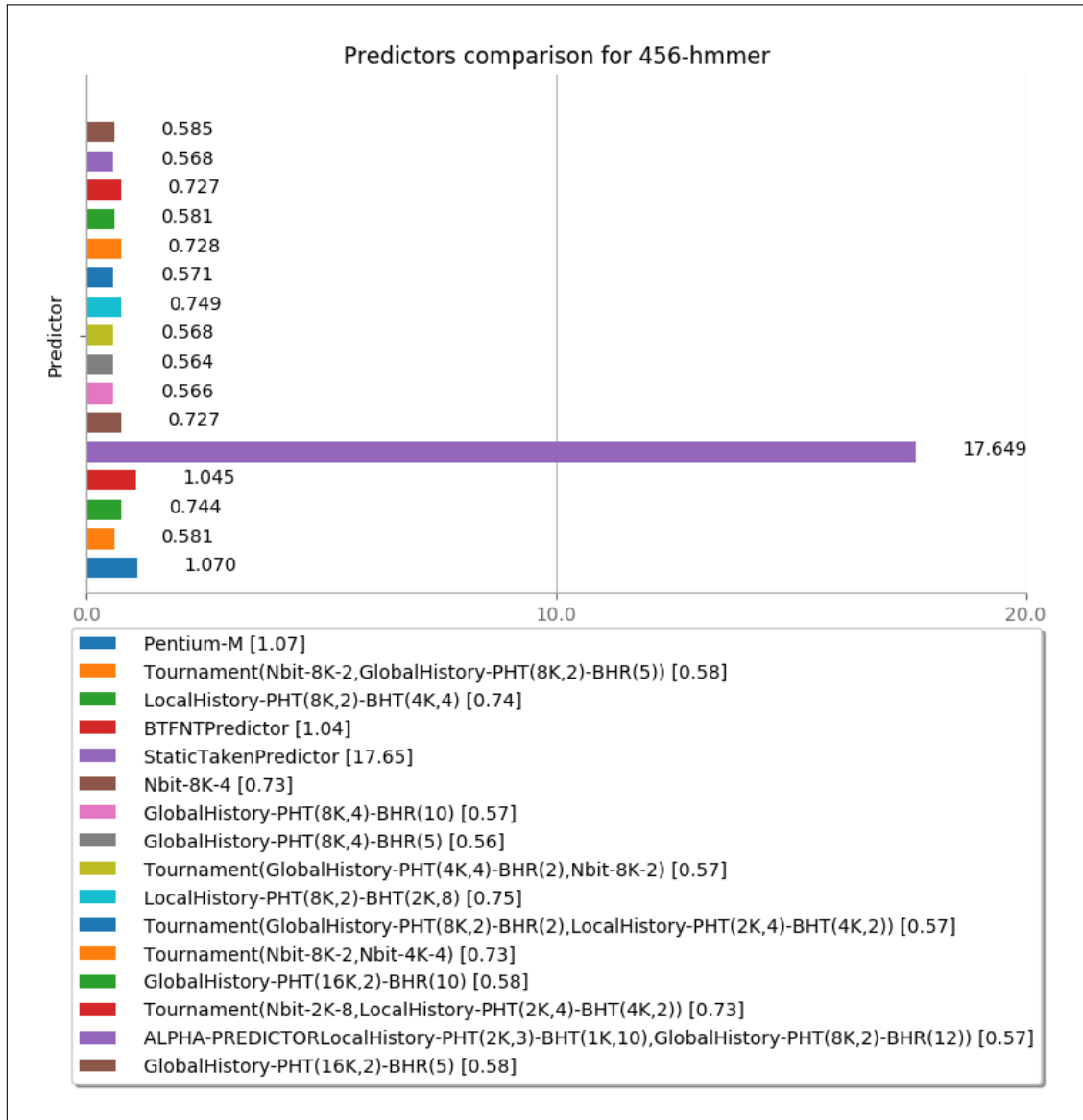
445-gobmk



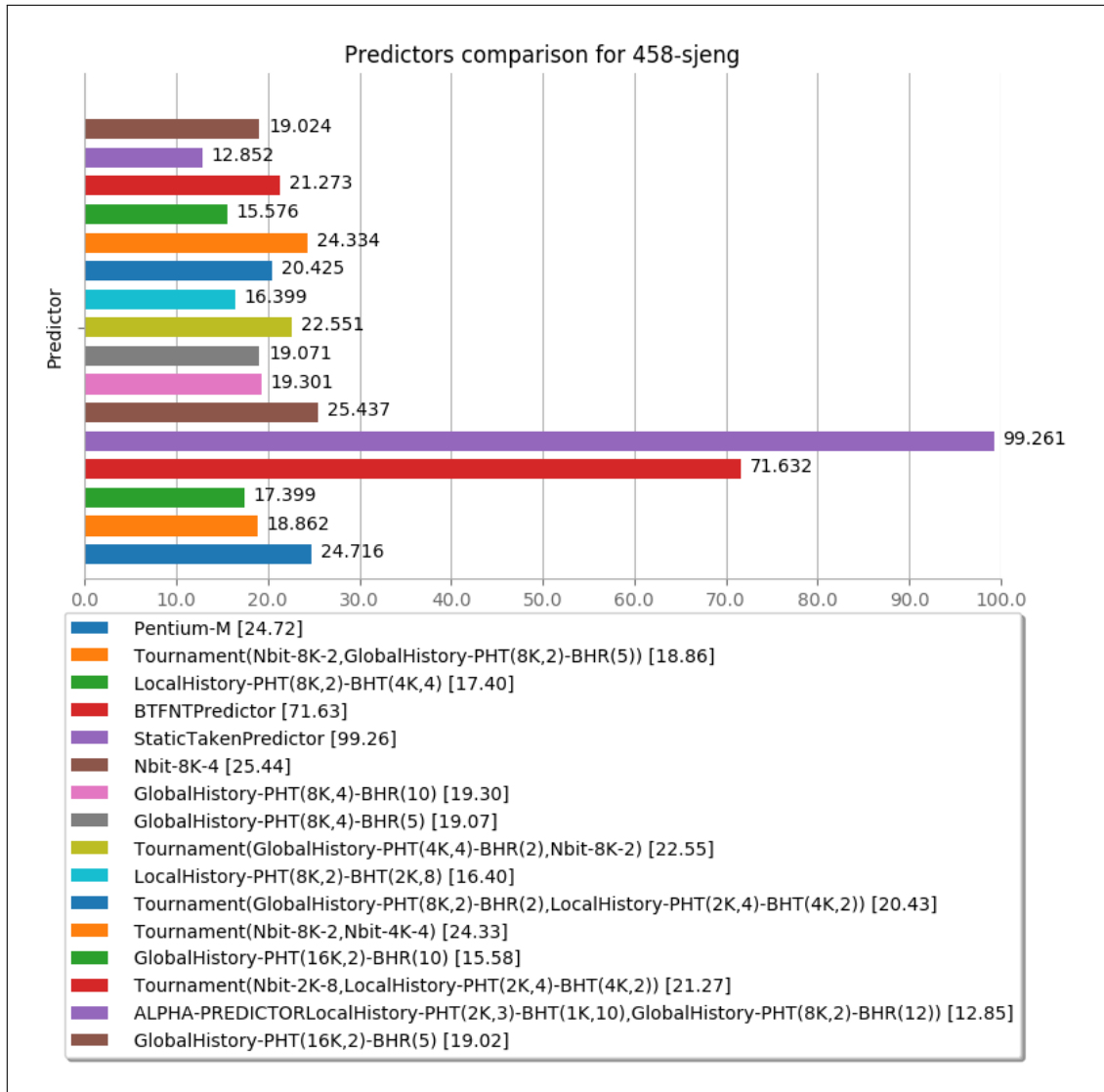
450-soplex



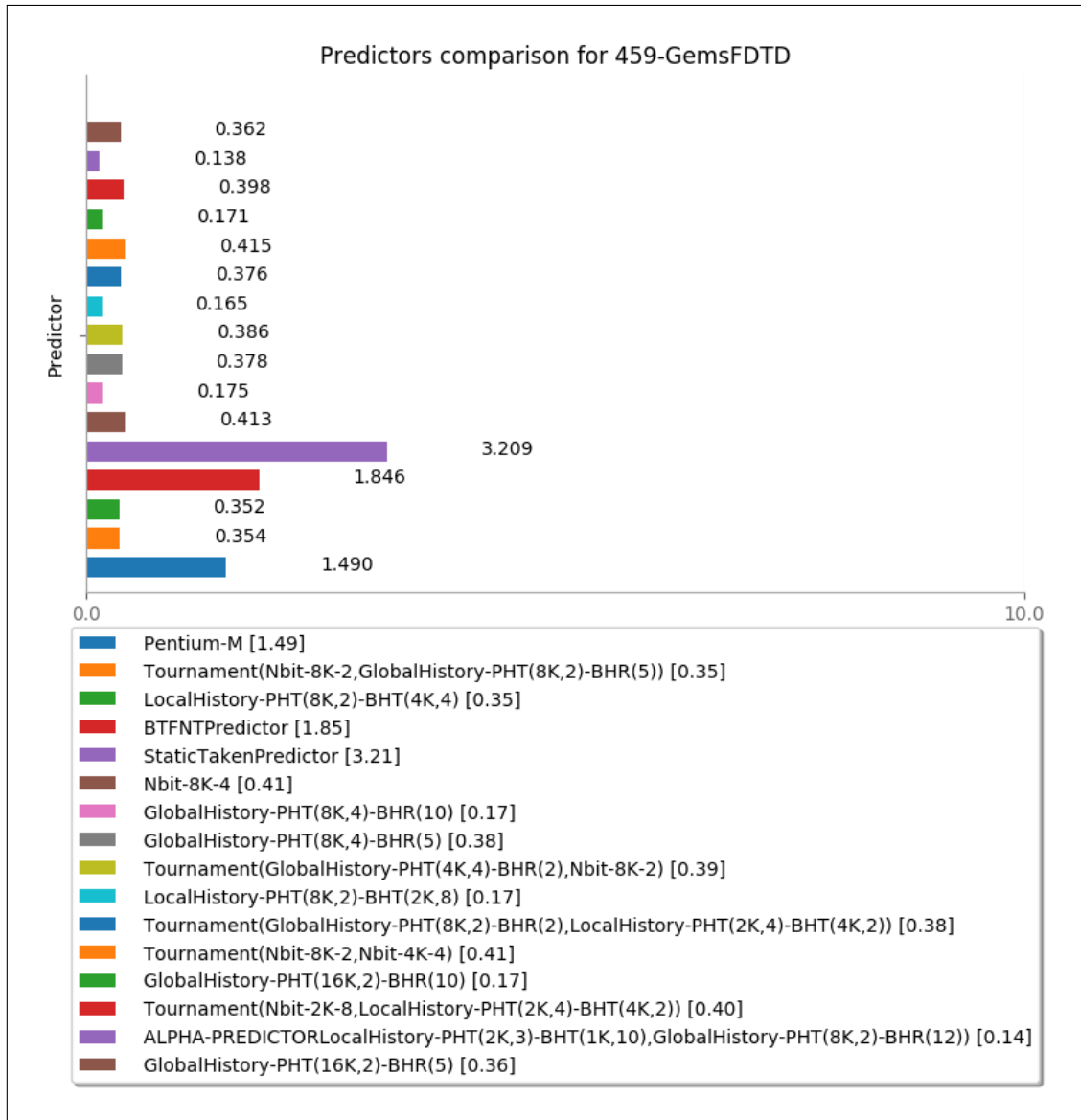
456-hmm



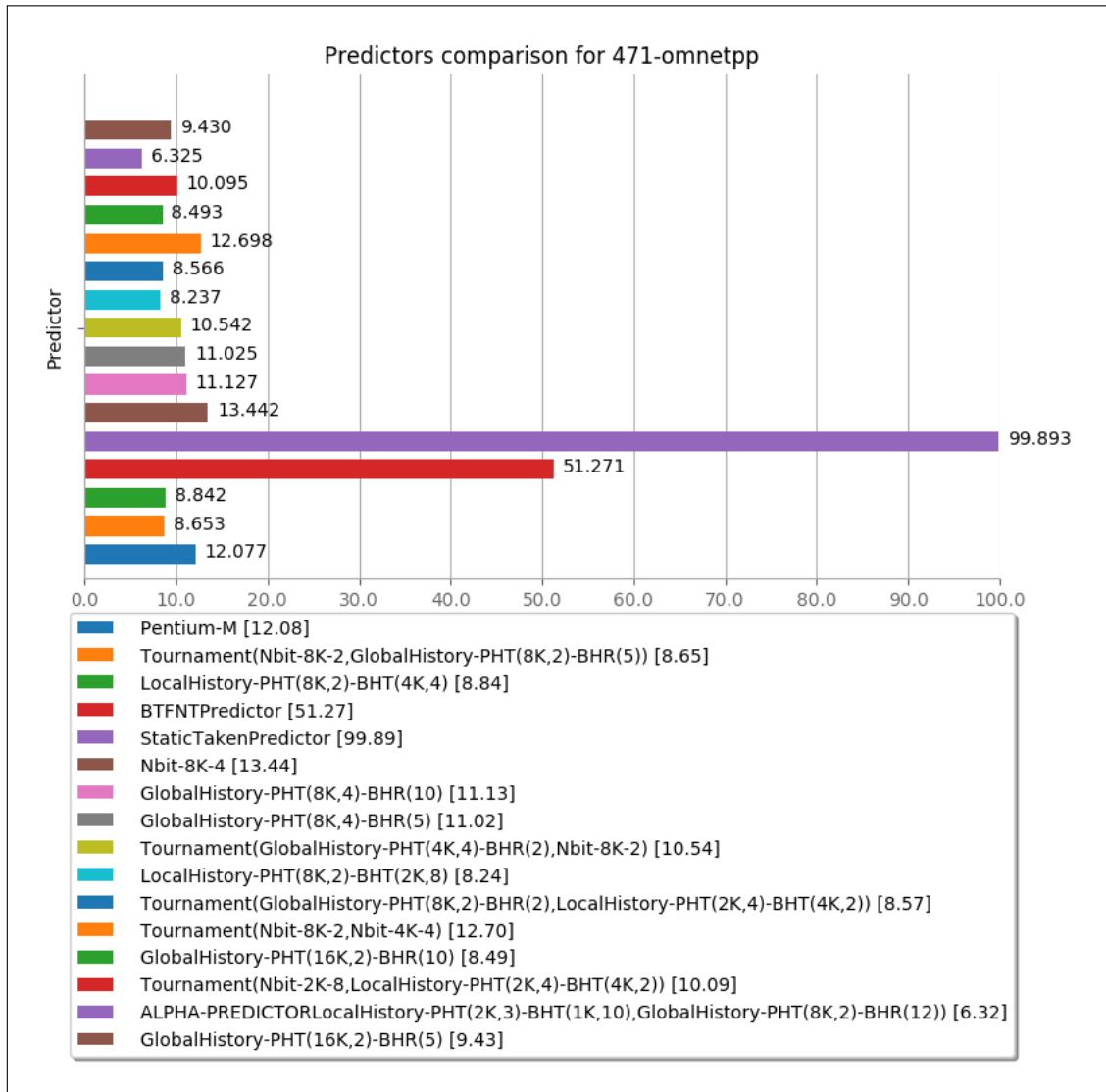
458-sjeng



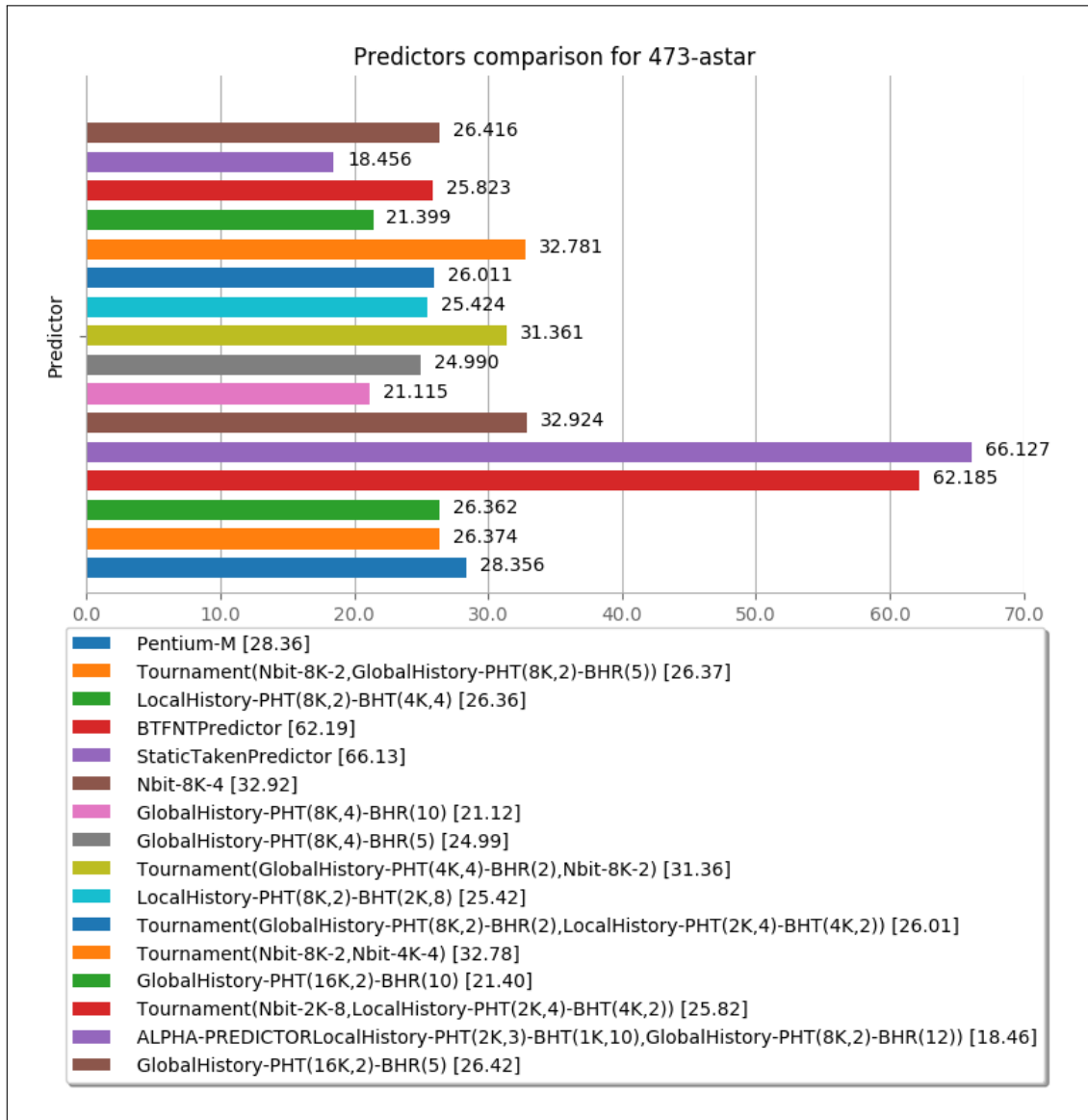
459-GemsFDTD



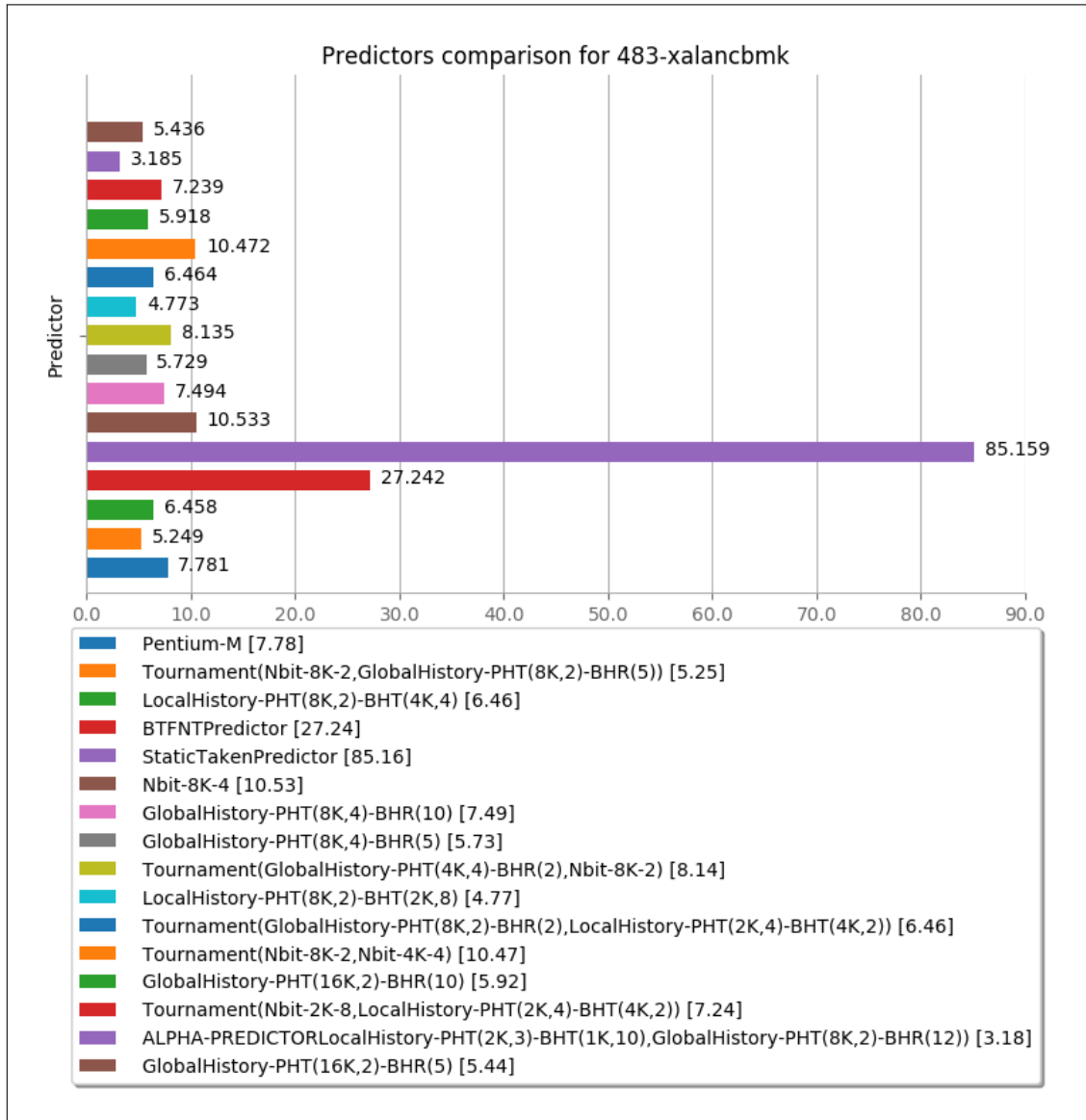
471-omnetpp



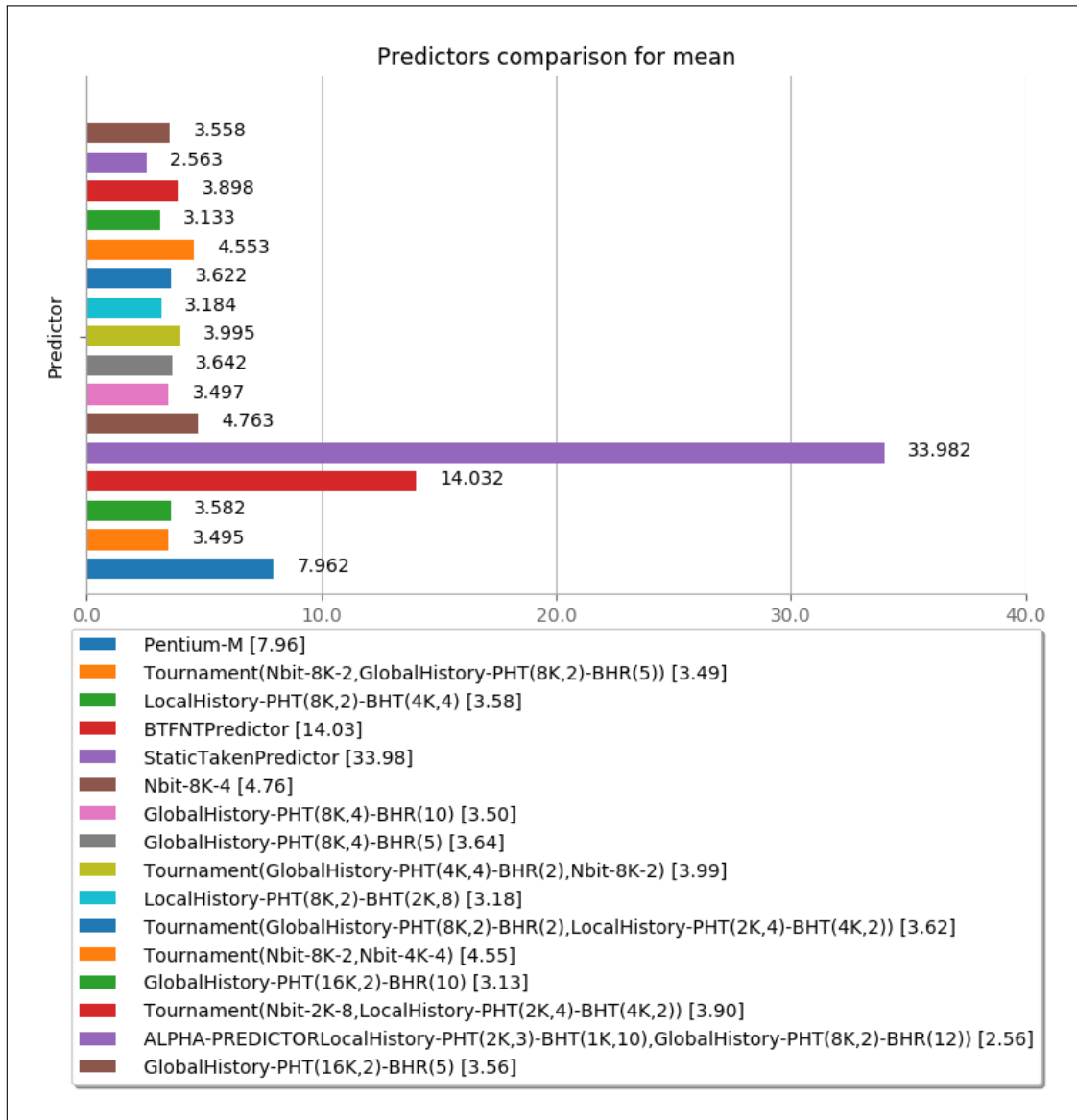
473-astar



483-xalancbmk



Geometric Average of MPKI



Συμπεράσματα-Σχόλια Για αριθμό εγγραφών στη RAS ίσο με 1, παρατηρούμε σε σχεδόν όλα τα benchmarks πολύ υψηλό MPKI. Μόλις το RAS κάνει χρήση 2 εγγραφών, είναι εμφανής η σημαντική μείωση του MPKI. Για μεταβολή από 2 σε 4 εγγραφές, παρατηρούμε και πάλι σχεδόν σε όλα τα μετρο-προγράμματα μείωση του MPKI, όπως είναι επιθυμητό. Για παραπάνω entries, τα MPKI μειώνονται μεν αλλά πλέον σχετικά λίγο, είτε παραμένουν σταθερά.

Σε κάθε περίπτωση με την αύξηση των εγγραφών οδηγούμαστε σε βελτίωση της επίδοσης, ωστόσο από ένα σημείο και πέρα η περεταίρω αύξηση δεν έχει νόημα καθώς η επίδοση δεν βελτιώνονται δραστικά αναλογικά με την αύξηση του υλικού που πραγματοποιούμε.

Με βάση τα παραπάνω, οι επιλογή 16 ή 32 ή 64 εγγραφών είναι αρκετά καλή επιλογή. Αν λαμβάναμε υπ' όψιν και το κόστος του σχετικού υλικού, τότε ενδεχομένως να έπρεπε να περιοριστούμε στο ελάχιστο υλικό και άρα να επιλέξουμε 16 εγγραφές RAS.

Συνοπτικά, καλύτερη επιλογή είναι 16 εγγραφές στην RAS.