

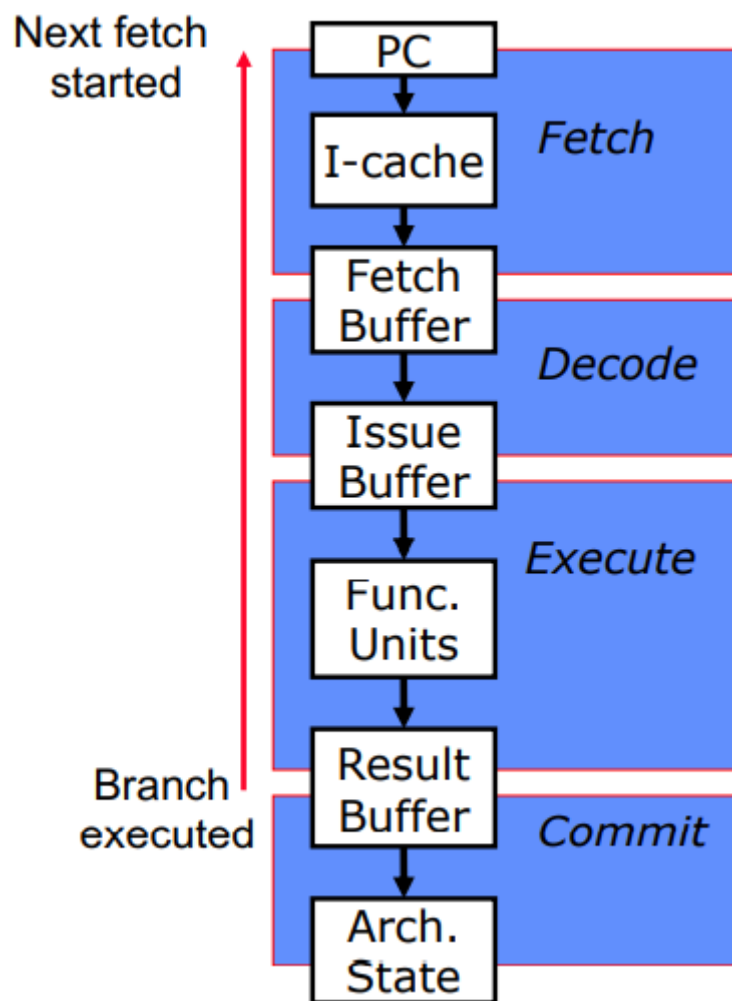
Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Προηγμένα Θέματα Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών – 8ο Εξάμηνο
2η Άσκηση – Ακ. Έτος 2021-2022

Κυριακόπουλος Γεώργιος – el18153

Εισαγωγή

Η άσκηση ασχολείται με την πρόβλεψη εντολών άλματος. Χρησιμοποιείται το πρόγραμμα PIN για να μετεληθούν και να αξιολογηθούν διάφορα τέτοια συστήματα, με βάση 14 από τα SPEC_CPU2006 benchmarks (403.gcc, 429.mcf, 434.zeusmp, 436.cactusADM, 445.gobmk, 450.soplex, 456.hmmer, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 462.libquantum, 470.lbm, 471.omnetpp, 473.astar, 483.xalancbmk) και το εργαλείο PINTOOL για την προσομοίωση του περιβάλλοντος.

Αρχικά, συλλέγονται στατιστικά για τις εντολές άλματος που εκτελούνται από τα benchmarks, ενώ στη συνέχεια αξιολογείται η απόδοση διαφόρων predictors, μεταξύ των οποίων οι N-bits predictors, BTB, Pentium-M, Local-History, Global-History, Alpha, Tournament Hybrid.



1ο ζητούμενο

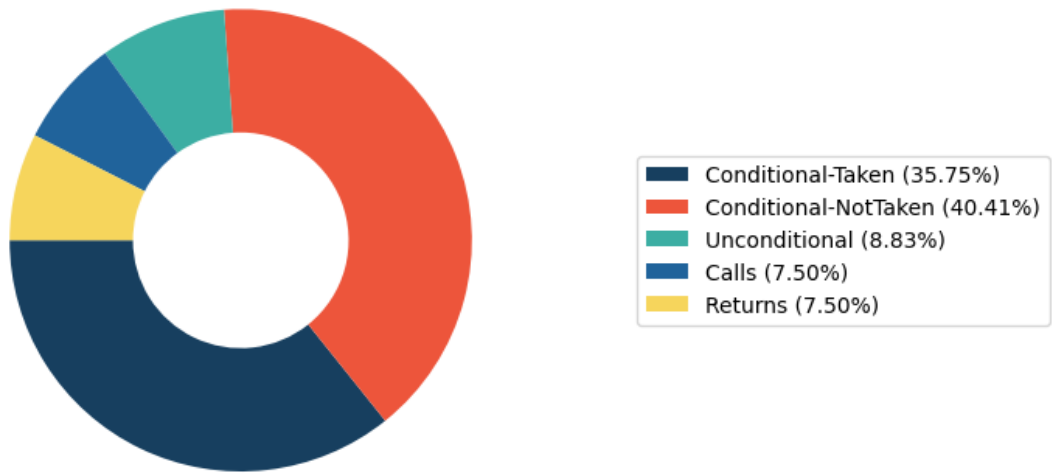
Μελέτη εντολών άλματος

Για αυτό το ζητούμενο συλλέγουμε απλά στατιστικά για τις εντολές άλματος που εκτελούνται από τα διάφορα benchmarks και για τα διάφορα ποσοστά των κατηγοριών αυτών.

Ακολουθούν τα διαγράμματα που προκύπτουν, ένα για κάθε benchmark.

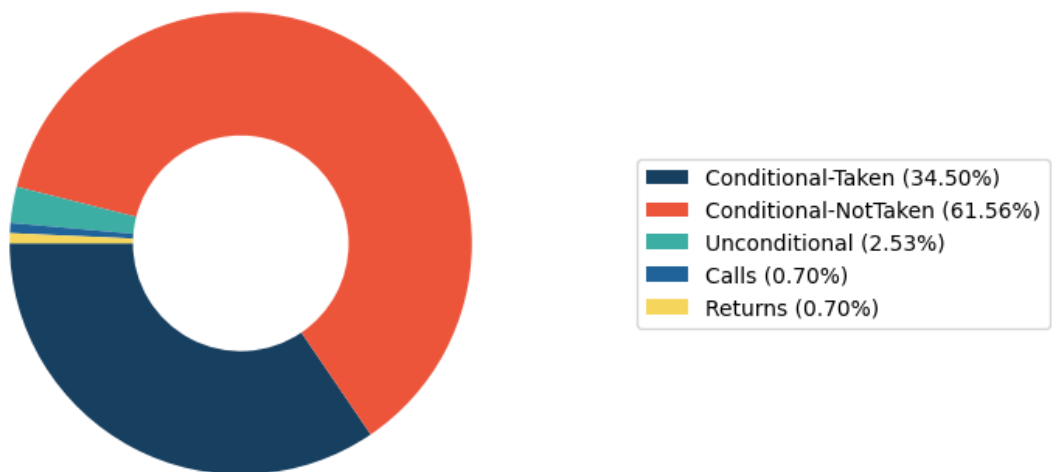
403.gcc

Total Branches: 754238595 - 23.69% of total instructions



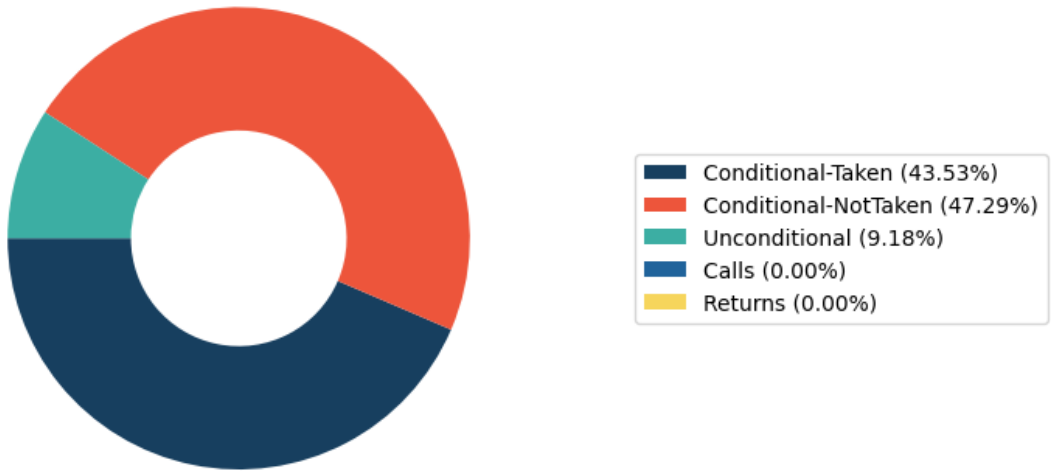
429.mcf

Total Branches: 3862679753 - 21.22% of total instructions



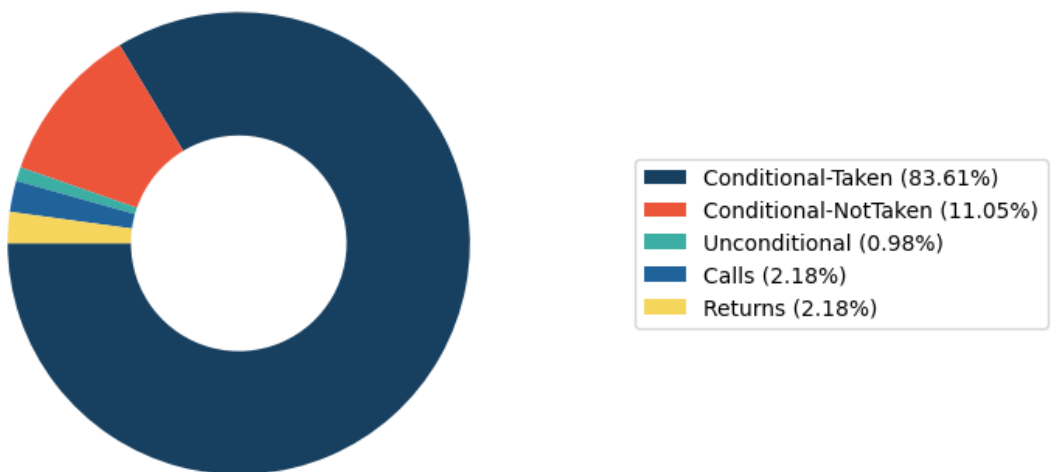
434.zeusmp

Total Branches: 7550194746 - 7.33% of total instructions



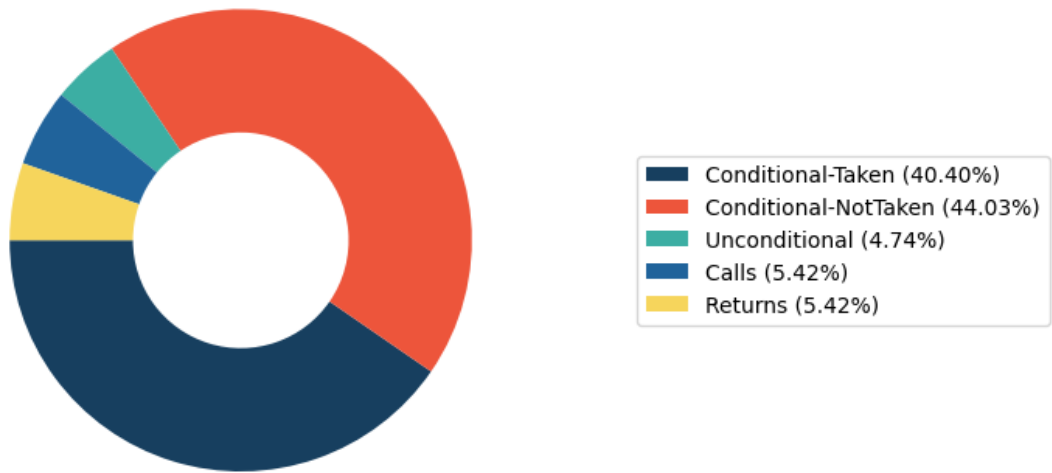
436.cactusADM

Total Branches: 170181936 - 0.21% of total instructions



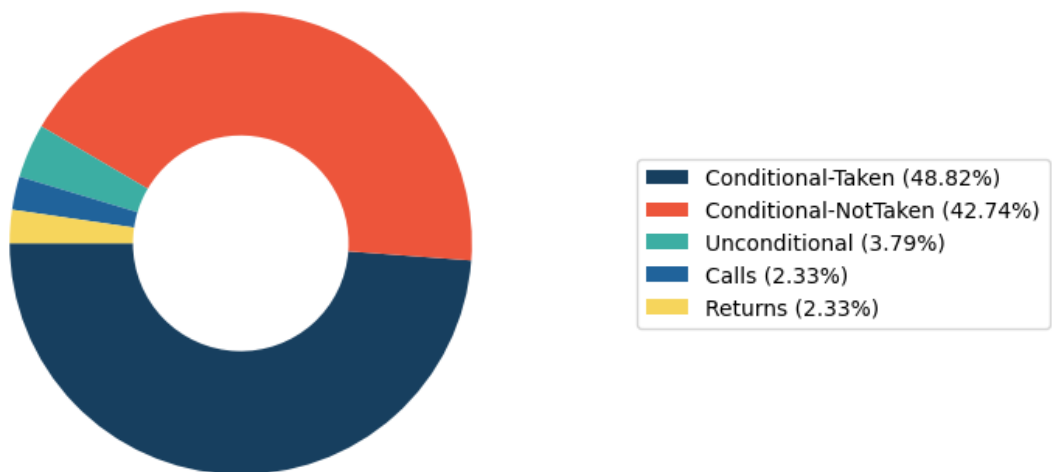
445.gobmk

Total Branches: 3463153733 - 19.66% of total instructions



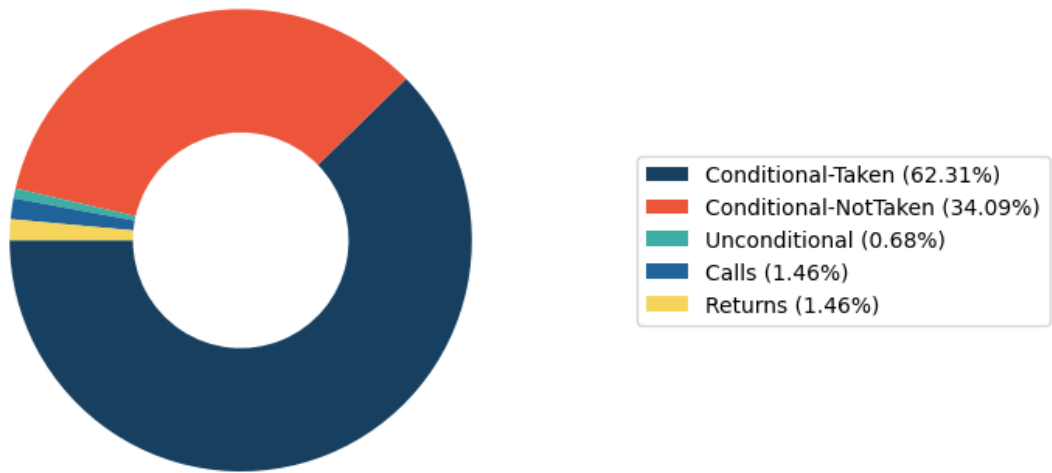
450.soplex

Total Branches: 1818261401 - 20.08% of total instructions



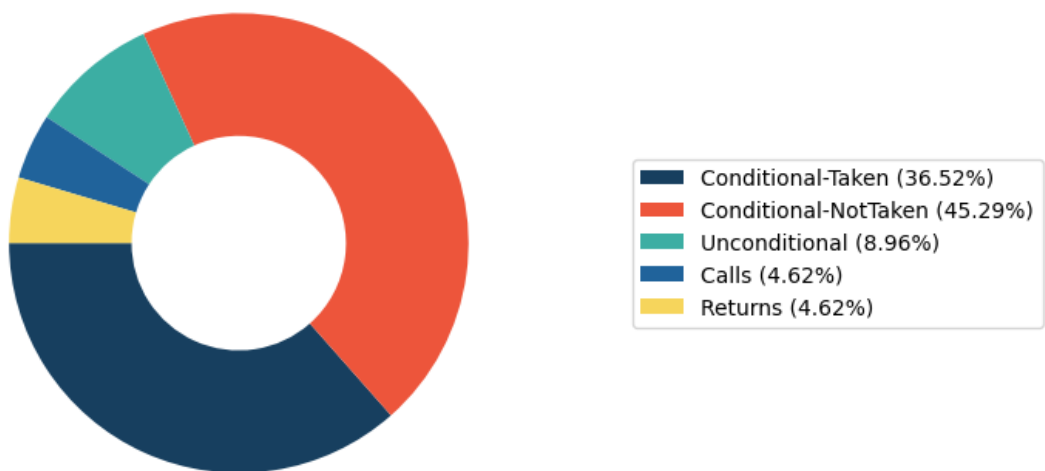
456.hmmer

Total Branches: 13914171832 - 5.18% of total instructions



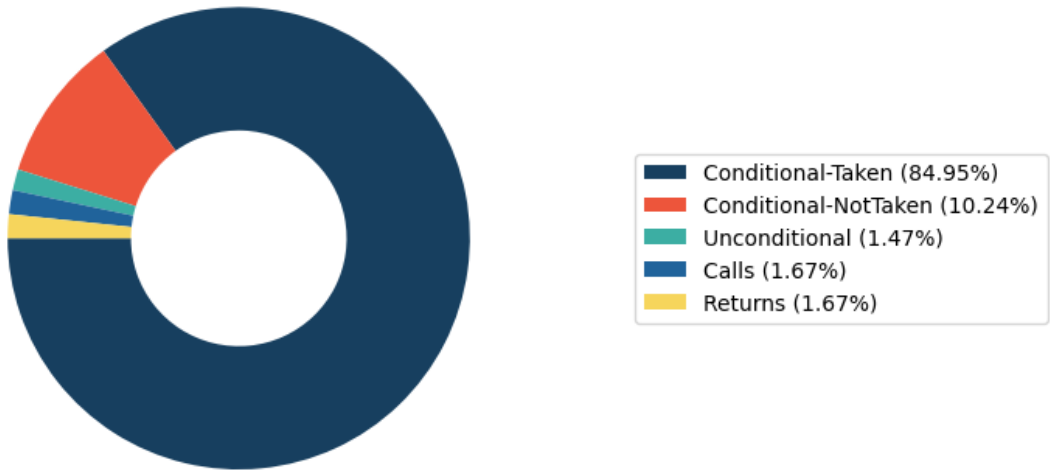
458.sjeng

Total Branches: 100333242498 - 21.92% of total instructions



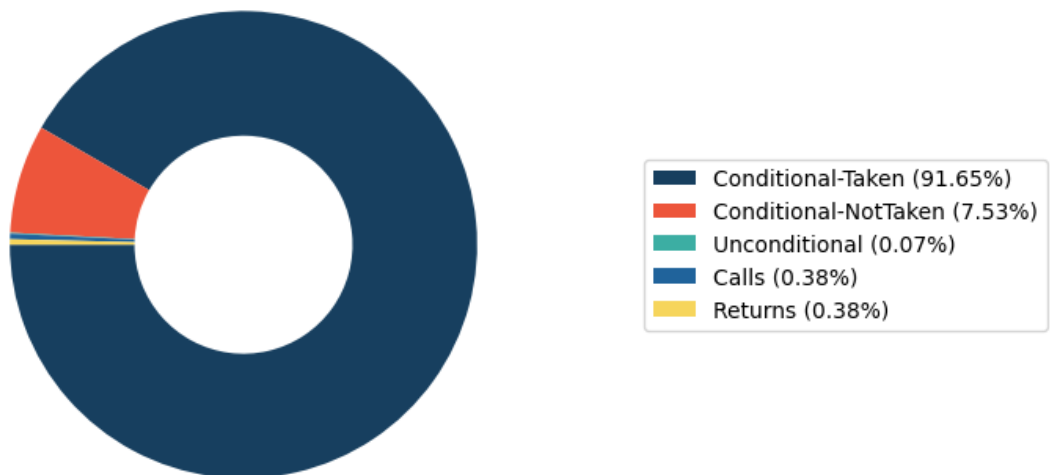
459.GemsFDTD

Total Branches: 3407994873 - 3.13% of total instructions



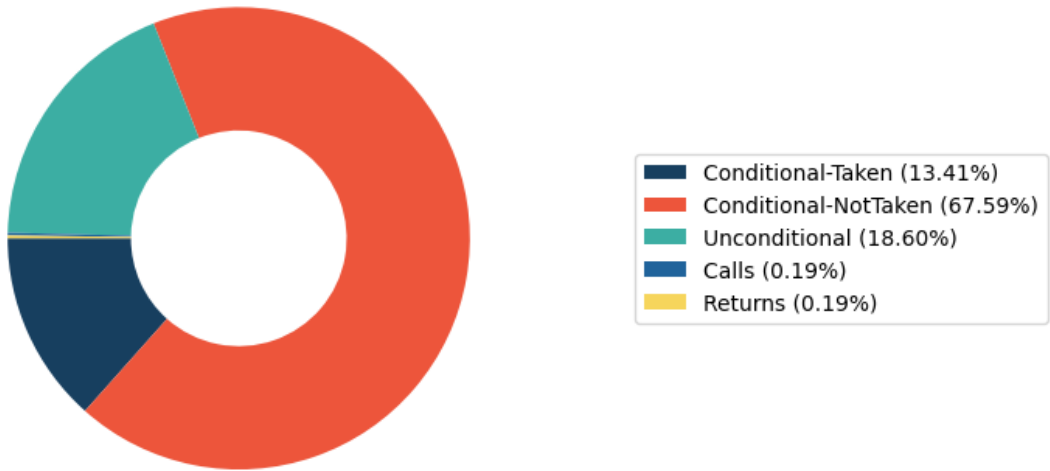
462.libquantum

Total Branches: 2158567279 - 23.99% of total instructions



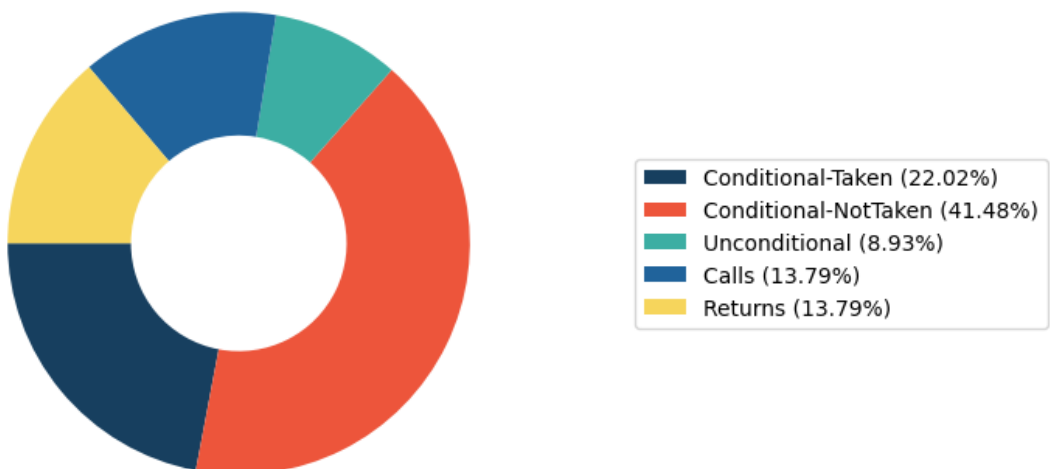
470.ibm

Total Branches: 1354362585 - 1.47% of total instructions



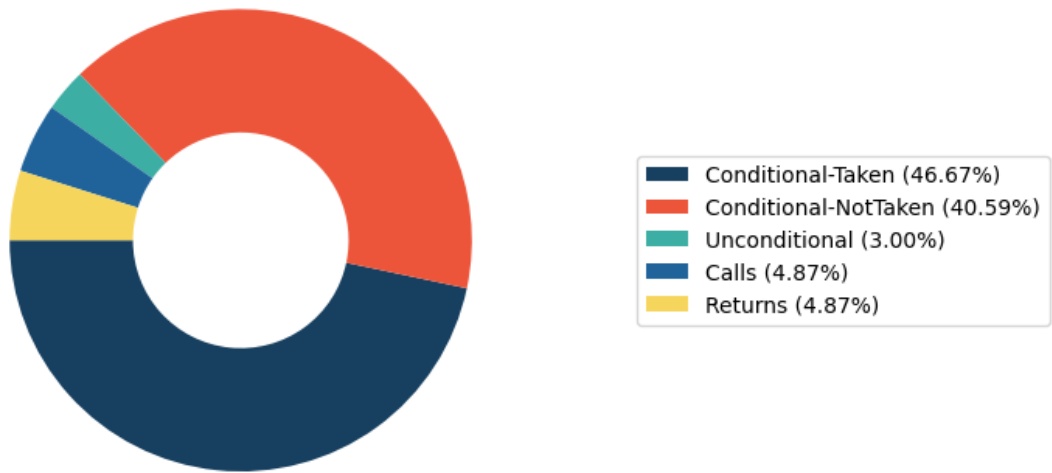
471.omnetpp

Total Branches: 51068195082 - 24.05% of total instructions



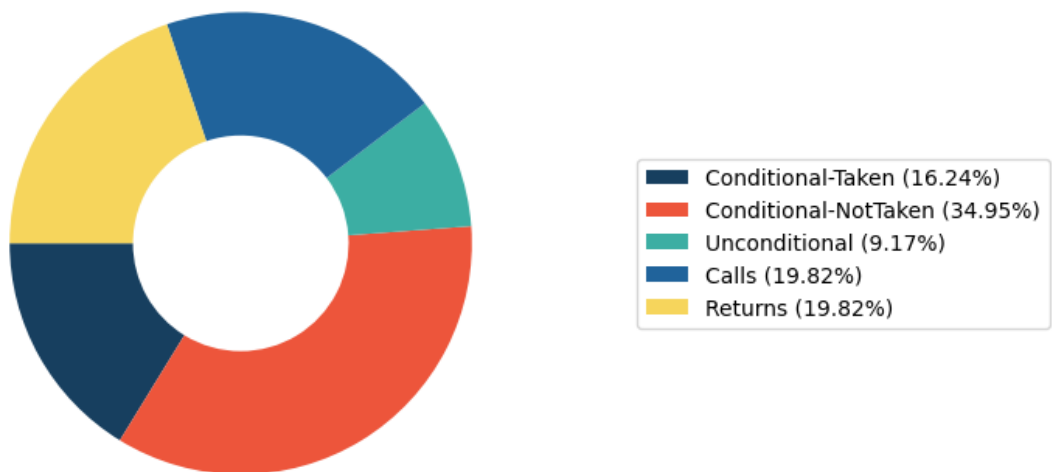
473.astar

Total Branches: 18049730025 - 16.29% of total instructions



483.xalancbmk

Total Branches: 54603285054 - 24.37% of total instructions



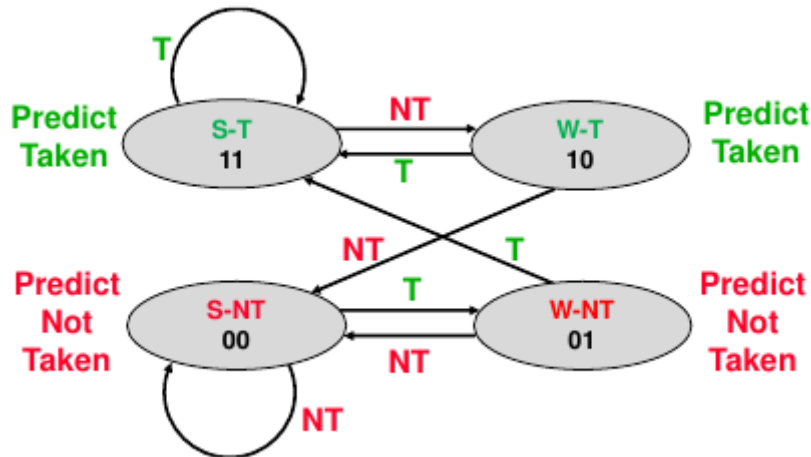
Συμπεράσματα

- Πάνω από τα μισά benchmarks (gcc, mcf, gobmk, soplex, sjeng, libquantum, omnetpp, xalancbmk) έχουν ένα ποσοστό εντολών άλματος μεταξύ 20-24% των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν.
- Μερικά benchmarks (zeusmp, cactusADM, hmmer, GemsFDTD, lbm) έχουν σχετικά χαμηλό ποσοστό, μεταξύ 1-7%, ενώ το astar εμφανίζει ένα ενδιάμεσο ποσοστό, γύρω στο 16%.
- Στα gcc, zeusmp, gobmk, soplex, sjeng, astar, η πλειοψηφία των εντολών άλματος είναι περίπου ισομοιρασμένη στα Conditional-Taken και Conditional-NotTaken, με ποσοστά 35-50% στο καθένα.
- Στα mcf, lbm, η πλειοψηφία των εντολών άλματος είναι τα Conditional-NotTaken (62-68%), με τα Conditional-Taken σε πιο χαμηλό ποσοστό (13-35%).
- Στα cactusADM, hmmer, GemsFDTD, libquantum, η πλειοψηφία των εντολών άλματος είναι τα Conditional-Taken (62-92%), με τα Conditional-NotTaken σε πιο χαμηλό ποσοστό (8-34%).
- Στα omnetpp, xalancbmk, παρατηρείται ένας πιο ομοιόμορφος μοιρασμός των διαφόρων κατηγοριών, με τα Conditional-NotTaken να αποτελούν την πλειοψηφία με 41 και 35%, τα Unconditional την μειοψηφία με 9% και οι υπόλοιπες κατηγορίες να έχουν ενδιάμεσα ποσοστά από 14-22%.
- Στα gcc, gobmk, soplex, sjeng, astar, τα Unconditional, Calls και Returns έχουν σχετικά ίσα και χαμηλά ποσοστά από 2-9%.
- Στα mcf, cactusADM, hmmer, GemsFDTD, libquantum, τα Unconditional, Calls και Returns έχουν πολύ χαμηλά ποσοστά, από 0-2%.
- Στα zeusmp, lbm, τα Unconditional έχουν αρκετά μεγαλύτερα ποσοστά (9-19%) σε σχέση με τα σχεδόν μηδενικά των Calls και Returns.

2ο ζητούμενο

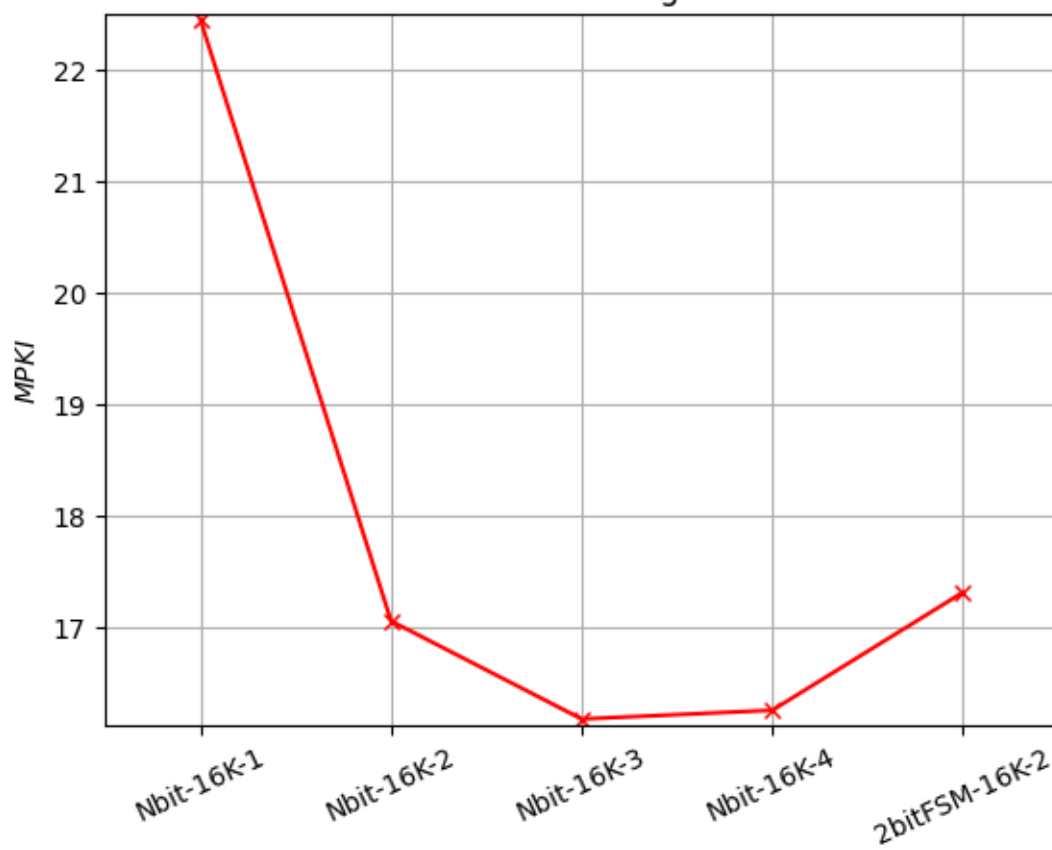
Μελέτη των N-bit predictors

(i) Για αυτό το υποερώτημα του ζητουμένου μελετάμε την απόδοση των n-bits predictors, τα οποία έχουν αριθμό BHT entries σταθερό και ίσο με 16K, για $N = 1, 2, 3, 4$. Επιπλέον, μελετάμε και ένα FSM (2β) για $N = 2$, σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα. Ως μετρική για τους 5 αυτούς predictors χρησιμοποιείται η direction Mispredictions Per Thousand Instructions (direction MPKI).

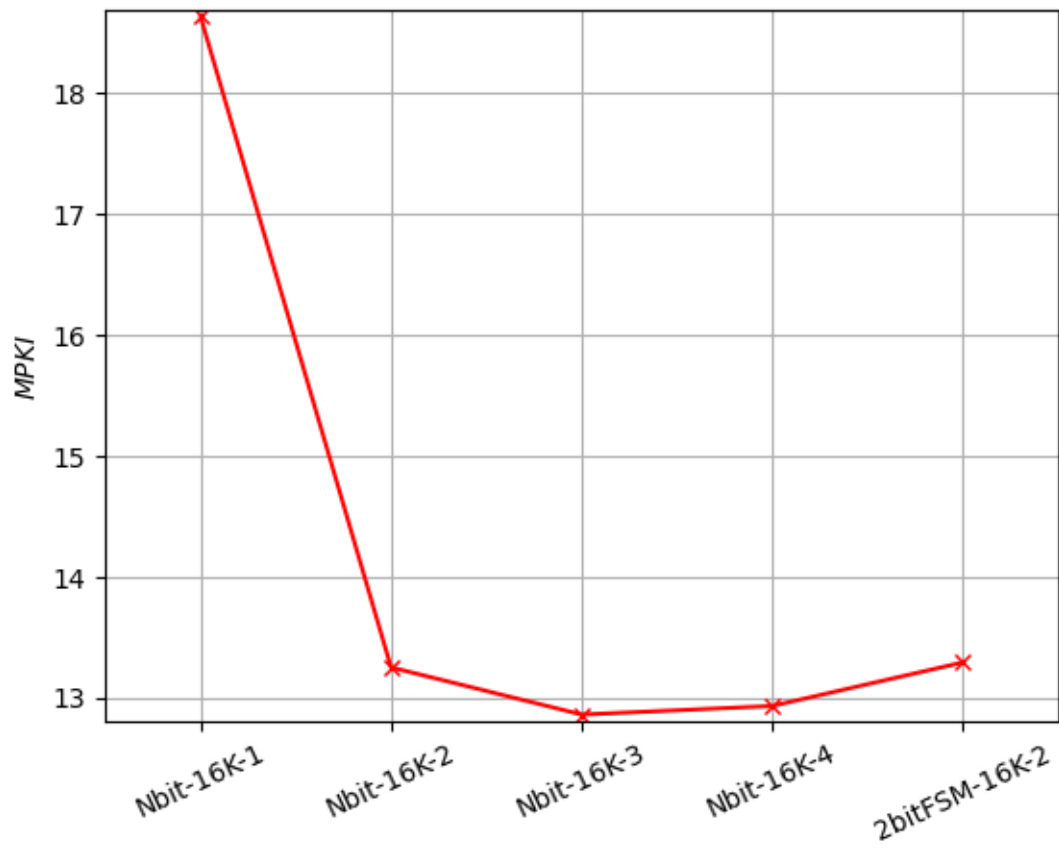


Ακολουθούν τα διαγράμματα που προκύπτουν, ένα για κάθε benchmark.

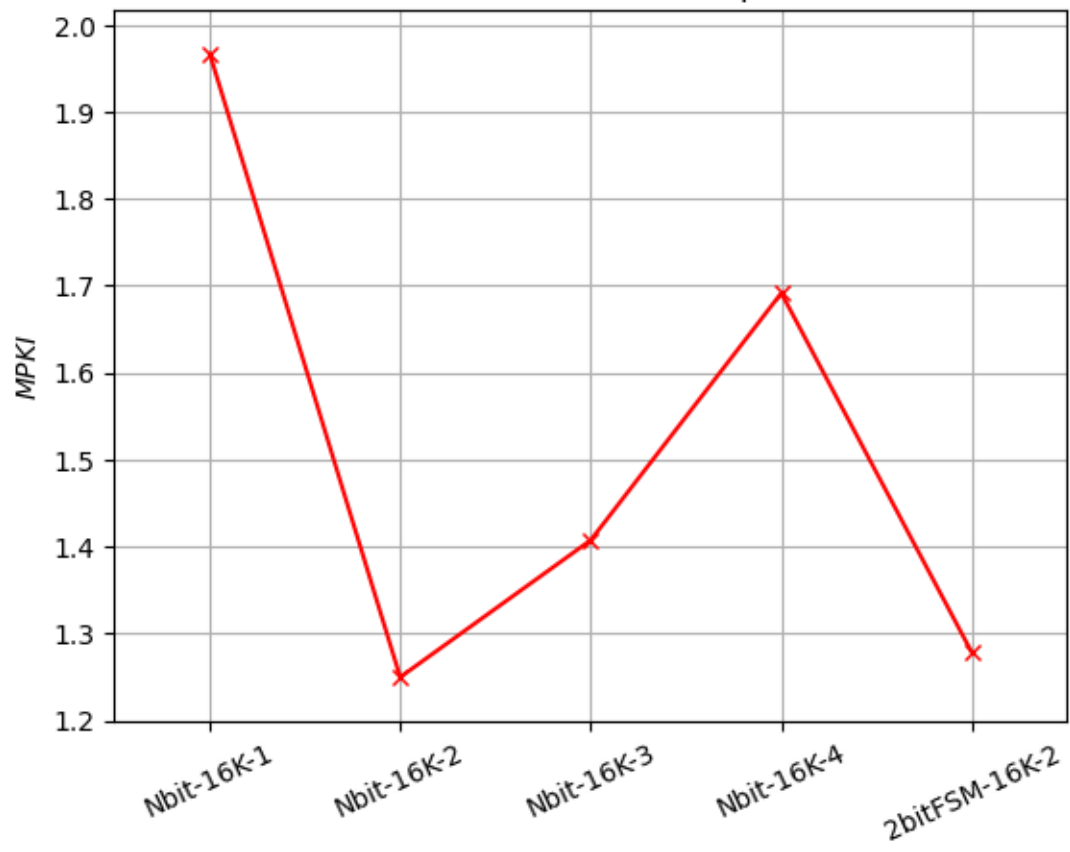
MPKI for 403.gcc



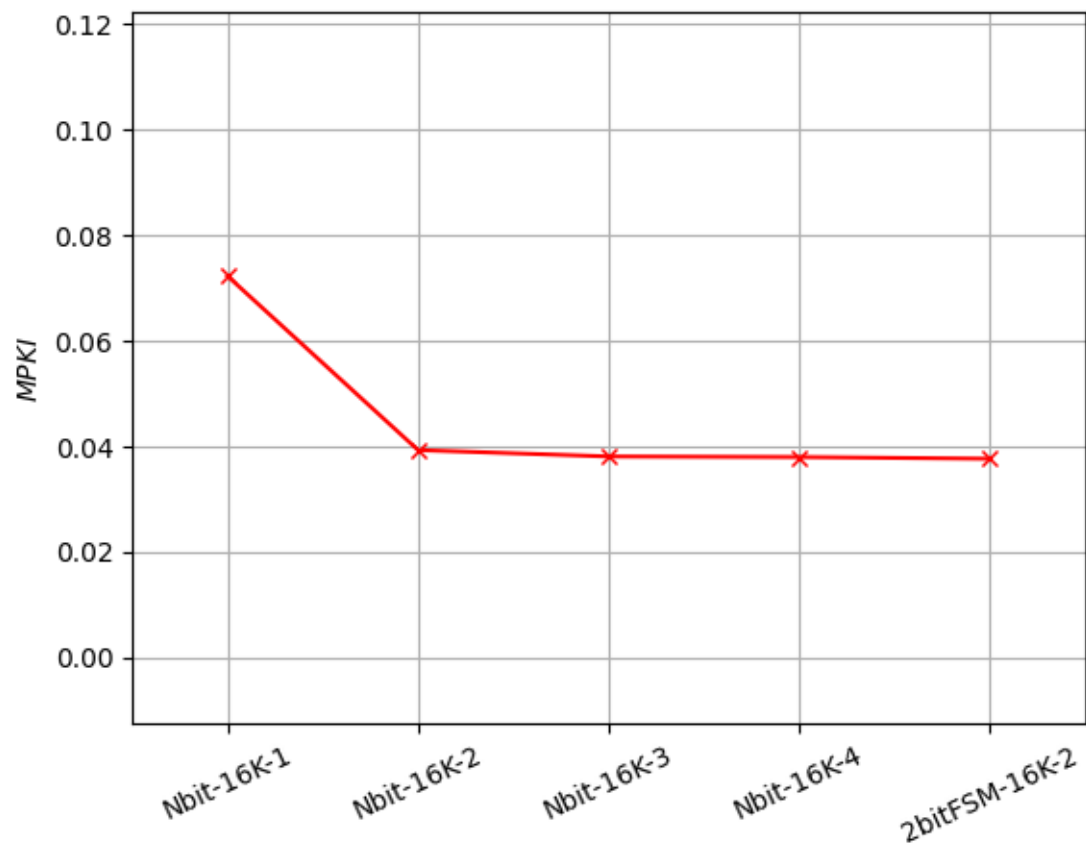
MPKI for 429.mcf

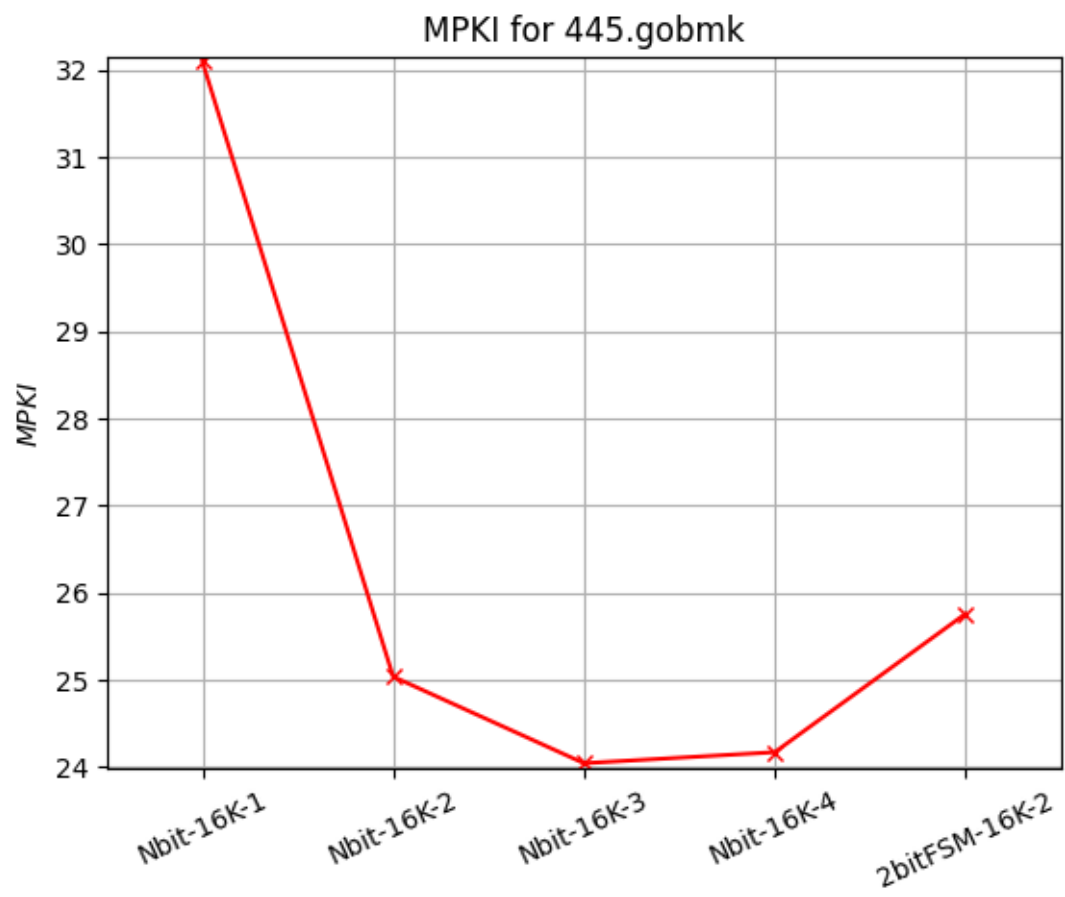


MPKI for 434.zeusmp

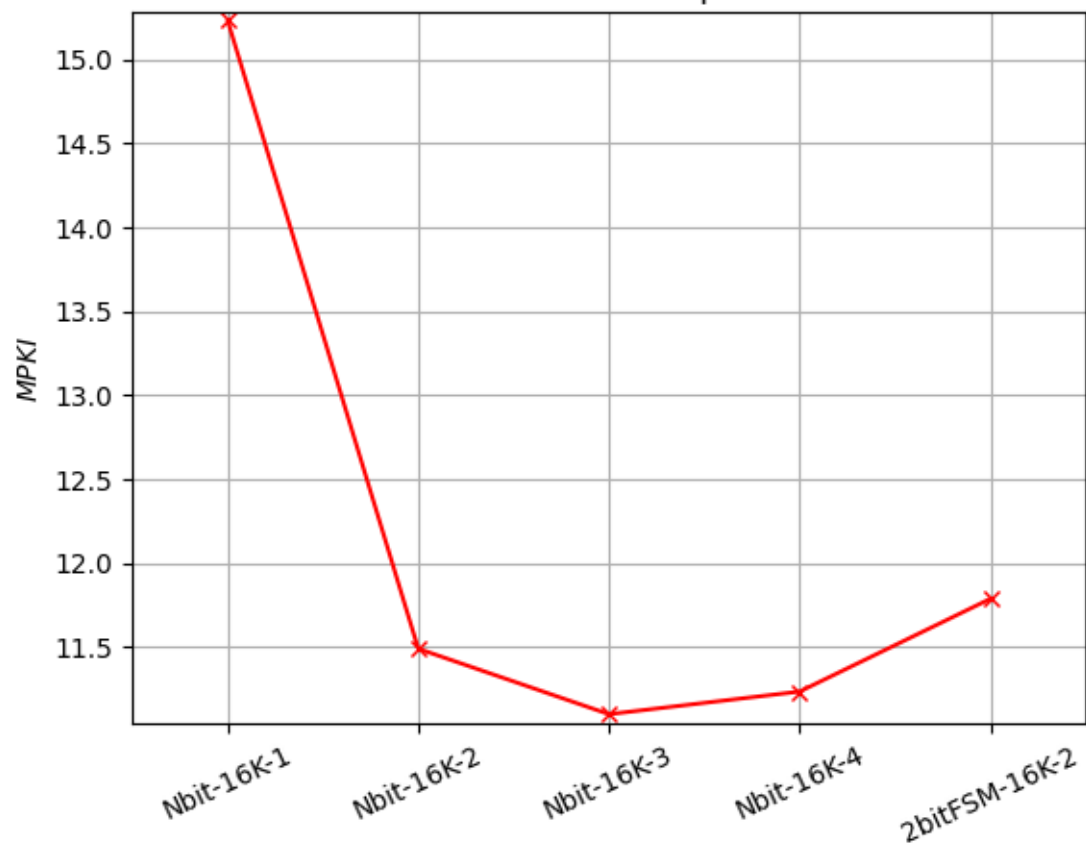


MPKI for 436.cactusADM

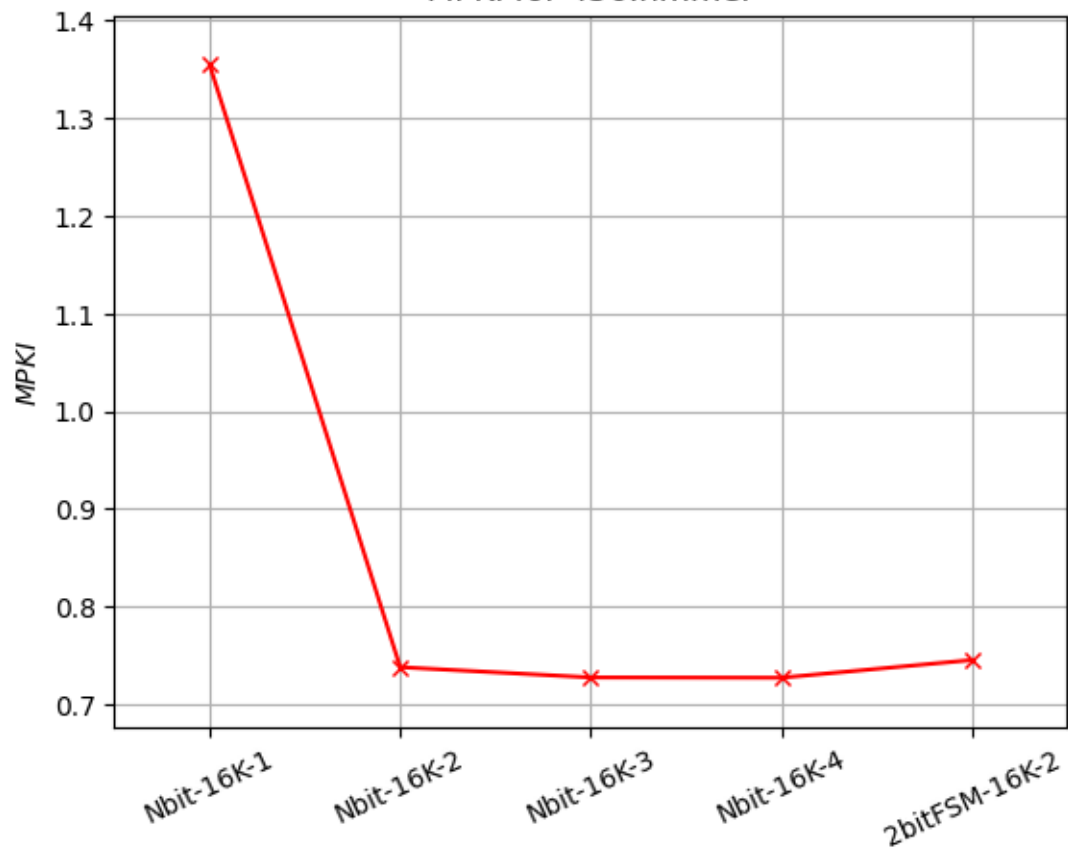


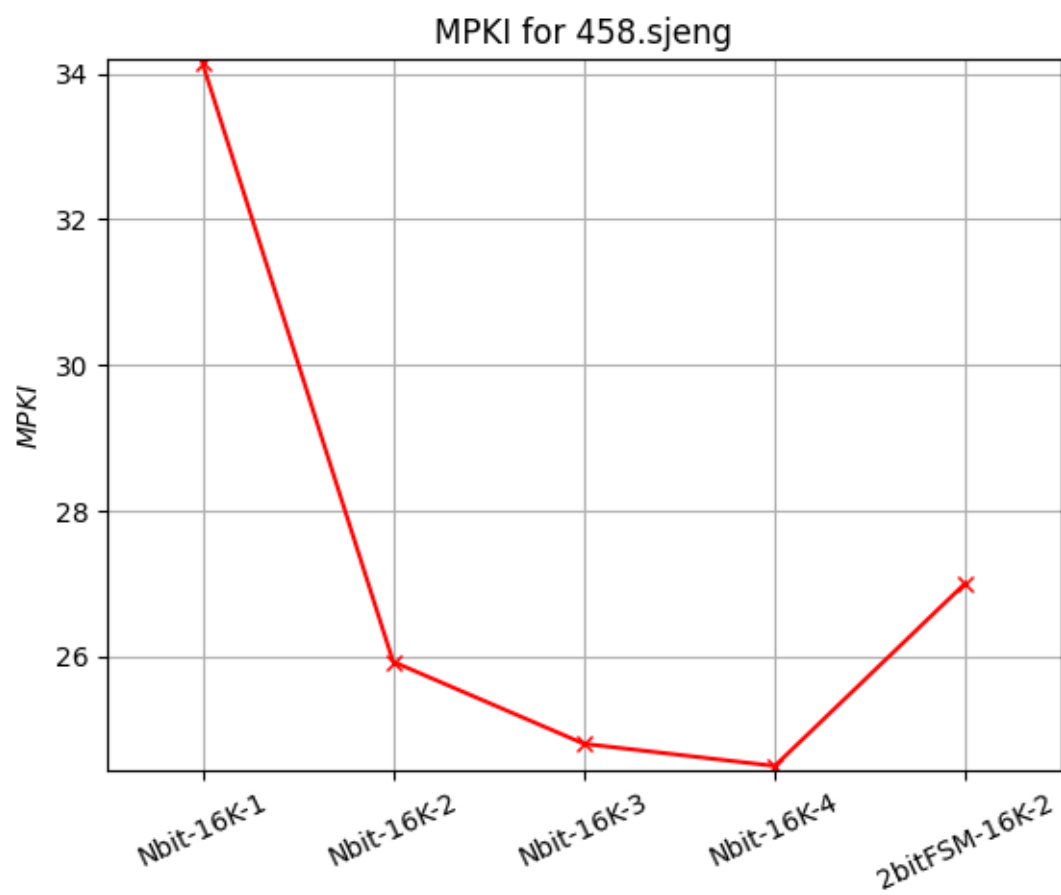


MPKI for 450.soplex

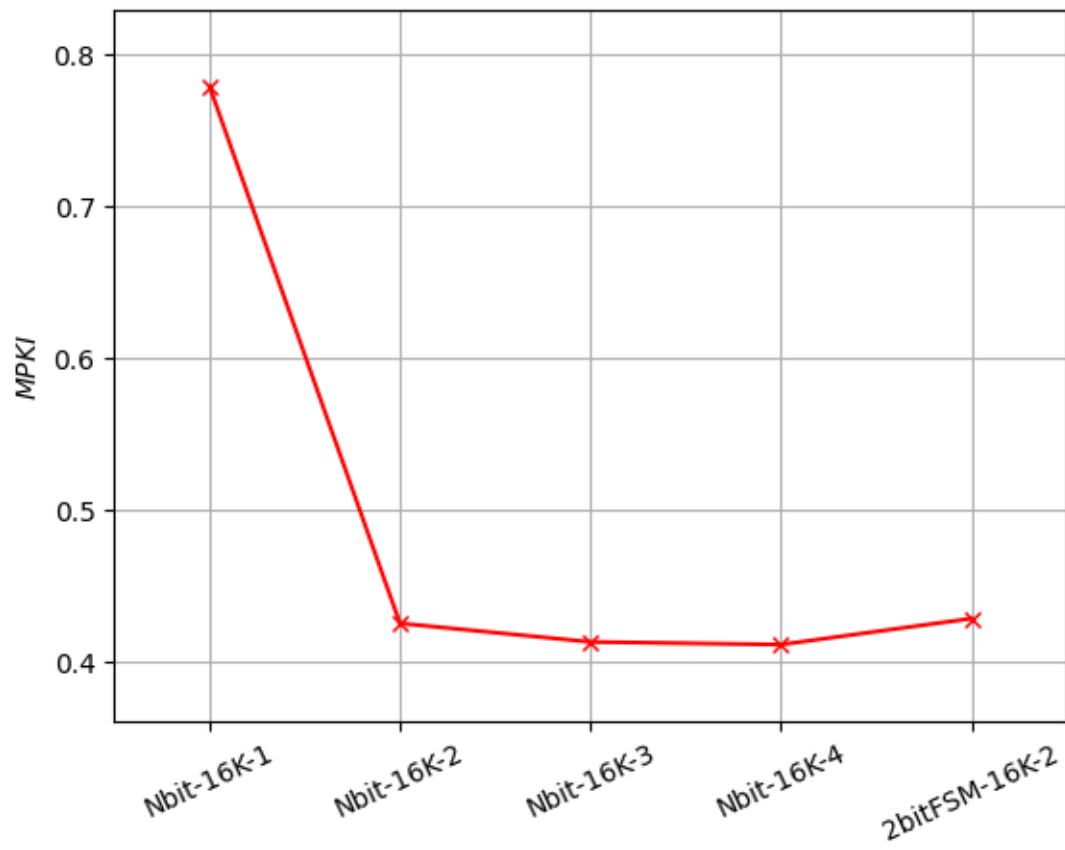


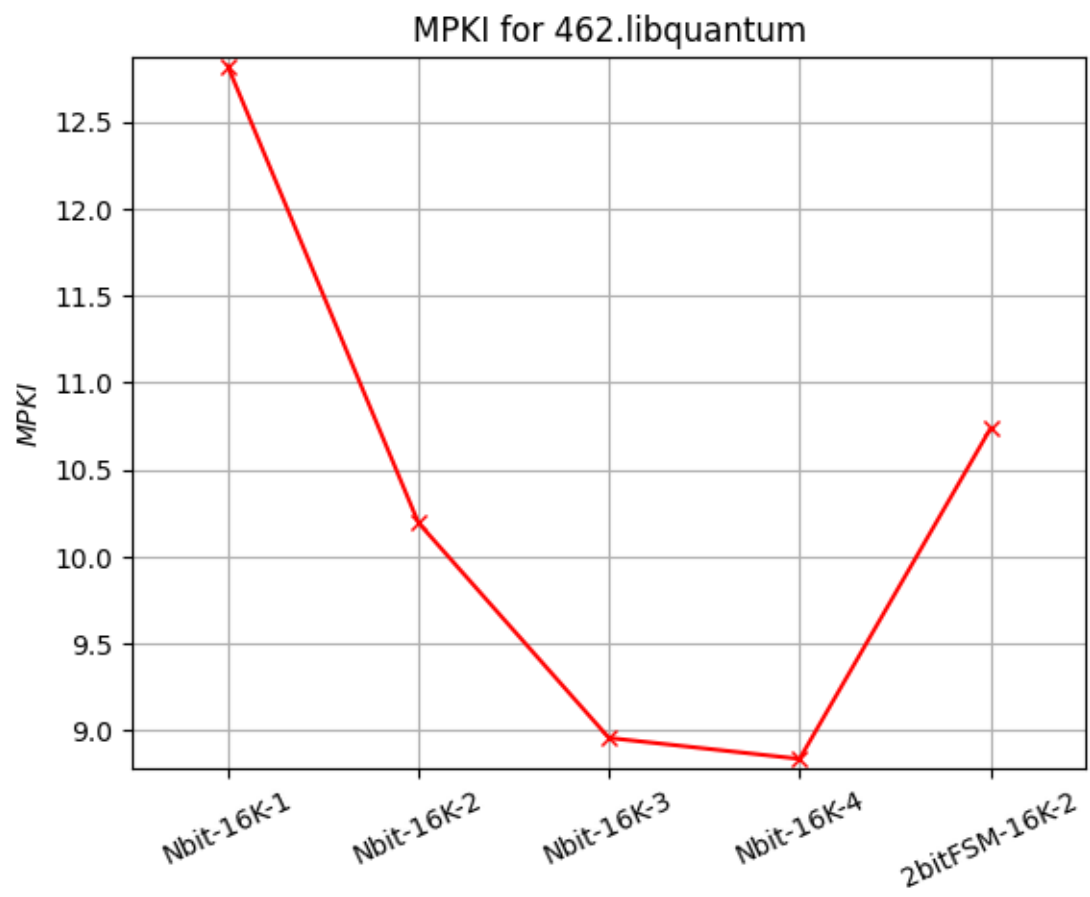
MPKI for 456.hmmmer



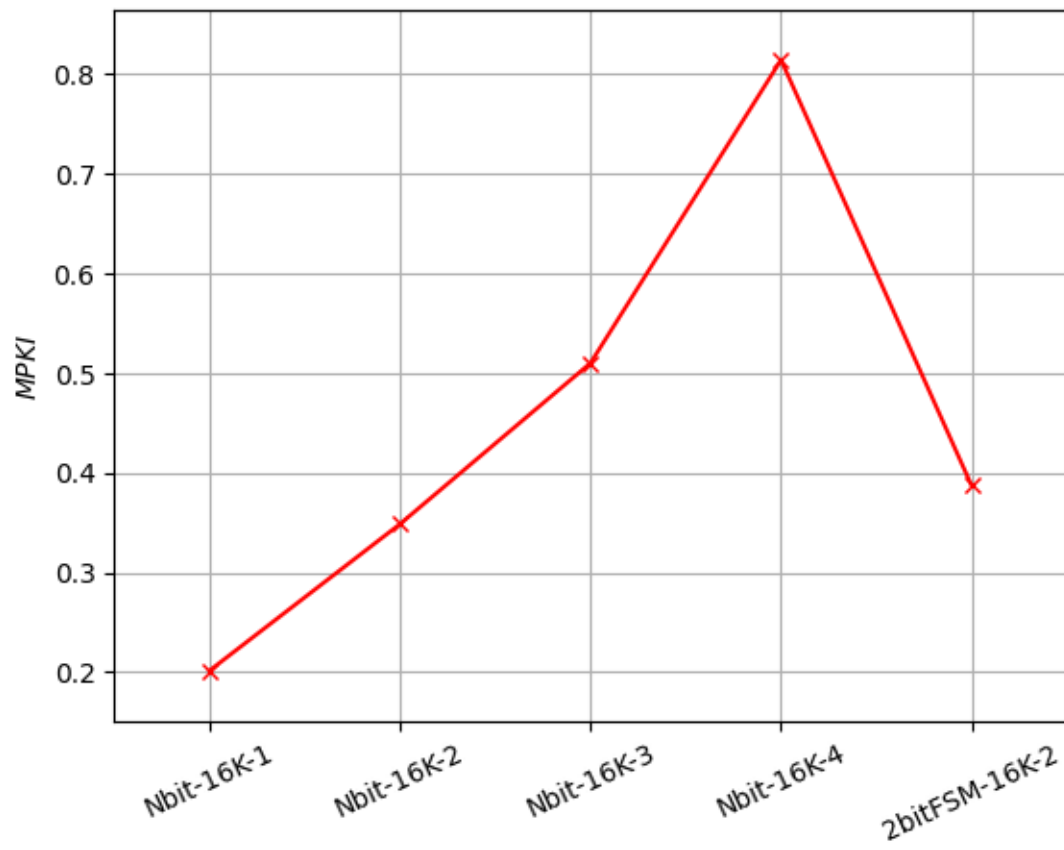


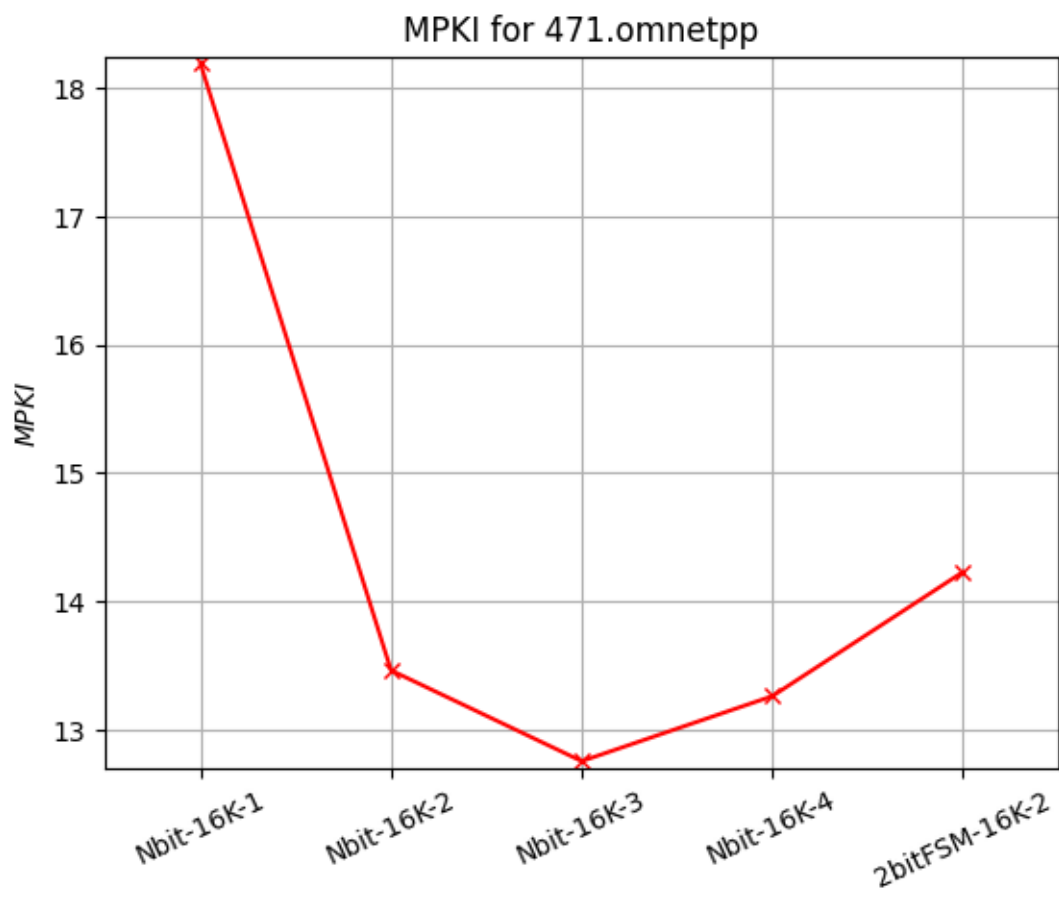
MPKI for 459.GemsFDTD



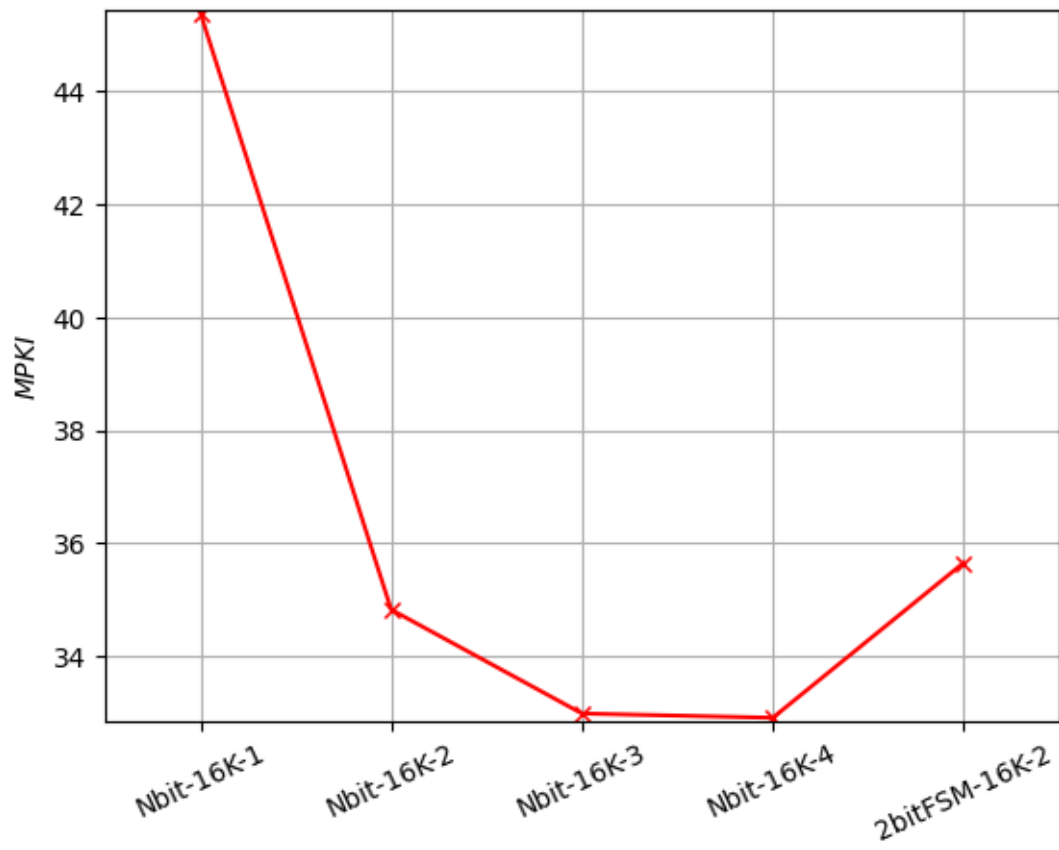


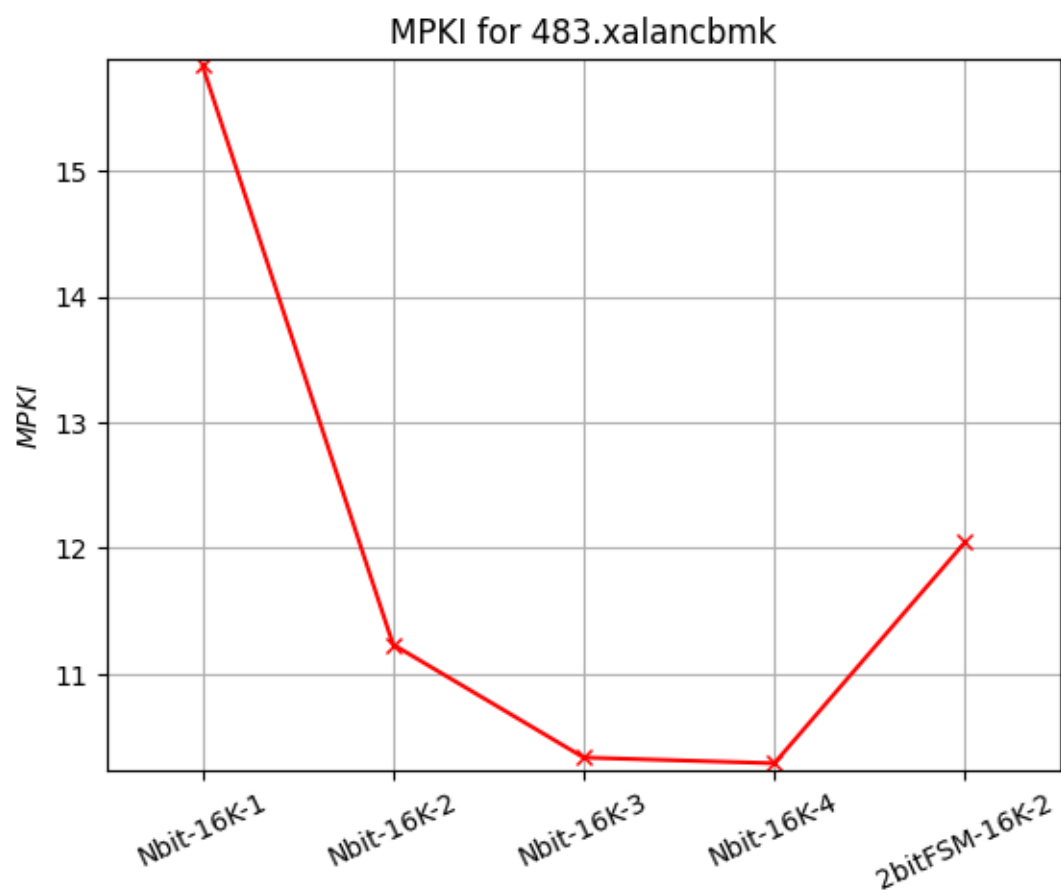
MPKI for 470.lbm





MPKI for 473.astar



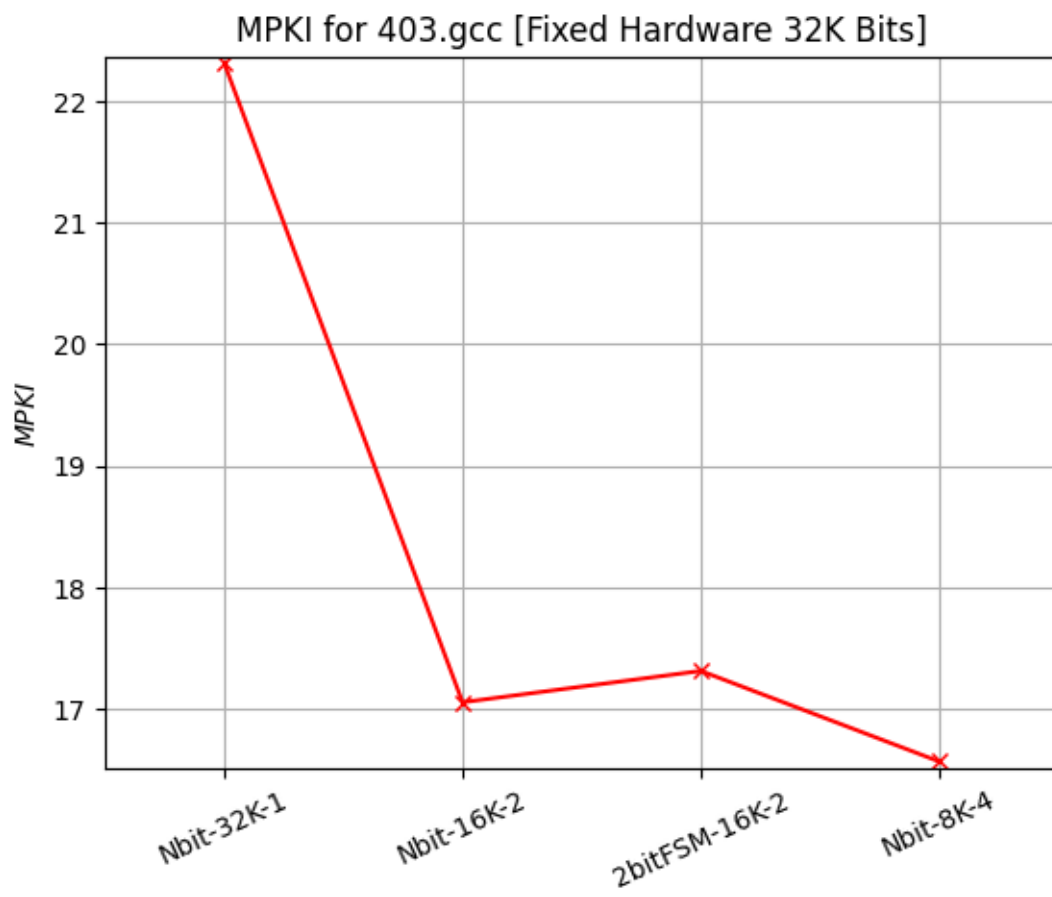


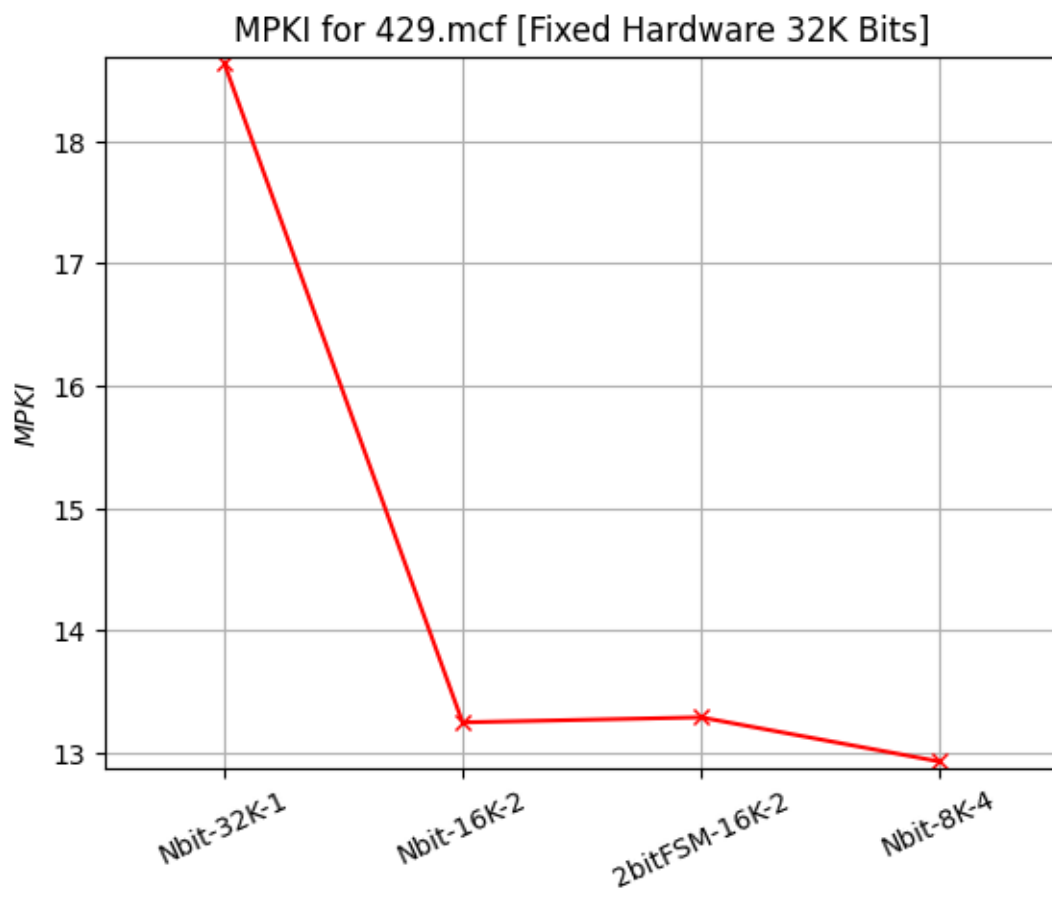
2ο ζητούμενο

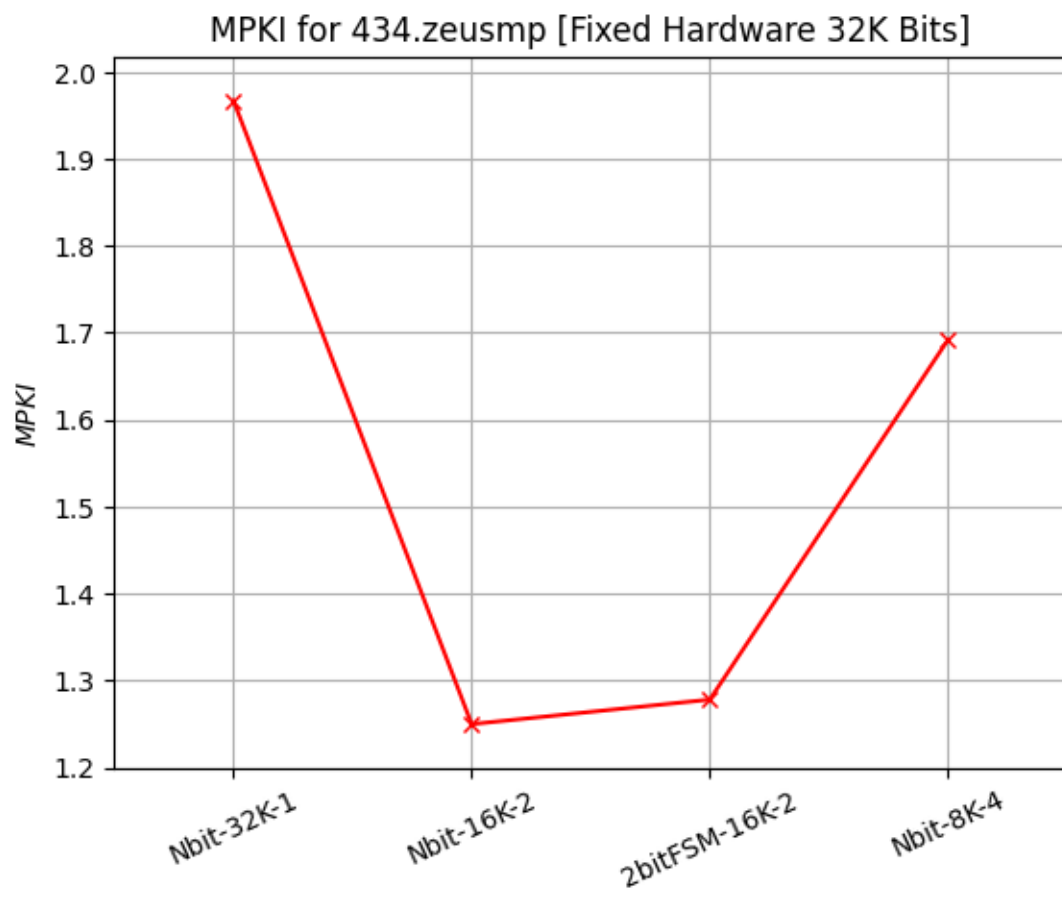
Μελέτη των N-bit predictors

(ii) Για αυτό το υποερώτημα του ζητουμένου μελετάμε την απόδοση των n-bits predictors, τα οποία έχουν hardware σταθερό και ίσο με 32K, για $N = 1, 2, 2^{\beta}$ (FSM), 4. Ως μετρική για τους 4 αυτούς predictors χρησιμοποιείται η direction Mispredictions Per Thousand Instructions (direction MPKI)

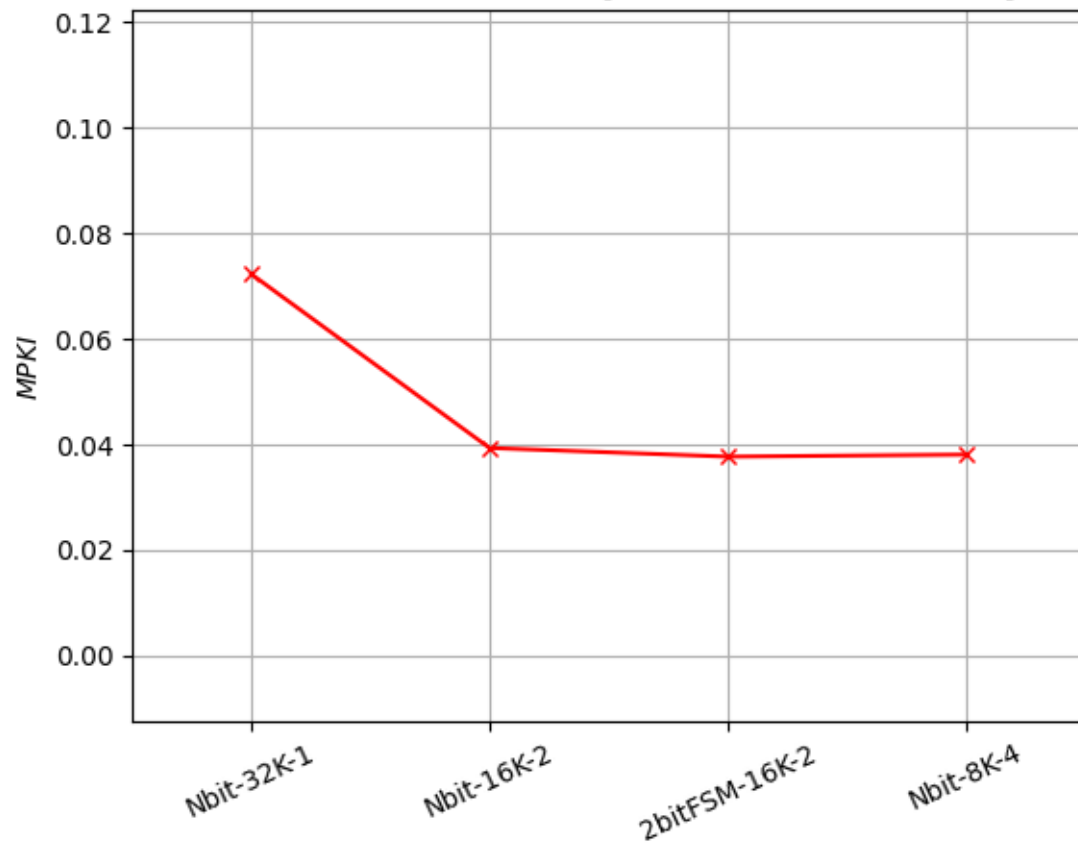
Ακολουθούν τα διαγράμματα που προκύπτουν, ένα για κάθε benchmark.

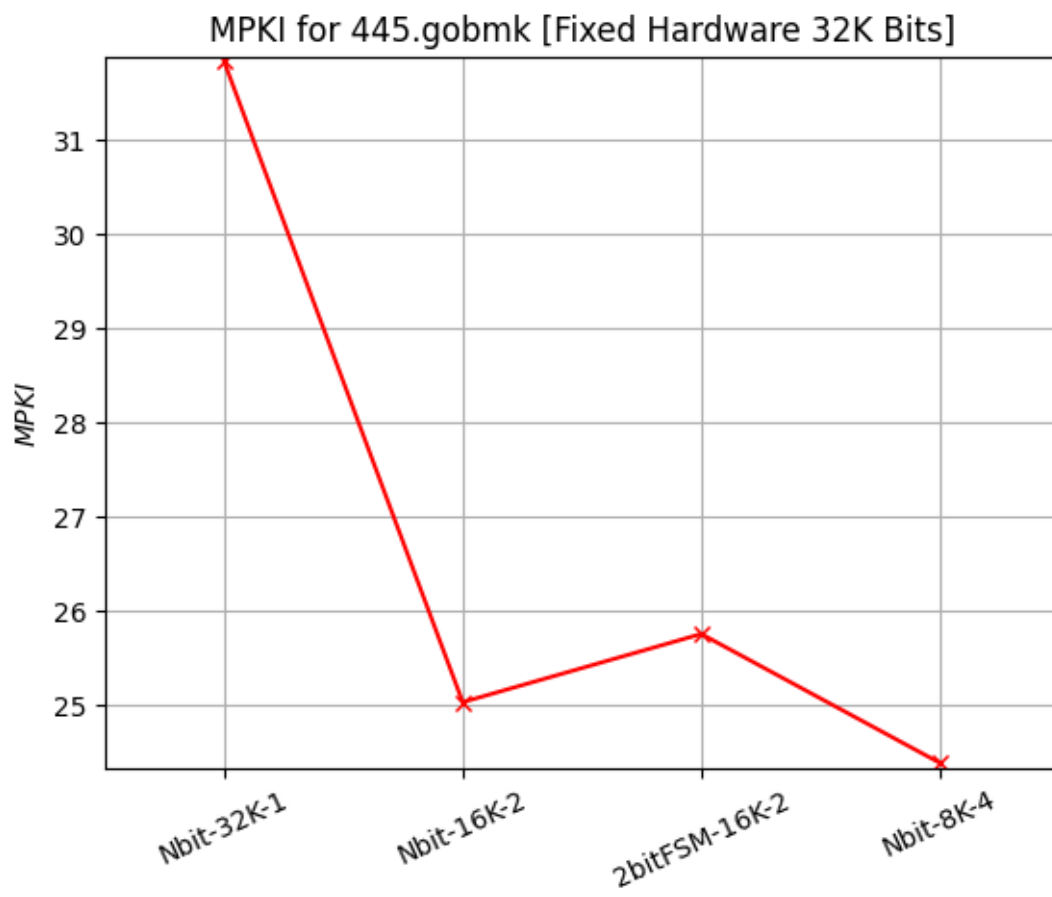


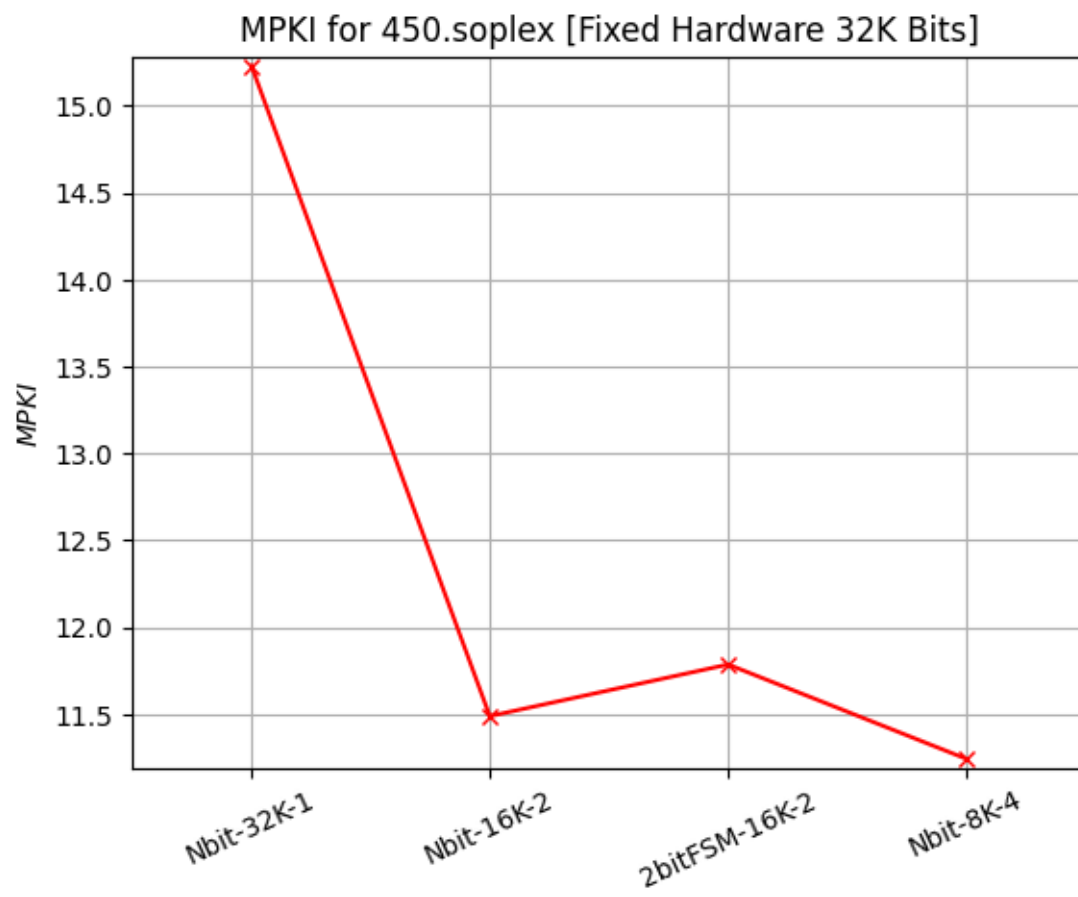


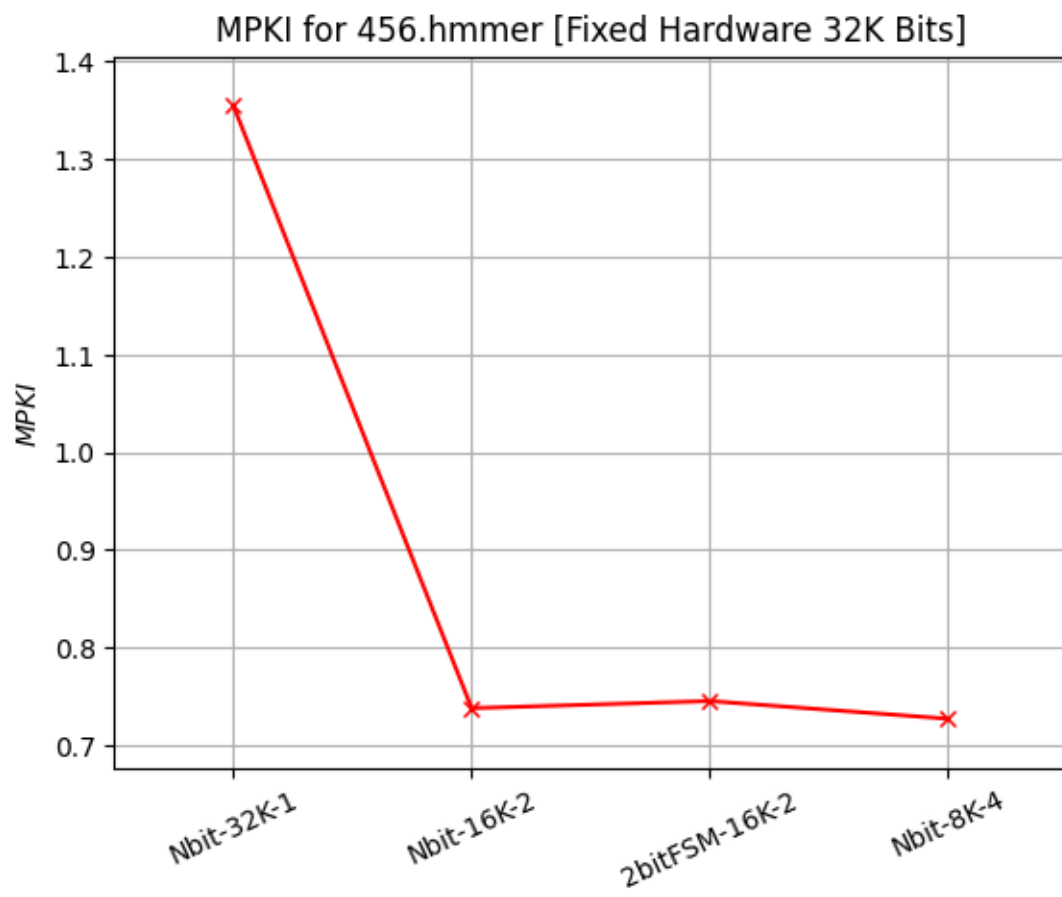


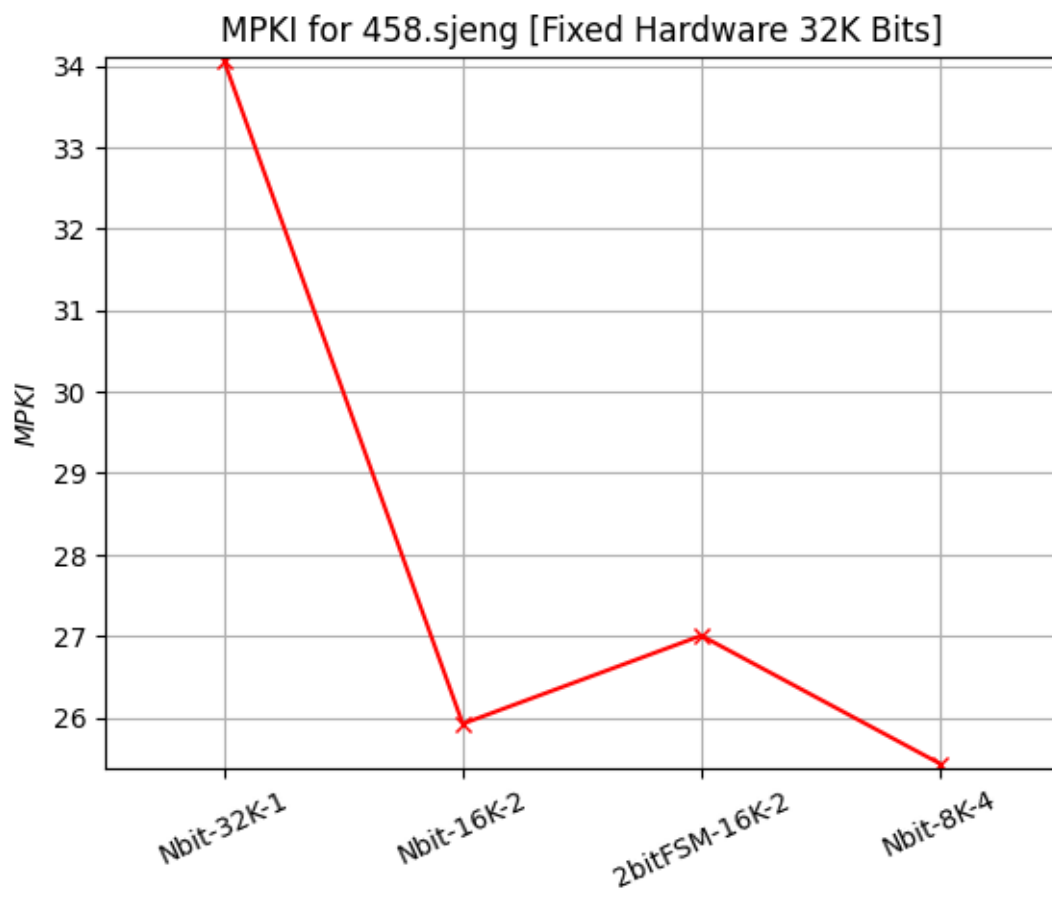
MPKI for 436.cactusADM [Fixed Hardware 32K Bits]



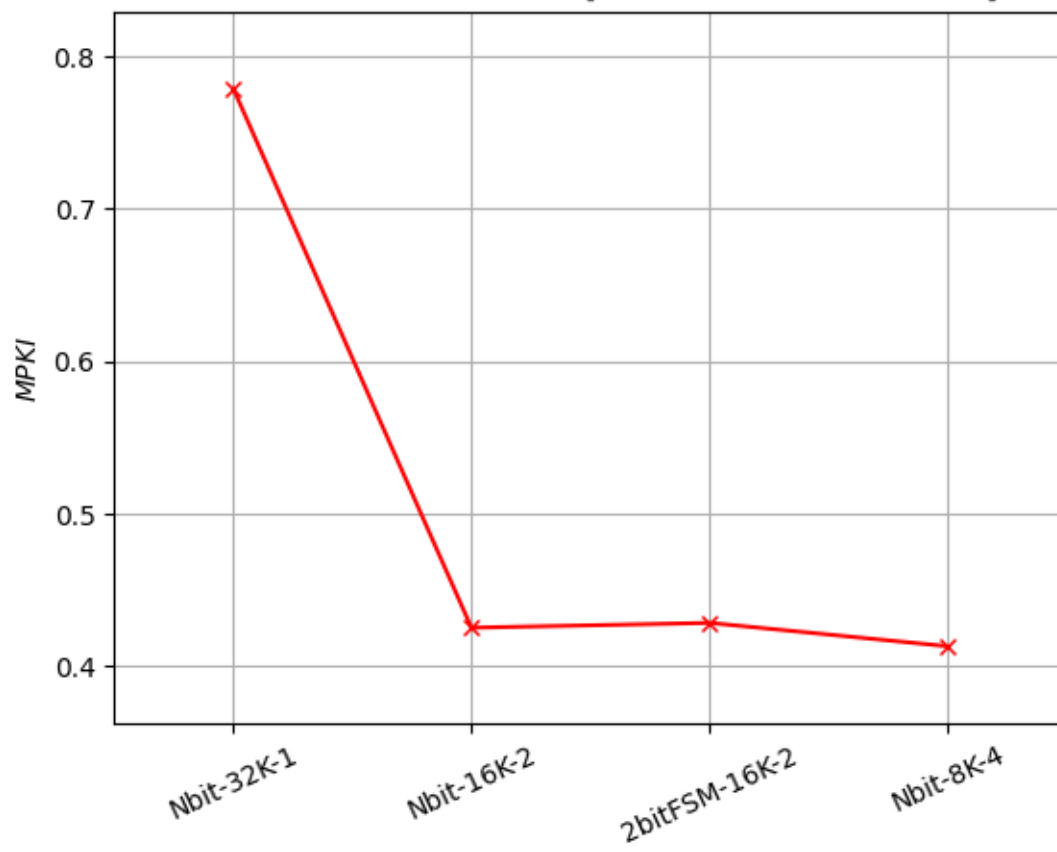




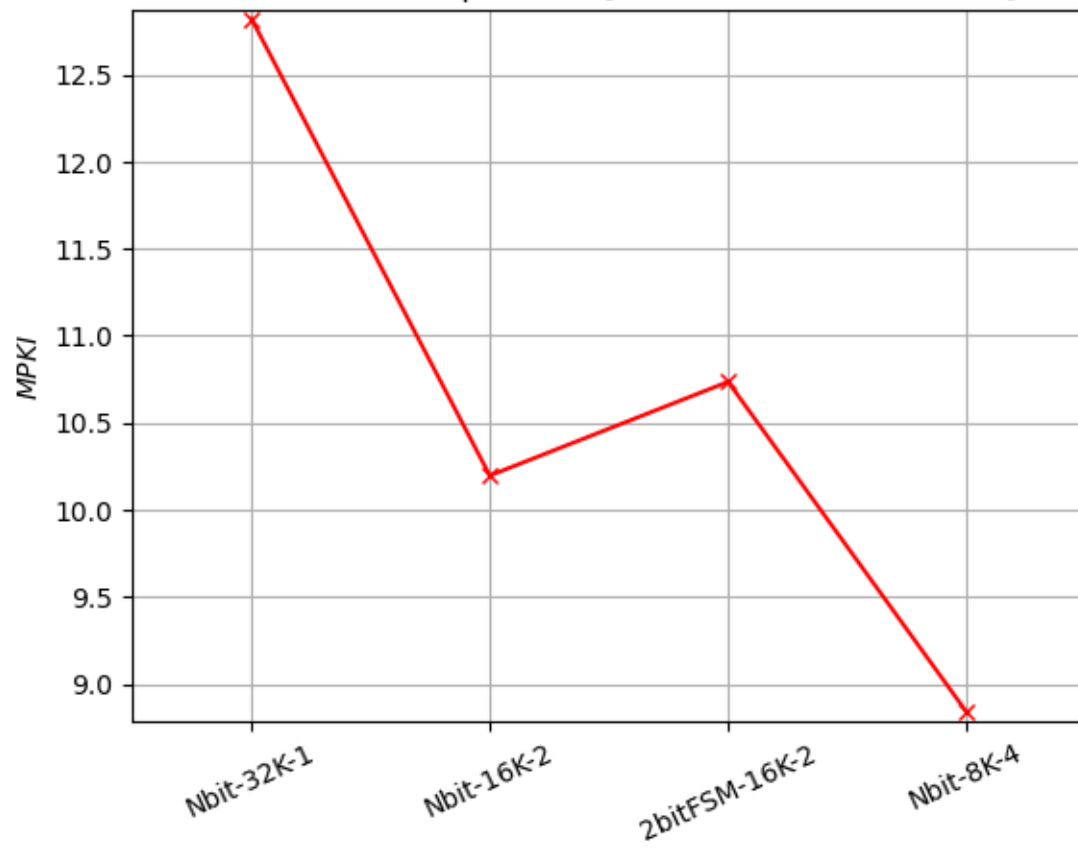


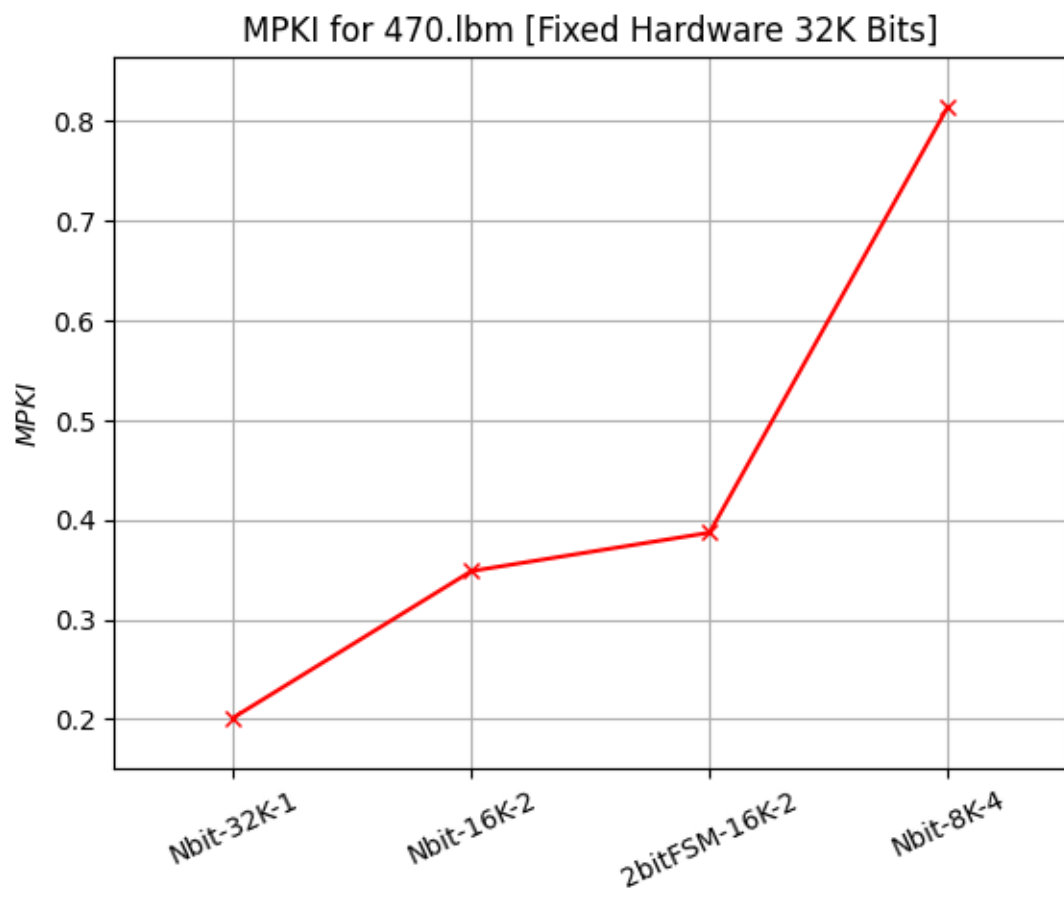


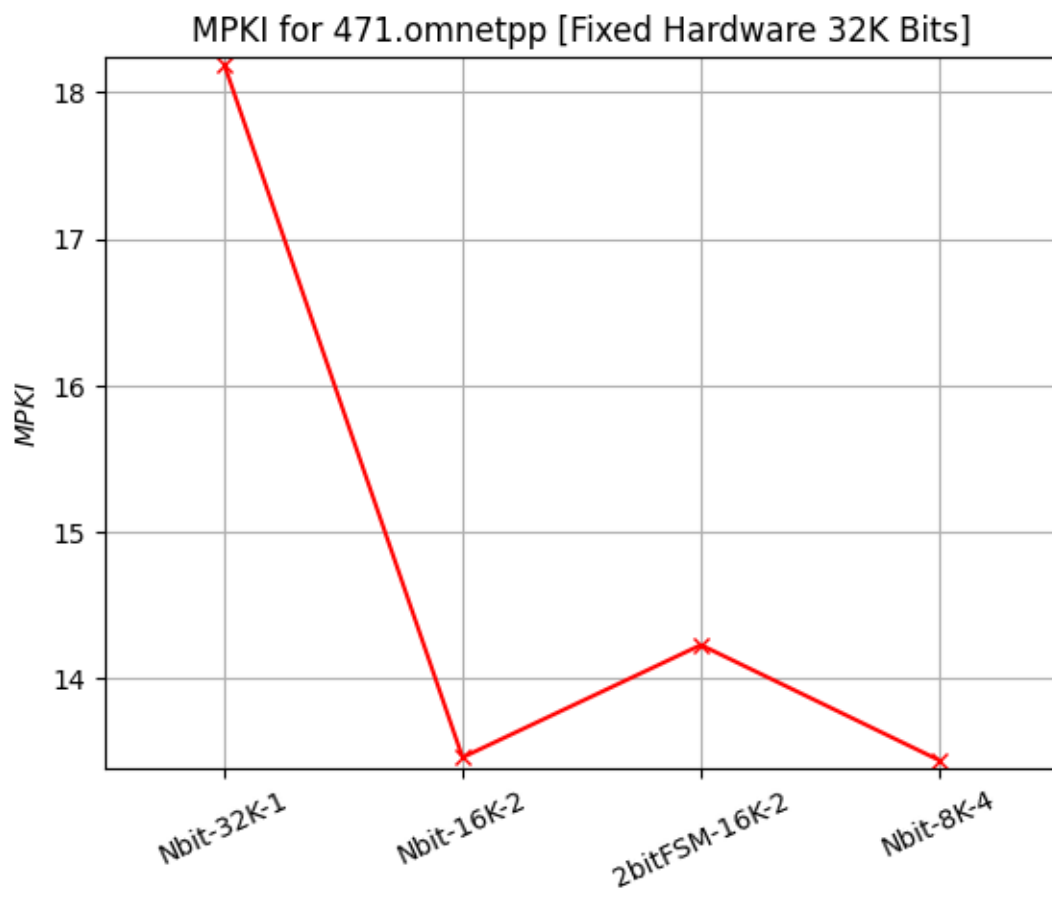
MPKI for 459.GemsFDTD [Fixed Hardware 32K Bits]

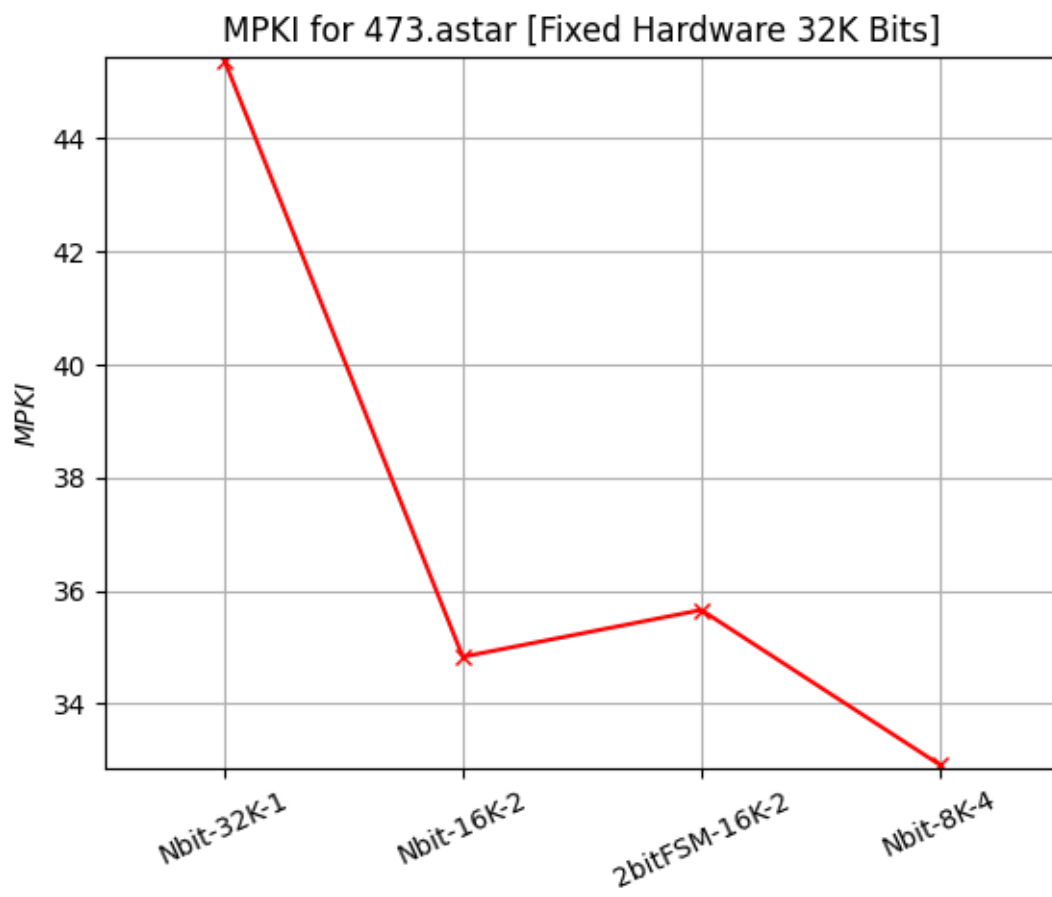


MPKI for 462.libquantum [Fixed Hardware 32K Bits]

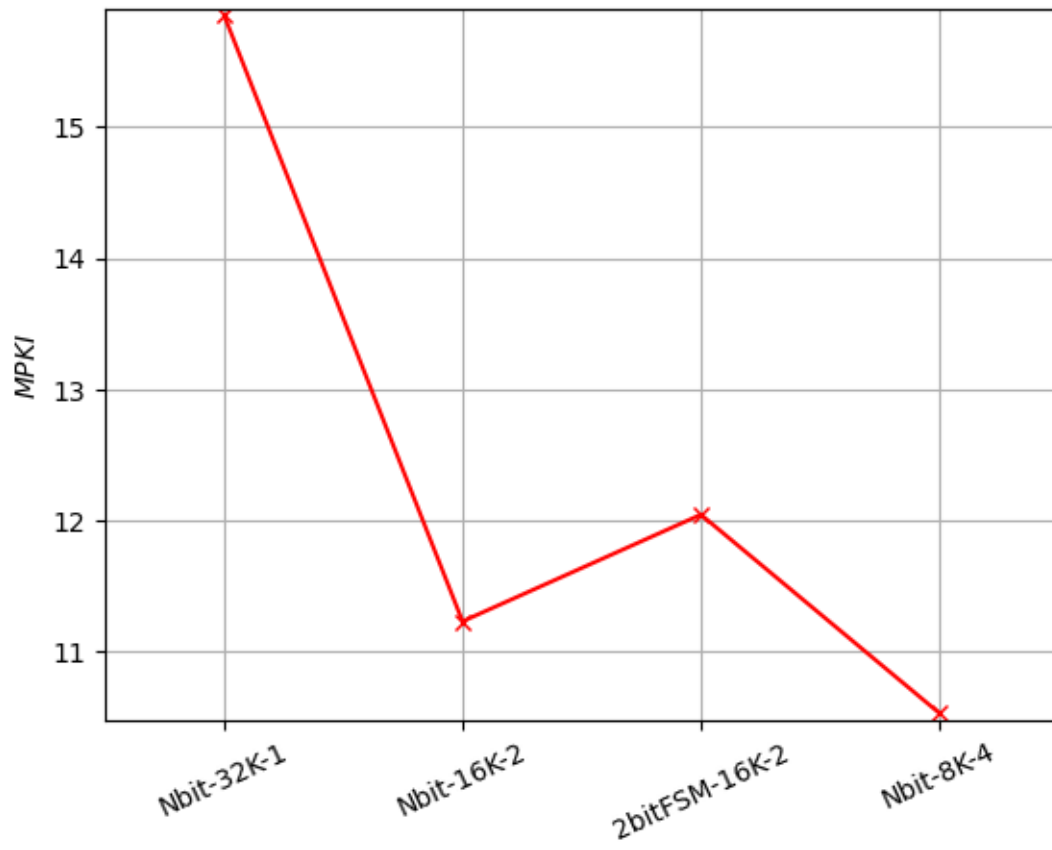


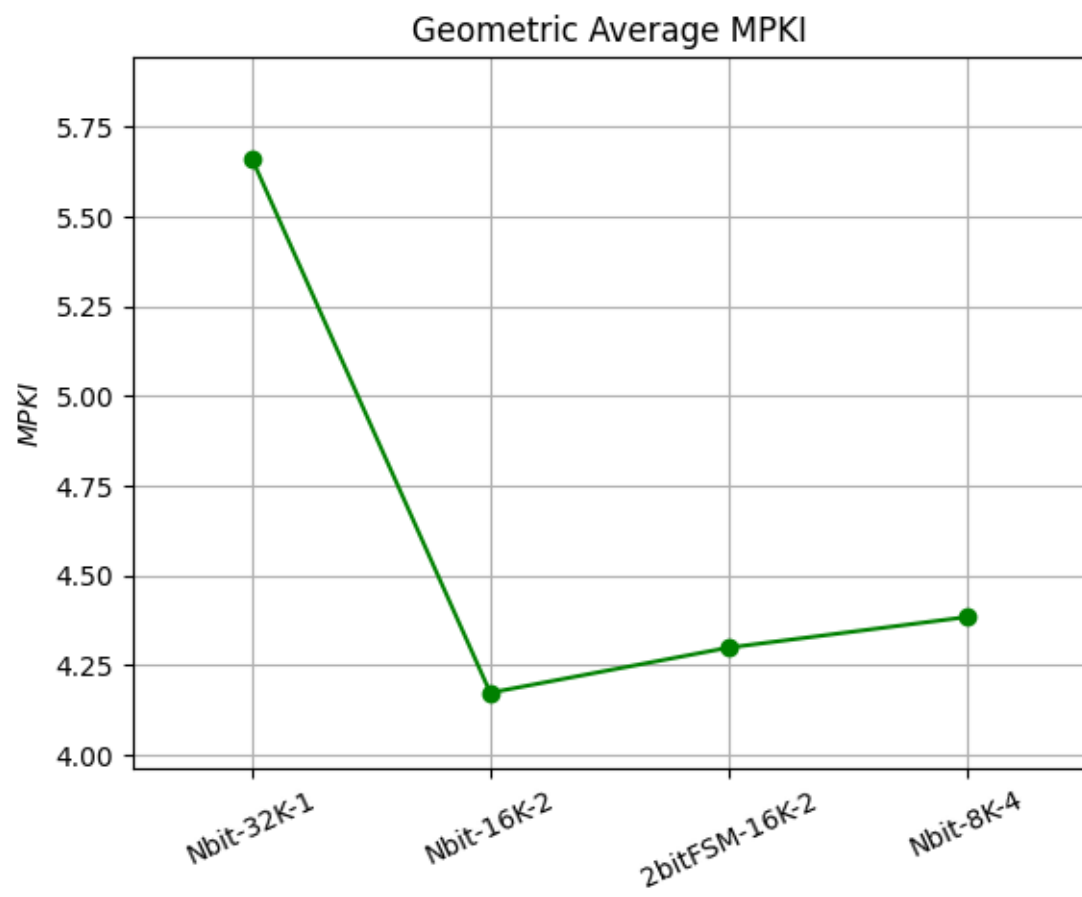






MPKI for 483.xalancbmk [Fixed Hardware 32K Bits]





2ο ζητούμενο

Συμπεράσματα

(i)

- Στα gcc, mcf, gobmk, soplex, sjeng, libquantum, omnetpp, astar, xalancbmk παρουσιάζεται παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή μείωση του MPKI με την αλλαγή από Nbit-16K-1 σε Nbit-16K-2 και σε Nbit-16K-3, ενώ με την αλλαγή σε Nbit-16K-4, άλλες φορές αυξάνεται λίγο το MPKI, ενώ άλλες φορές μειώνεται.
- Στα cactusADM, hmmer, GemsFDTD, η αλλαγή από Nbit-16K-1 σε Nbit-16K-2 επιφέρει προσεγγιστικά υποδιπλασιασμό του MPKI, ενώ, στη συνέχεια, η περαιτέρω αύξηση του N, όπως και η αλλαγή σε 2bitFSM-16K-2, δεν επιφέρουν κάποια αισθητή διαφορά στο MPKI. Ωστόσο, οι τιμές του MPKI διατηρούνται και στα τρία σε χαμηλά επίπεδα (0.04-1.4).
- Στο zeusmp, το Nbit-16K-2 και το αντίστοιχο 2bitFSM-16K-2 έχουν το χαμηλότερο MPKI, με την υψηλότερη τιμή να την έχει το Nbit-16K-1 ακολουθούμενο από το Nbit-16K-4. Ωστόσο, οι τιμές του MPKI διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (1.2-2).
- Στο lbm, το Nbit-16K-1 παρουσιάζει το χαμηλότερο MPKI, ενώ το Nbit-16K-4 παρουσιάζει το υψηλότερο MPKI, ακολουθούμενο από το Nbit-16K-3. Ωστόσο, οι τιμές του MPKI διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (0.2-0.8).
- Το 2bitFSM-16K-2 έχει σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότερο ή ίσο MPKI με το Nbit-16K-2, ενώ με εξαίρεση στο lbm, έχει χαμηλότερο MPKI σε σχέση με το Nbit-16K-1.
- Συνολικά, δεδομένου της συμπεριφοράς της πλειοψηφίας των benchmarks, αλλά και των υπολοίπων ιδιαίτερων συμπεριφορών, ο Nbit-16K-2 και Nbit-16K-3 φαίνονται να είναι οι καλύτερες λύσεις, με τον Nbit-16K-3 να διατηρεί προβάδισμα στα περισσότερα benchmarks και να αποτελεί, πιθανότατα, την καλύτερη επιλογή.

(ii)

- Στα gcc, mcf, gobmk, soplex, sjeng, libquantum, omnetpp, astar, xalancbmk παρουσιάζεται παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή μείωση του MPKI όσο αυξάνεται το N από 1 σε 2 και σε 4. Σε ελάχιστα από αυτά, από το 2 στο 4 παρατηρείται ελάχιστη μείωση, όμως είναι υπαρκτή και πάλι, επιβεβαιώνοντας αυτό το συμπέρασμα.
- Στα cactusADM, hmmer, GemsFDTD, η αύξηση του N από 1 σε 2 επιφέρει προσεγγιστικά υποδιπλασιασμό του MPKI, ενώ, στη συνέχεια, η περαιτέρω αύξηση του N, όπως και η αλλαγή σε 2bitFSM-16K-2, δεν επιφέρουν κάποια αισθητή διαφορά στο MPKI. Ωστόσο, οι τιμές του MPKI διατηρούνται και στα τρία σε χαμηλά επίπεδα (0.04-1.4).
- Στο zeusmp, για N = 2 παρουσιάζεται το χαμηλότερο MPKI, με την υψηλότερη τιμή να παρουσιάζεται για N = 1, ακολουθούμενο από την τιμή για N = 4. Ωστόσο, οι τιμές του MPKI διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (1.2-2).
- Στο lbm, για N = 1 παρουσιάζεται το χαμηλότερο MPKI, ενώ για N = 4 παρουσιάζεται το υψηλότερο MPKI, ακολουθούμενο από την τιμή για N = 3. Ωστόσο, οι τιμές του MPKI διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (0.2-0.8).
- Το 2bitFSM για N = 2 έχει σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότερο ή ίσο MPKI με το απλό N = 2, ενώ με εξαίρεση στο lbm, έχει χαμηλότερο MPKI σε σχέση με το N = 1.
- Γενικά, παρατηρούμε παρόμοια αποτελέσματα με το (i) ερώτημα, παρότι ουσιαστικά κάθε αύξηση του N επιφέρει και υποδιπλασιασμό στα entries, αφού το συνολικό hardware πρέπει να διατηρείται σταθερό και ίσο με 32K. Επομένως, εμφανίζεται μία σχετική προτίμηση στο μέγεθος του associativity και όχι στο μέγεθος των entries ή στο μέγεθος του hardware.
- Συνολικά, δεδομένου της συμπεριφοράς της πλειοψηφίας των benchmarks, αλλά και των υπολοίπων ιδιαίτερων συμπεριφορών, ο Nbit-16K-2 (N = 2) και Nbit-8K-4 (N = 4) φαίνονται να είναι οι καλύτερες λύσεις, με τον Nbit-16K-2 (N = 2) να αποτελεί, τελικά, την καλύτερη επιλογή, με βάση και το διάγραμμα των γεωμετρικών μέσων των τιμών.

3ο ζητούμενο

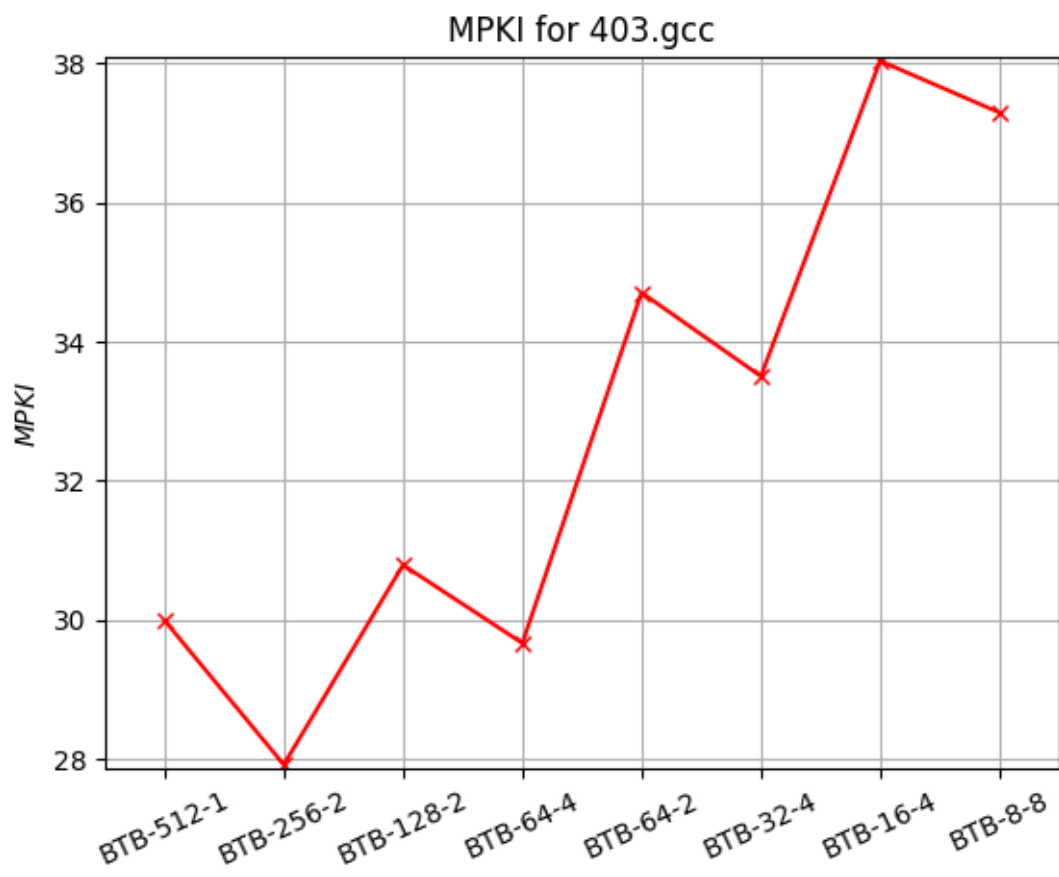
Μελέτη του BTB

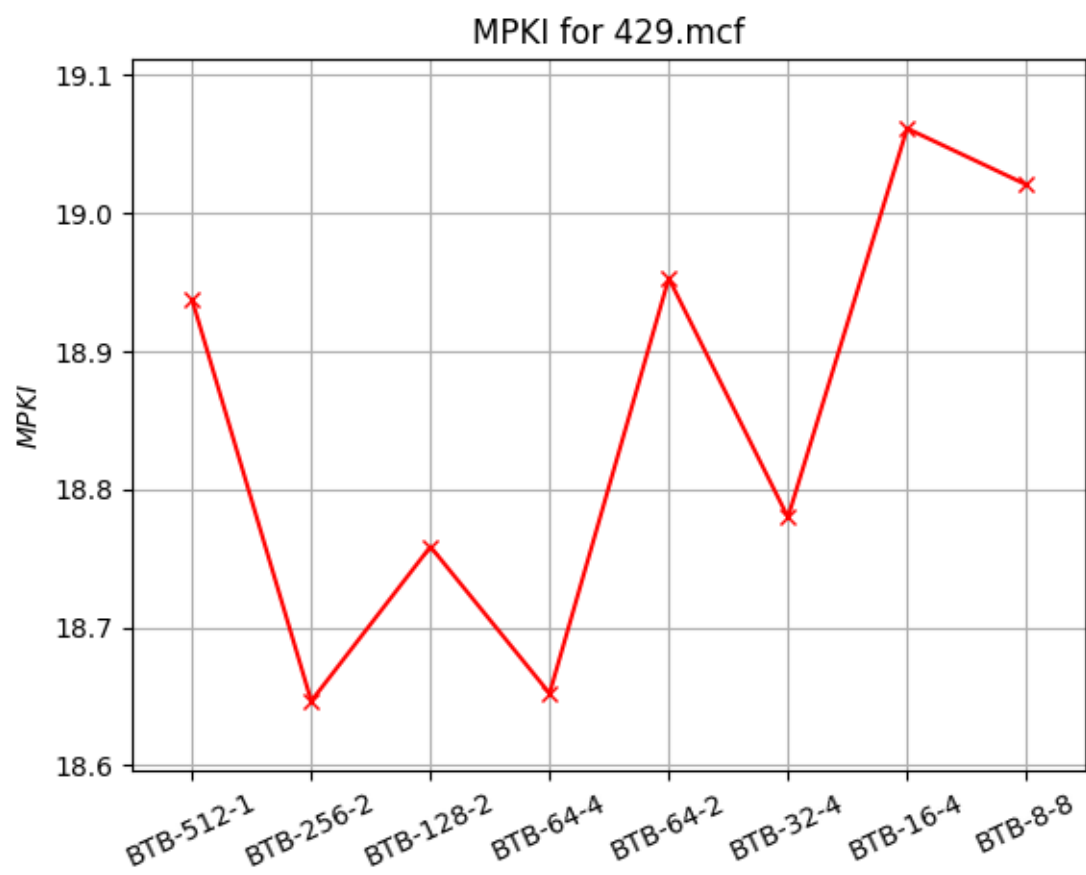
Για αυτό το ζητούμενο μελετάμε την ακρίβεια πρόβλεψης ενός BTB για τις ακόλουθες περιπτώσεις (παρότι δίνονται ζευγάρια BTB entries και BTB associativity, ο τρόπος που παρουσιάζονται στα διαγράμματα οι περιπτώσεις είναι με τη μορφή BTB lines – BTB associativity, με βάση το $\text{BTB entries} = \text{BTB lines} * \text{BTB associativity}$, αφού έτσι είχε δοθεί αρχικά και ο demo constructor στο branch_predictor.h):

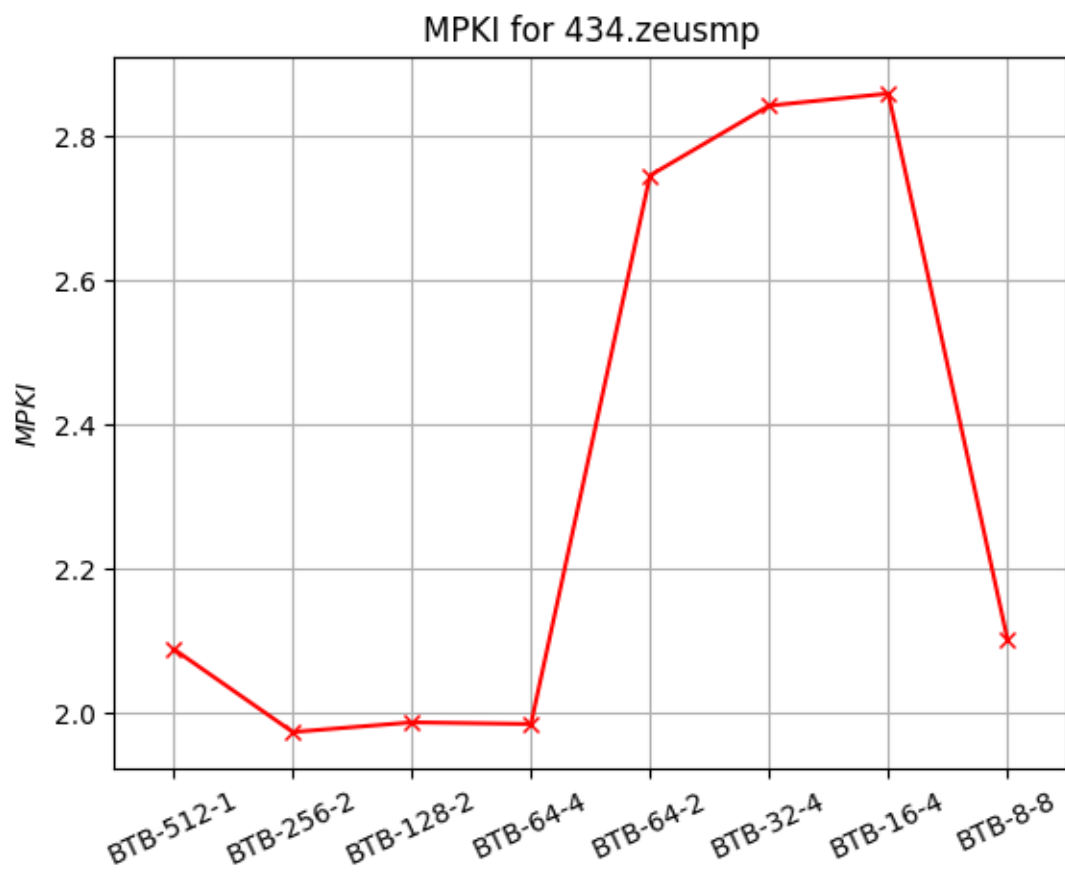
BTB entries	BTB associativity
512	1, 2
256	2, 4
128	2, 4
64	4, 8

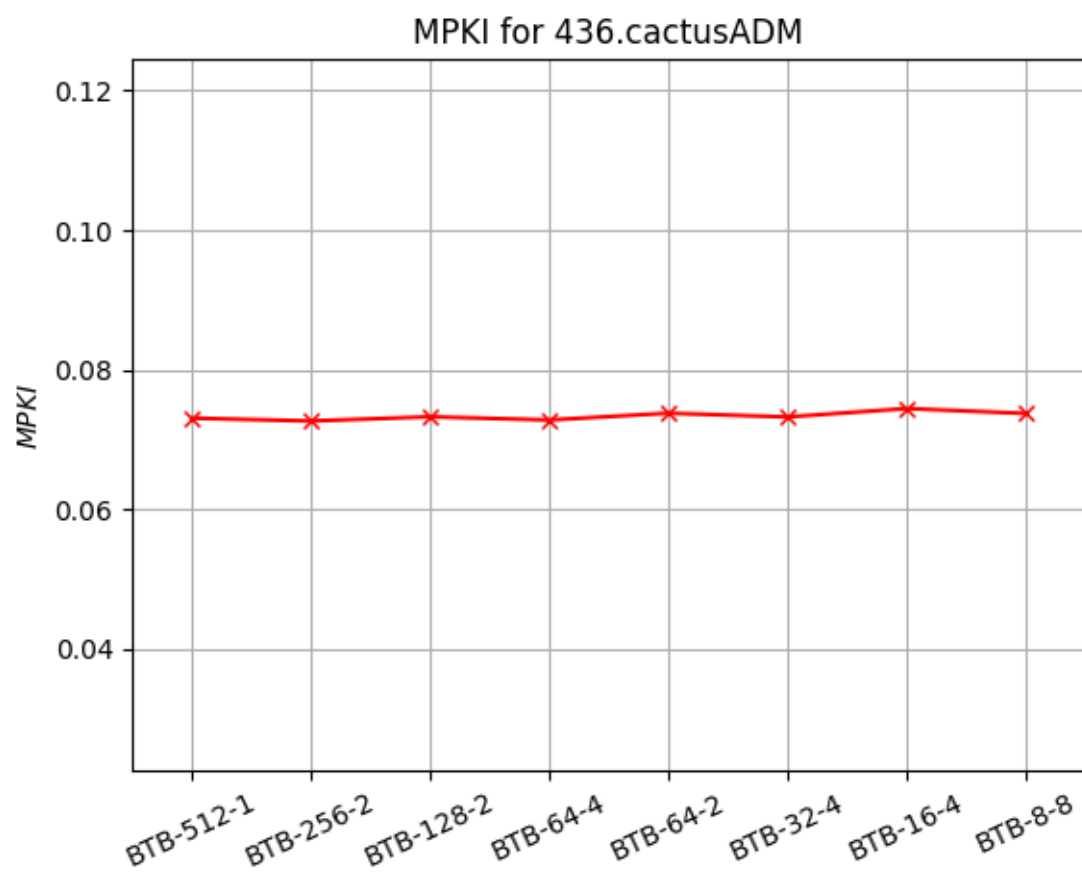
BTB entries	BTB associativity	BTB lines
512	1	512
512	2	256
256	2	128
256	4	64
128	2	64
128	4	32
64	4	16
64	8	8

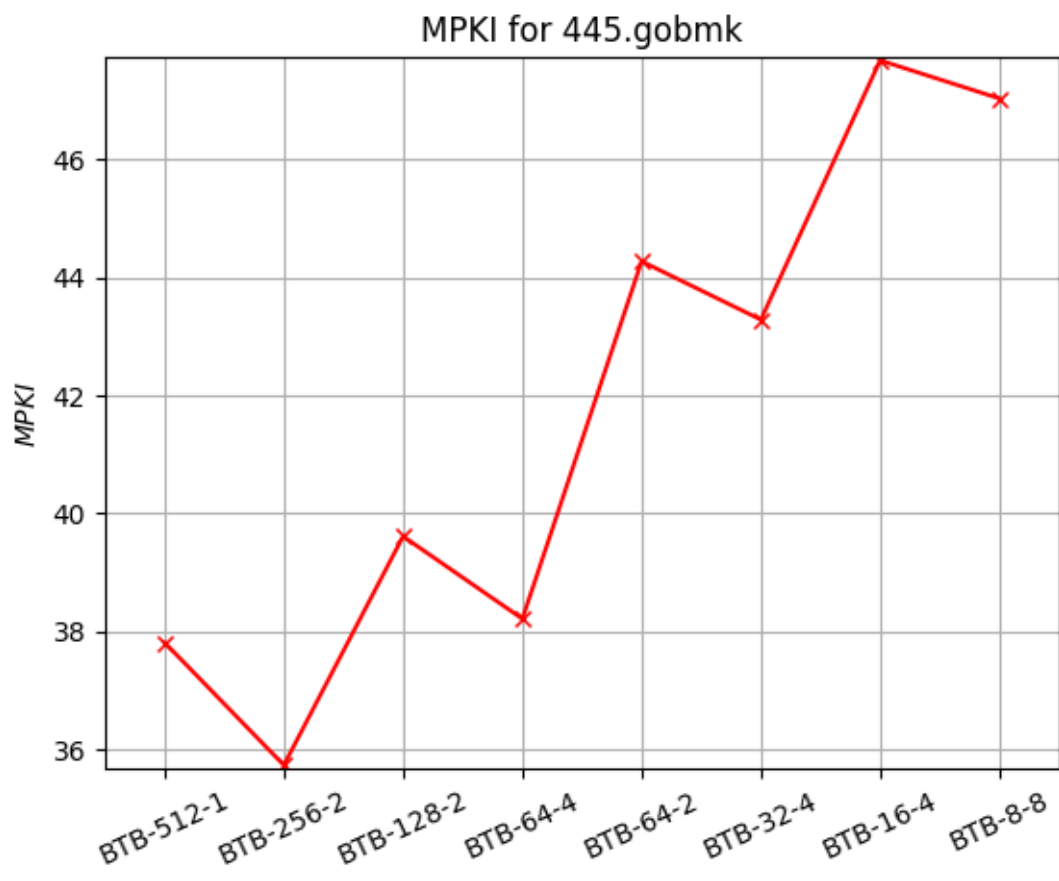
Ακολουθούν τα διαγράμματα που προκύπτουν, ένα για κάθε benchmark.



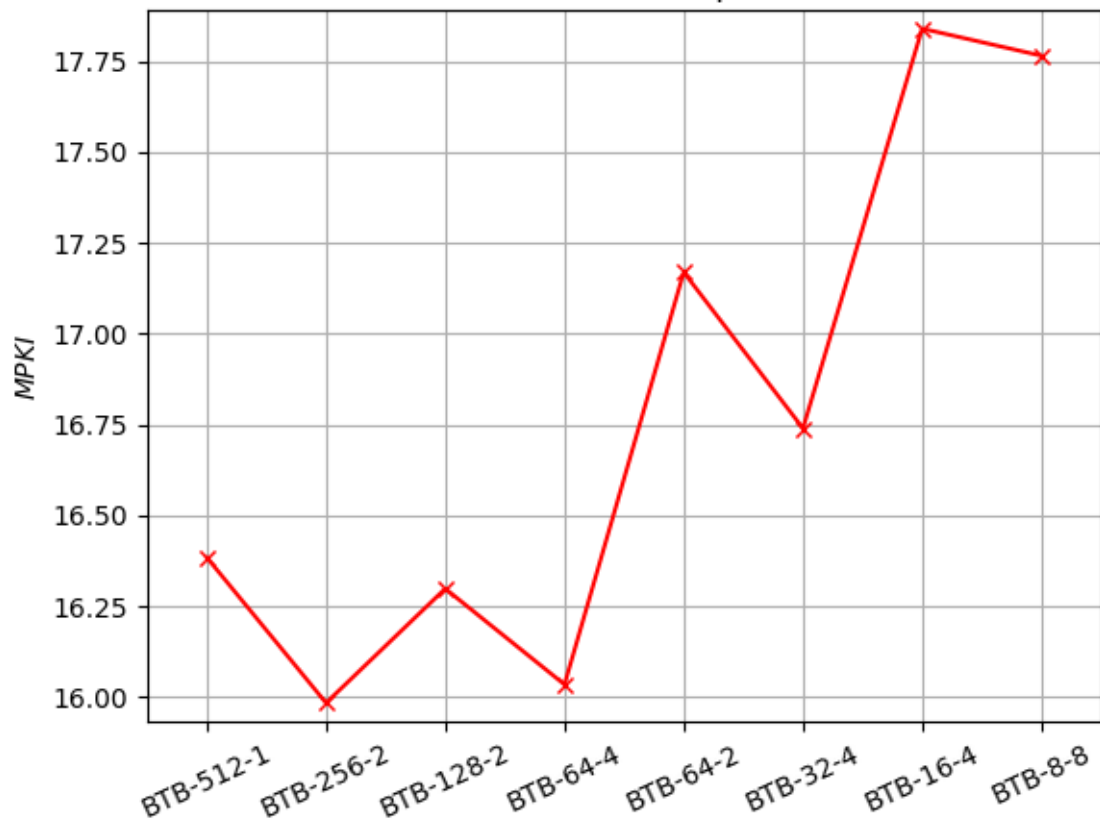




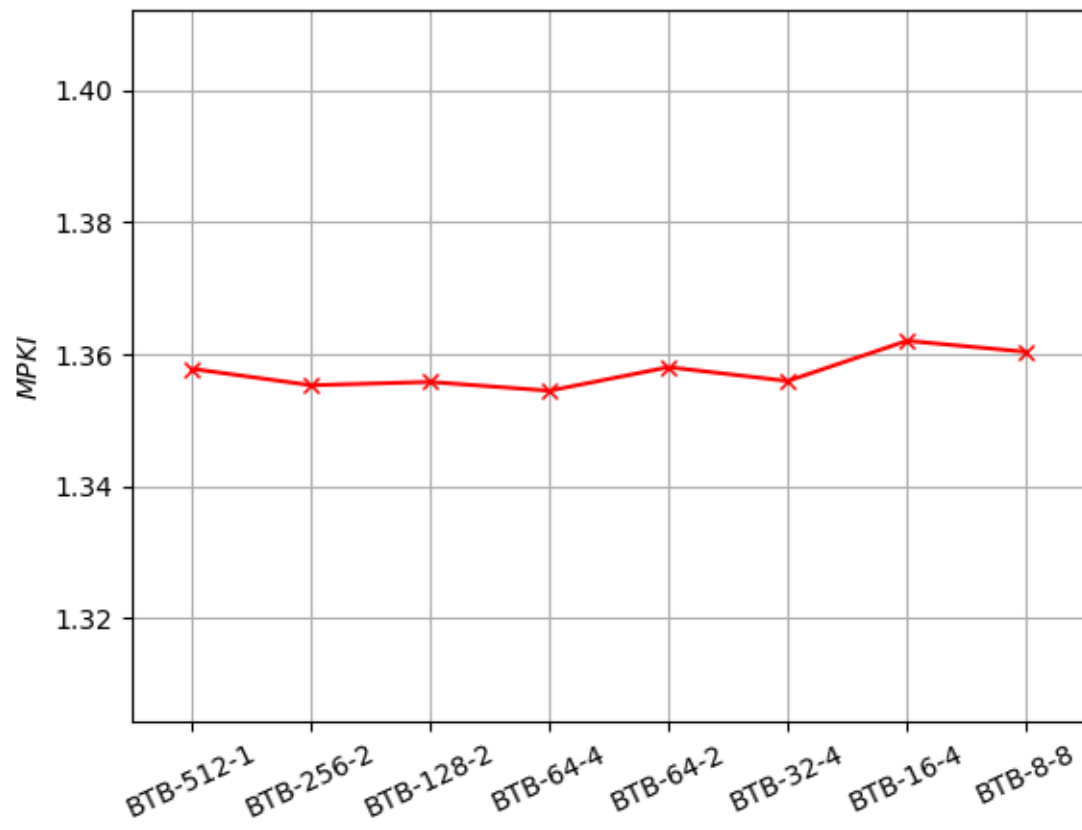


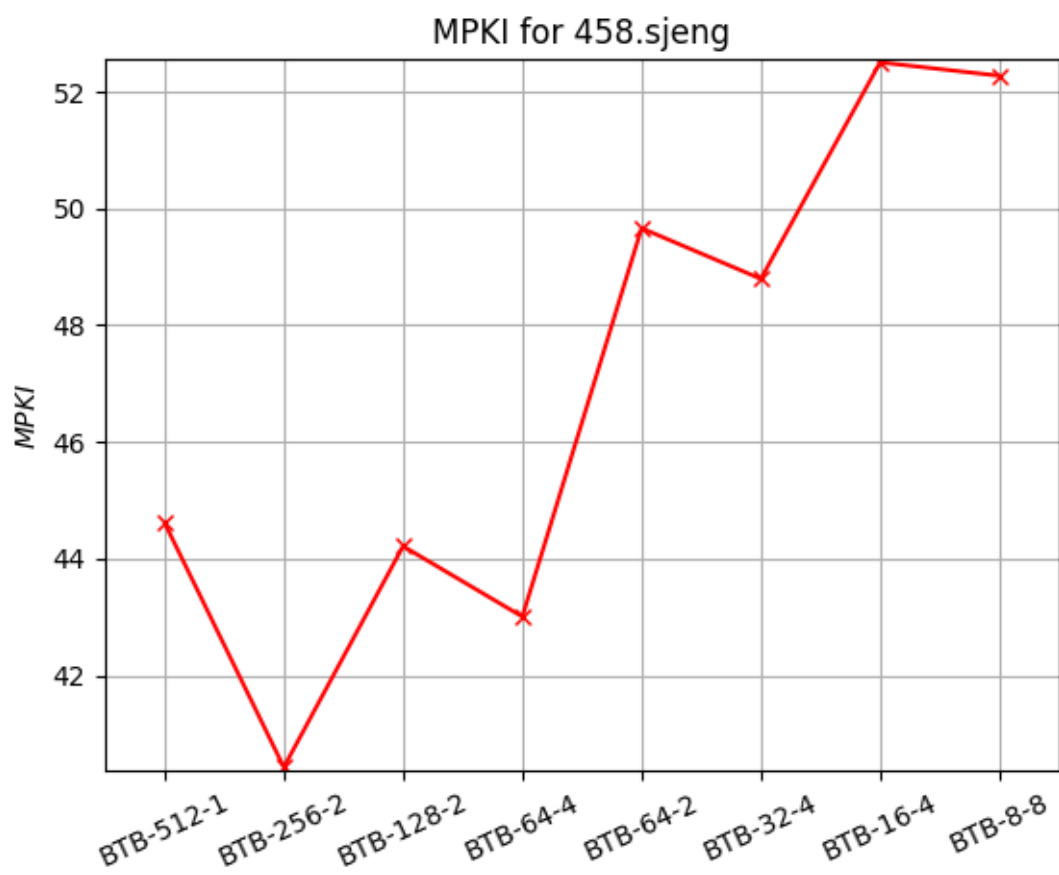


MPKI for 450.soplex

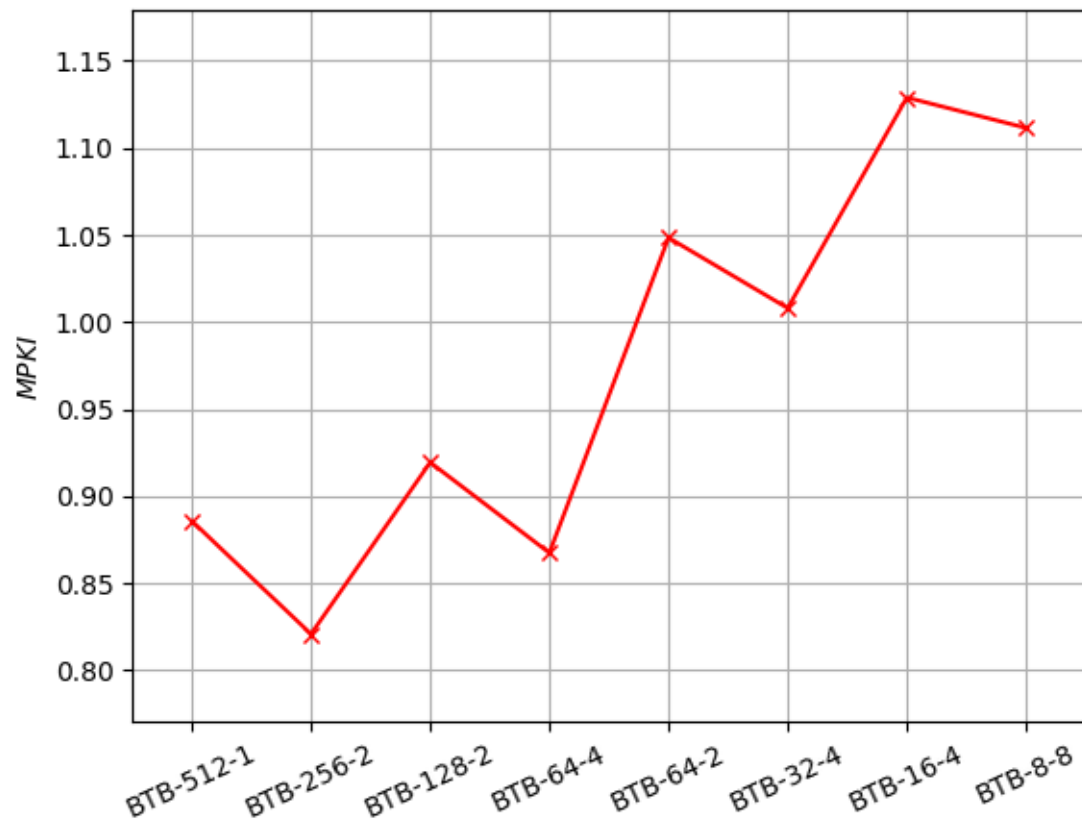


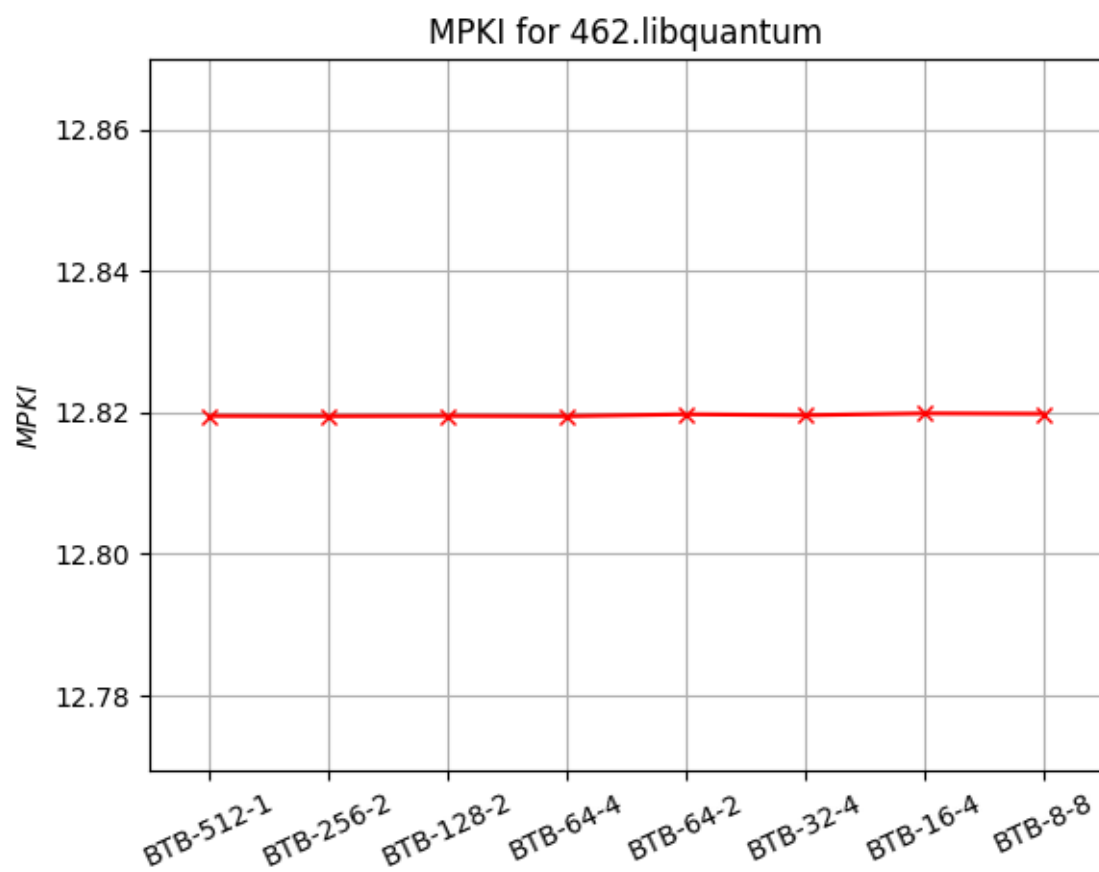
MPKI for 456.hmm



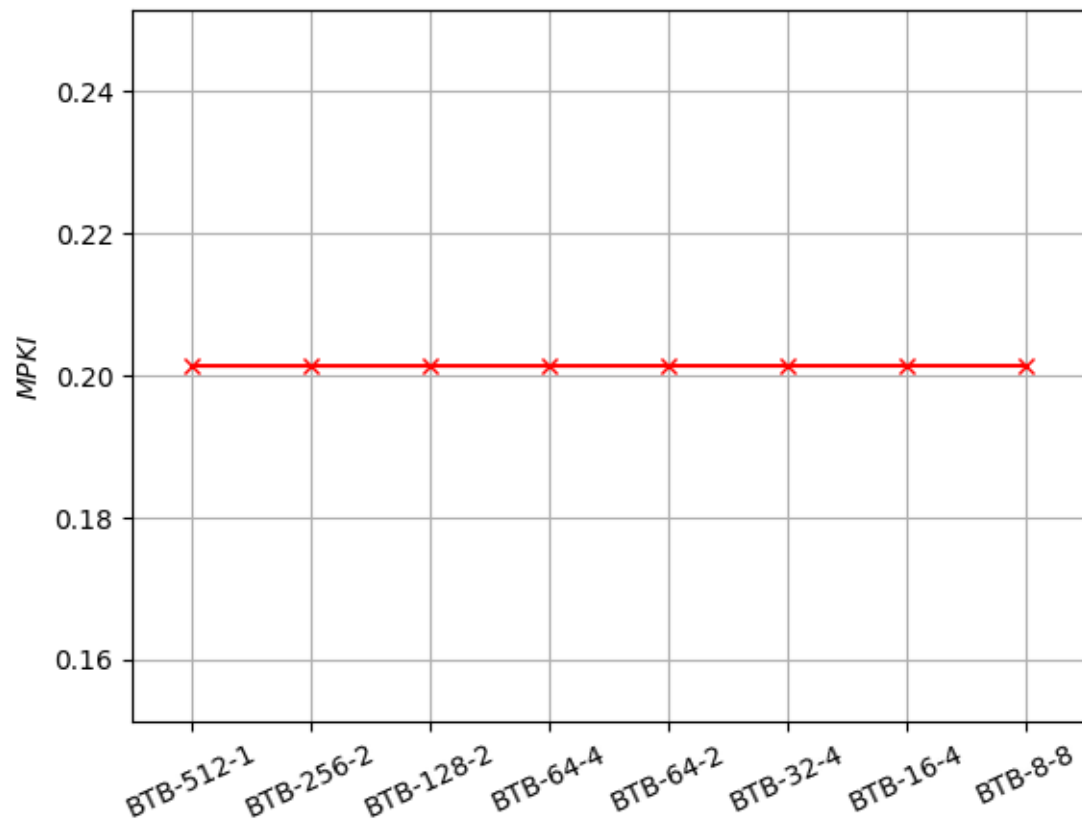


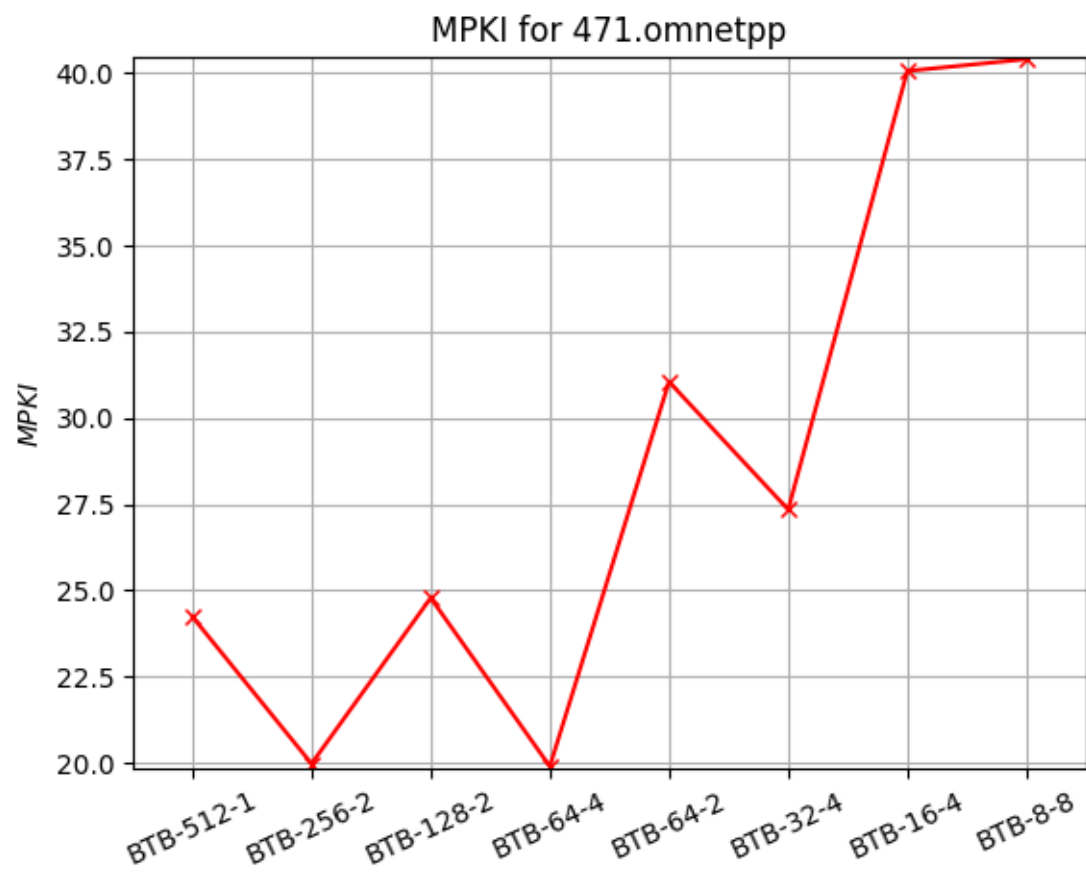
MPKI for 459.GemsFDTD



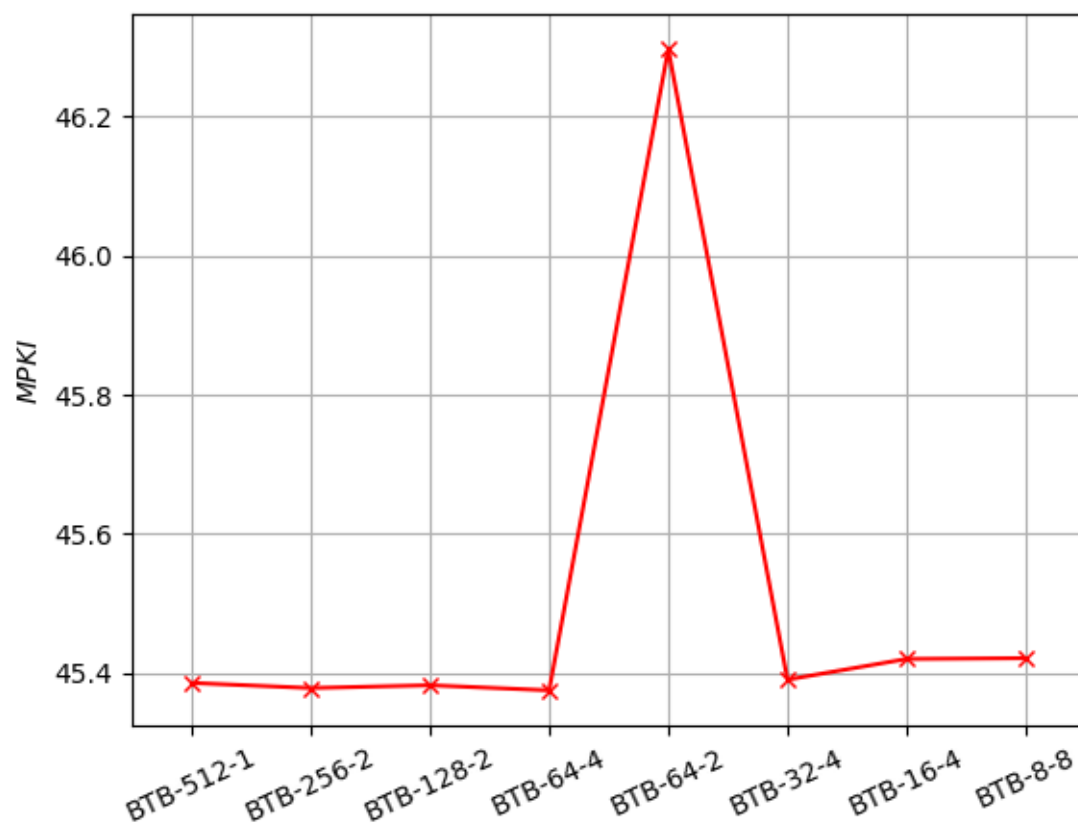


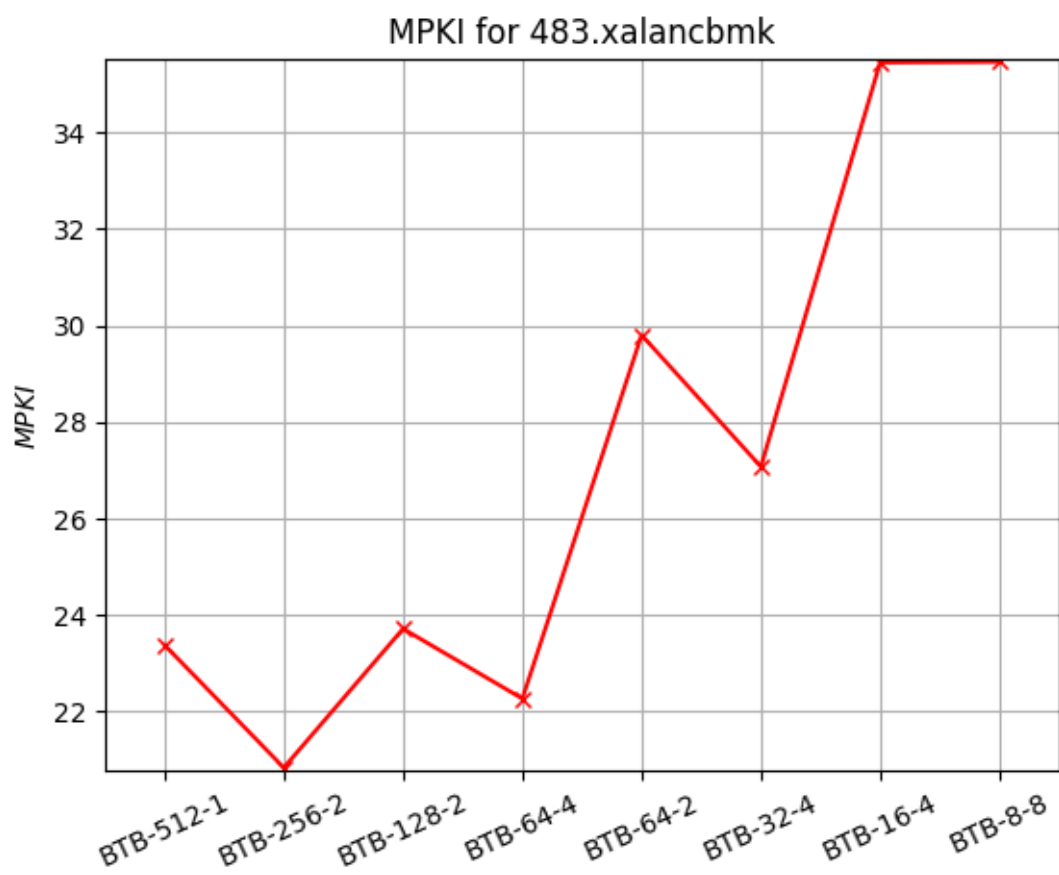
MPKI for 470.lbm

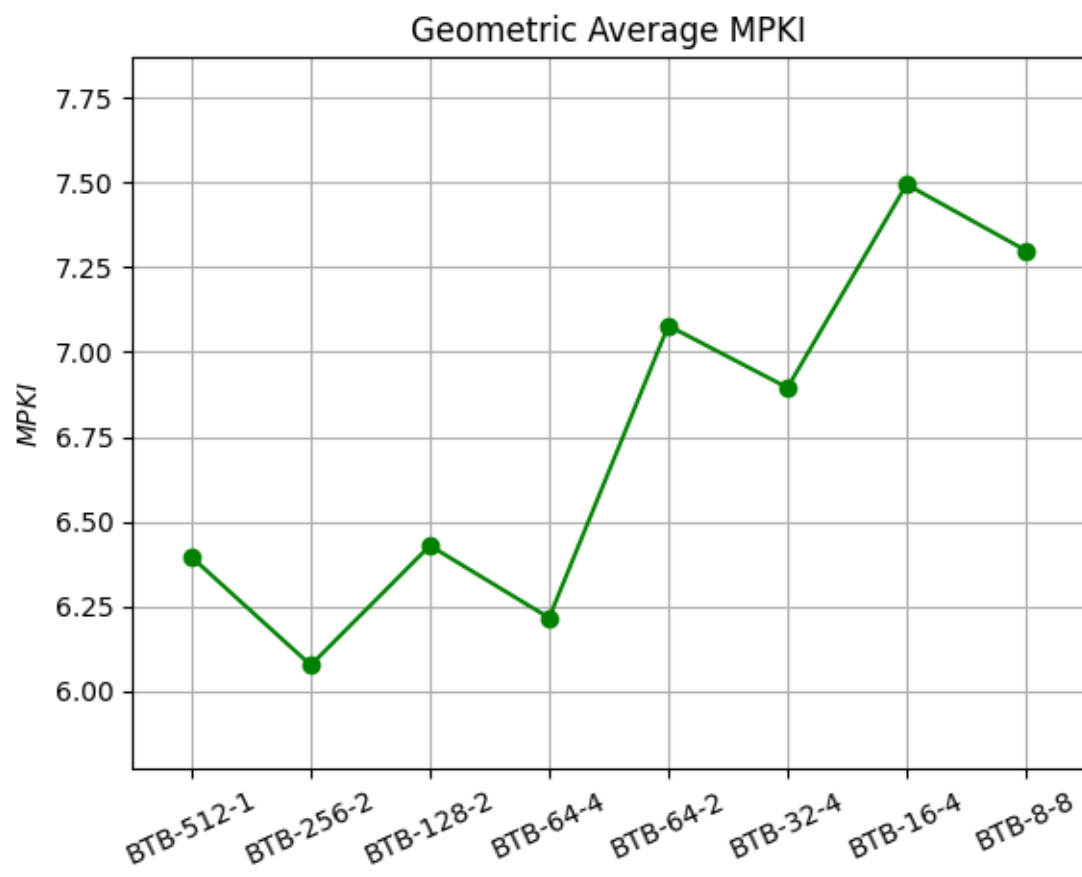




MPKI for 473.astar







Συμπεράσματα

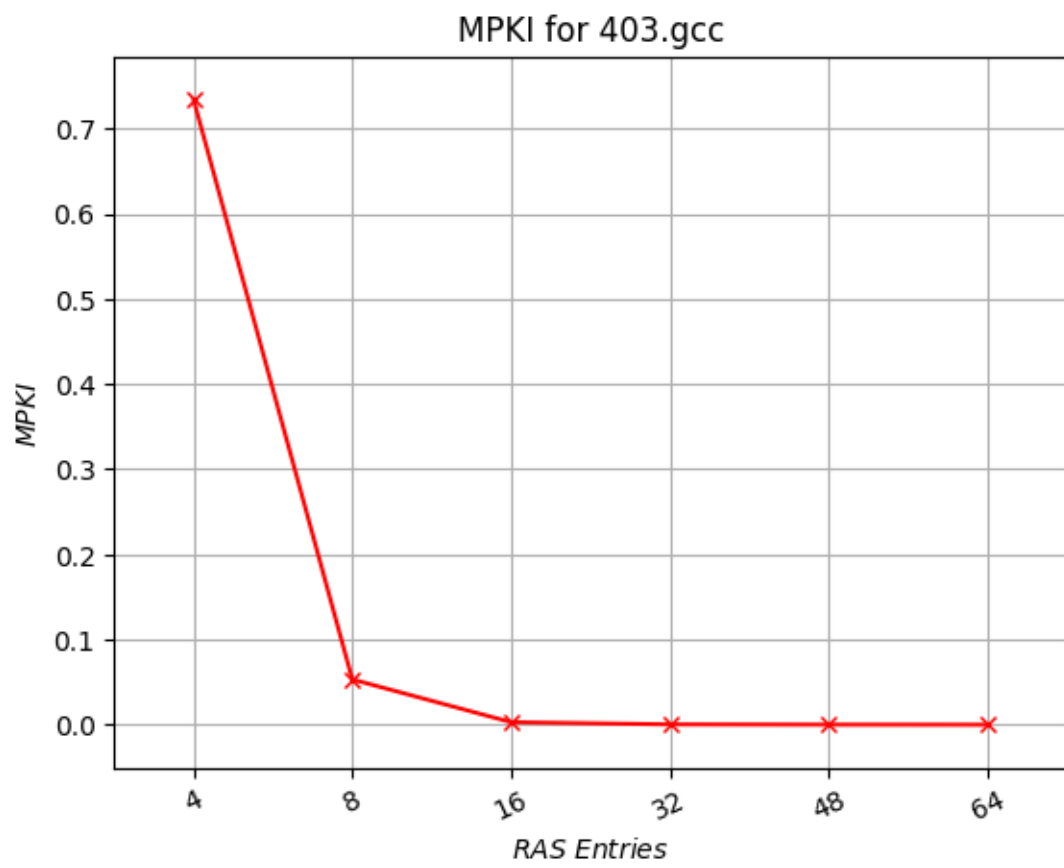
- Στα cactusADM, hmmer, libquantum, lbm παρατηρείται ότι οι διάφορες αλλαγές στο BTB, είτε αυτό αφορά τον αριθμό των BTB entries, είτε τον αριθμό του BTB associativity, δεν επιφέρουν κάποια ουσιαστική αλλαγή στο MPKI, καθώς αυτό παραμένει σταθερό και συνήθως σε αρκετά χαμηλή τιμή, κοντά στη μονάδα, με εξαίρεση το libquantum που έχει τιμές MPKI κοντά στο 13.
- Στο astar, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά με τα παραπάνω benchmarks, με τη μόνη διαφορά να είναι στην περίπτωση του BTB-64-2 (δηλαδή 128 entries, 2 associativity), όπου παρουσιάζεται μία μικρή αύξηση στο MPKI, ενώ, στις υπόλοιπες περιπτώσεις, αυτό παραμένει σε τιμές κοντά στο 45.
- Στα gcc, mcf, gobmk, soplex, sjeng, GemsFDTD, omnetpp, xalancbmk παρατηρείται μία παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή μία αύξηση στο MPKI όσο μειώνεται ο αριθμός των BTB entries και μείωση στο MPKI όσο αυξάνεται το BTB associativity (πχ από 512 entries – 1 associativity σε 512 entries – 2 associativity και ομοίως στα υπόλοιπα).
- Στο zeusmp, παρατηρείται μία συμπεριφορά όπου για υψηλό αριθμό BTB entries (από 256 και πάνω) το MPKI φαίνεται να είναι σχεδόν σταθερό κοντά στην τιμή 2, ενώ για τιμές από 128 και κάτω αρχίζει να αυξάνεται. Όμως, για το BTB-8-8, (δηλαδή 64 entries – 8 associativity), το MPKI μειώνεται και πάλι, δείχνοντας μία προτίμηση στα υψηλά associativity.
- Γενικότερα, επομένως, παρατηρείται μία μείωση του MPKI με την αύξηση του associativity, ακόμα και στις χαμηλότερες τιμές των BTB entries. Ωστόσο, η διαδοχική μείωση του αριθμού των BTB entries, (με ίδιο associativity) επιφέρει έντονη αύξηση του MPKI, όπως φαίνεται και από τα ζευγάρια BTB-128-2, BTB-64-2 (δηλαδή 256 και 128 entries με 2 associativity) στην πλειοψηφία των benchmarks.
- Οι περιπτώσεις BTB-256-2 και BTB-64-4 φαίνεται να έχουν τις καλύτερες επιδόσεις, σχετικά με το MPKI, με βάση και το διάγραμμα των γεωμετρικών μέσων των τιμών. Συγκεκριμένα, ο BTB-256-2 φαίνεται να διατηρεί ένα προβάδισμα, όπως είναι εμφανές και από την πλειοψηφία των benchmarks, επομένως ο BTB-256-2 (δηλαδή με 512 entries, 256 lines και 2 associativity) αποτελεί και την καλύτερη επιλογή.

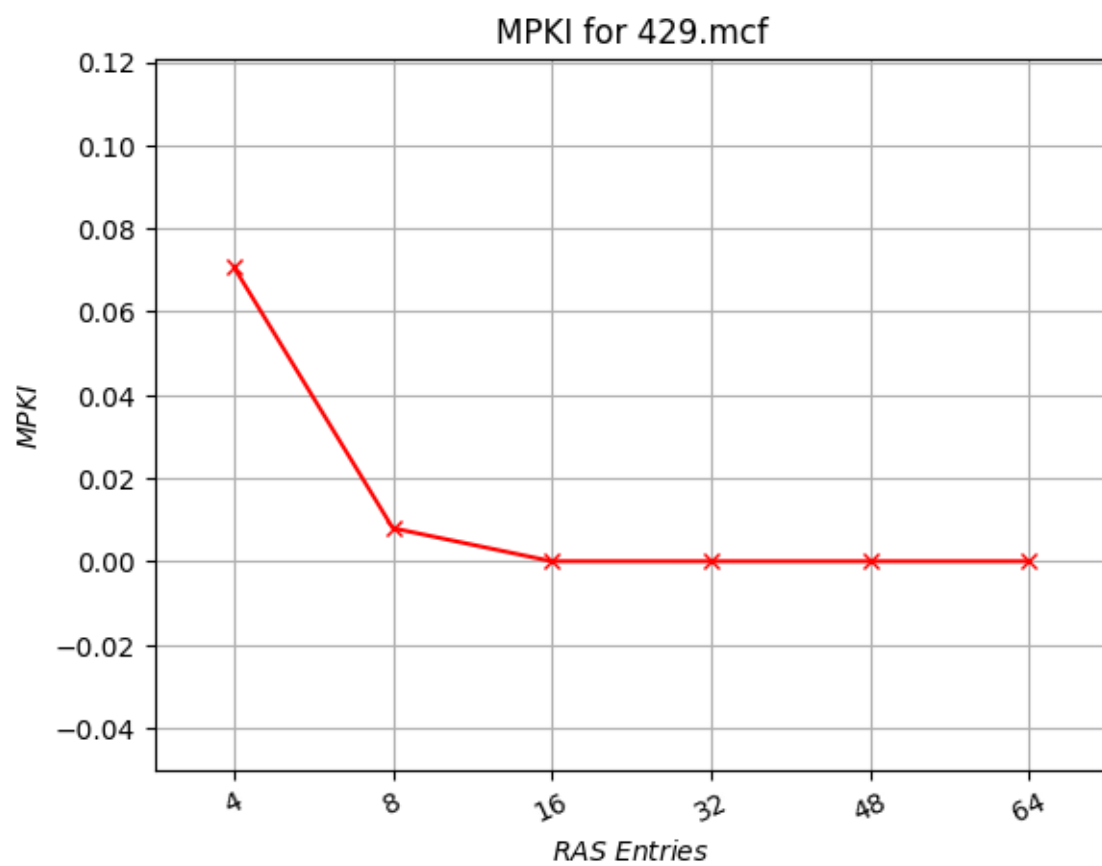
4ο ζητούμενο

Μελέτη του RAS

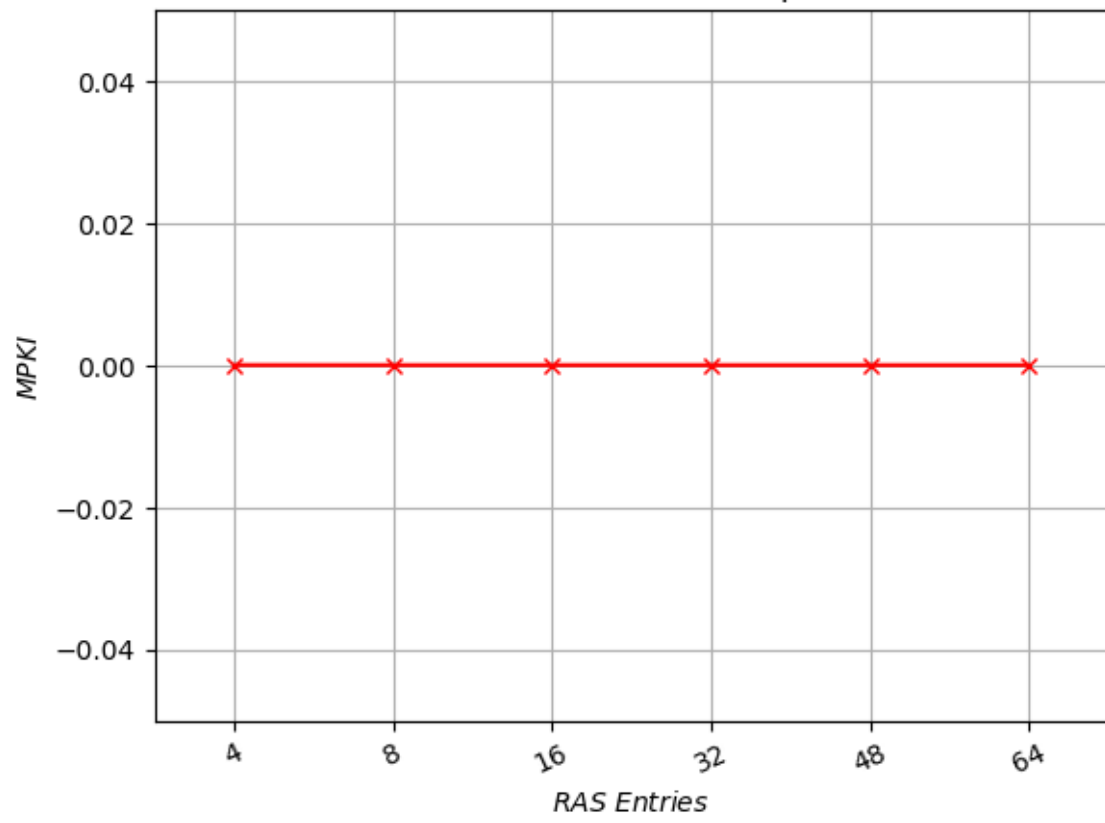
Για αυτό το ζητούμενο μελετάμε το ποσοστό αστοχίας για 4, 8, 16, 32, 48 και 64 εγγραφές στη RAS.

Ακολουθούν τα διαγράμματα που προκύπτουν, ένα για κάθε benchmark.

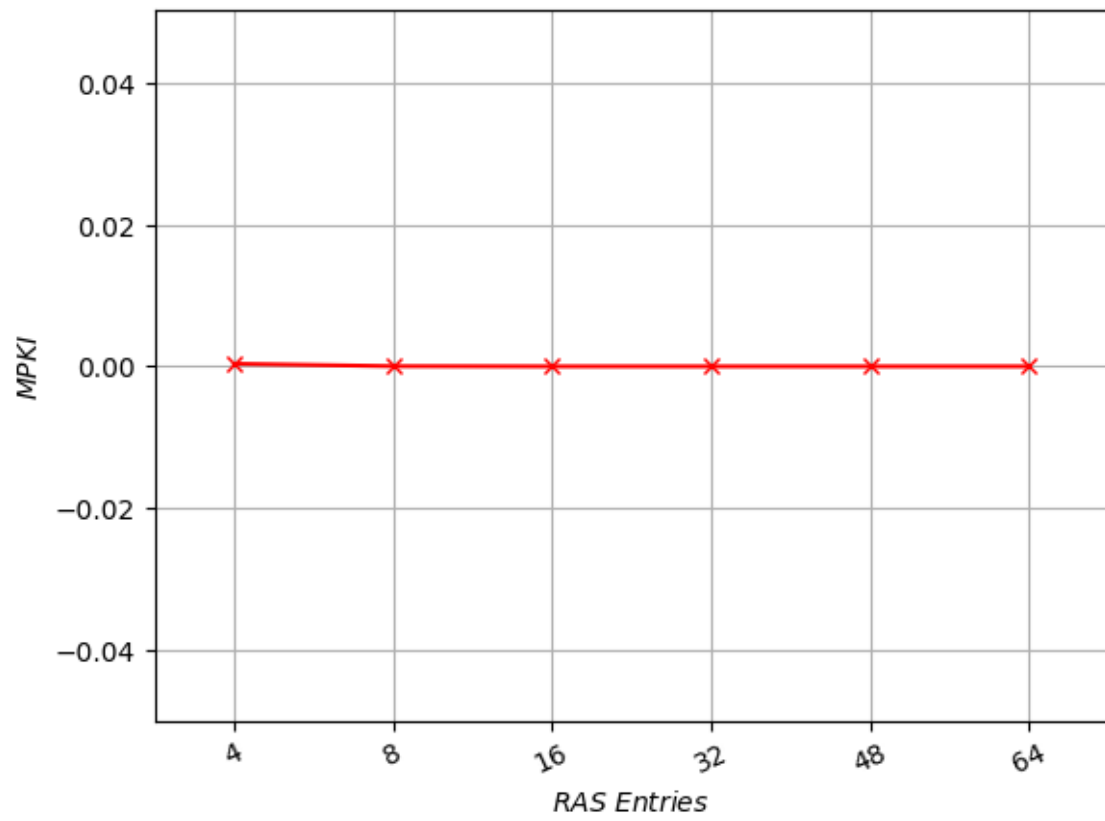




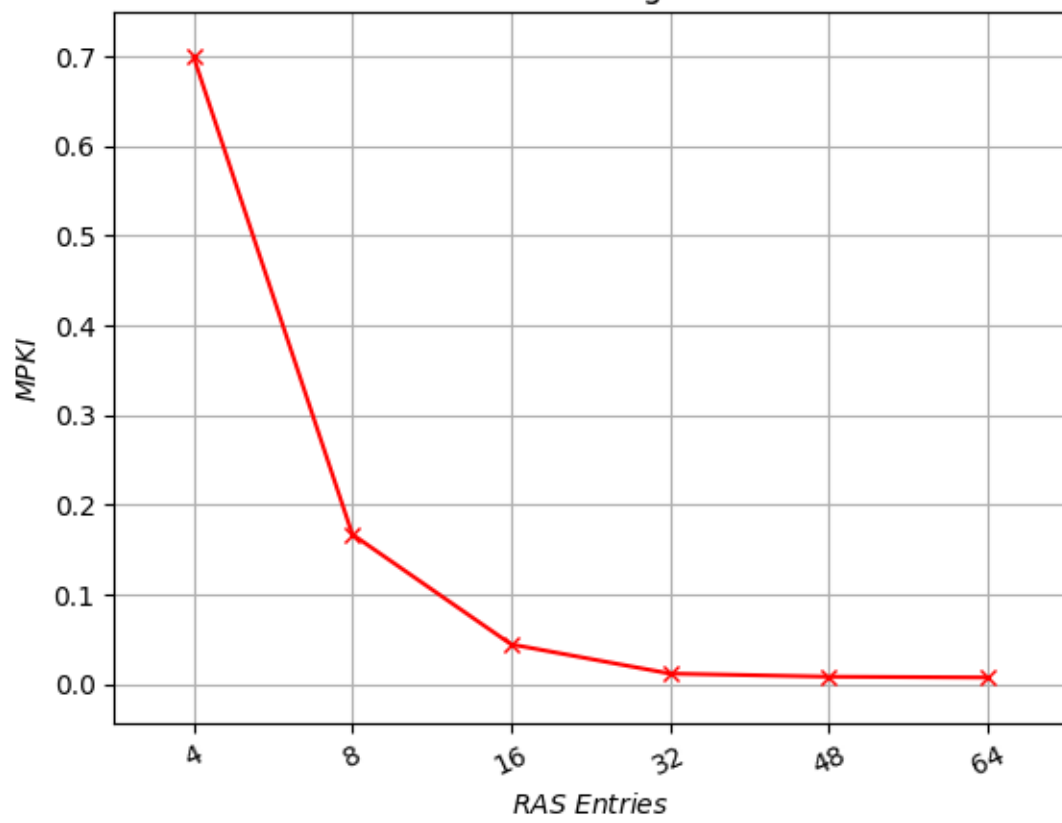
MPKI for 434.zeusmp

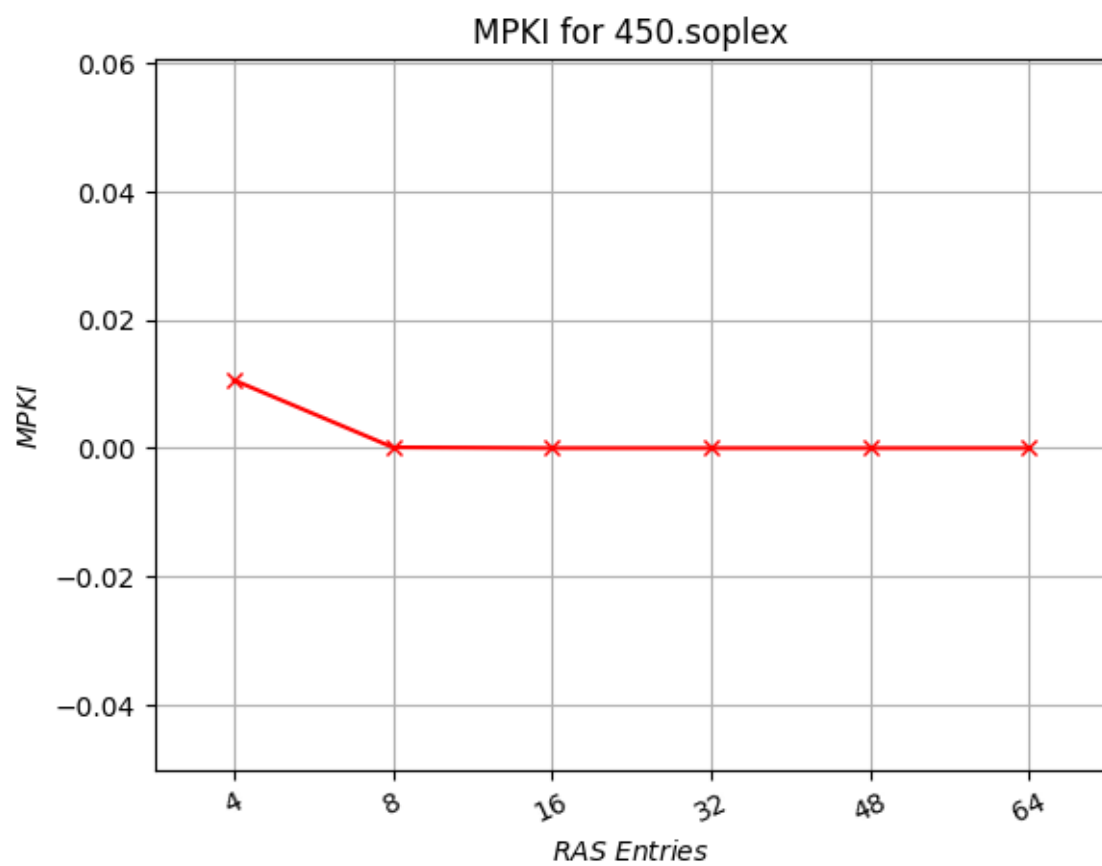


MPKI for 436.cactusADM

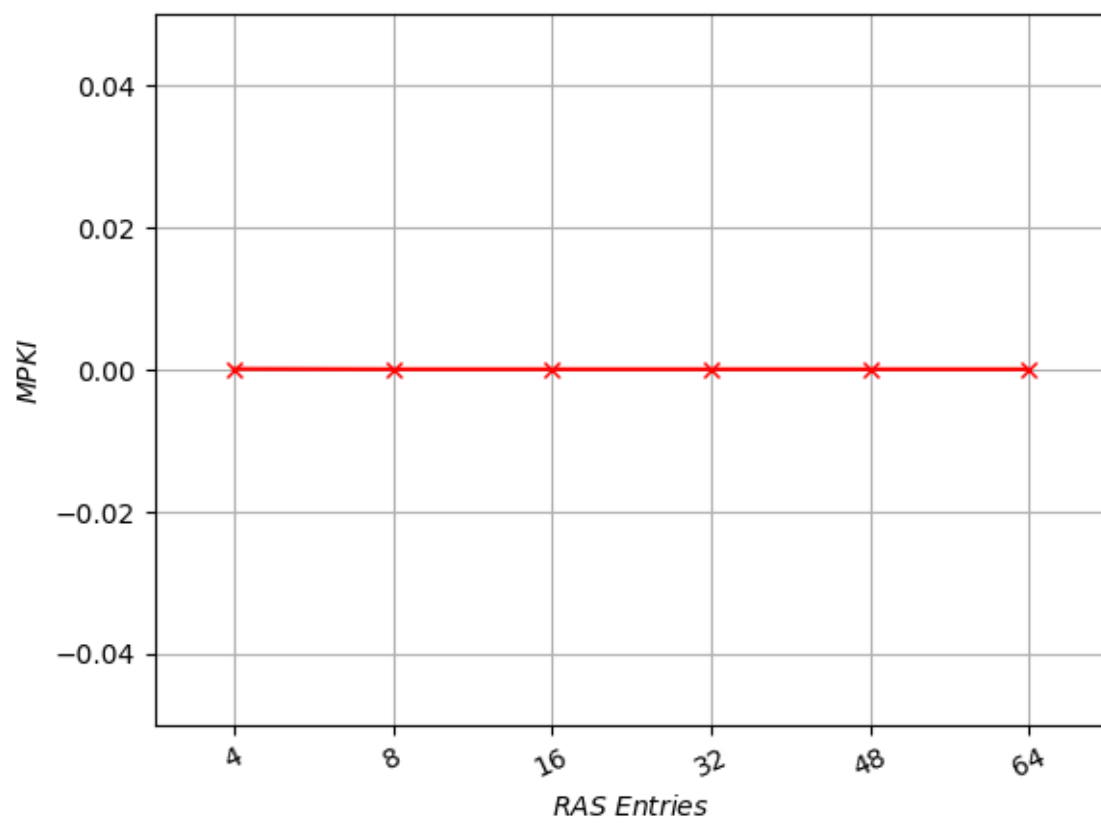


MPKI for 445.gobmk

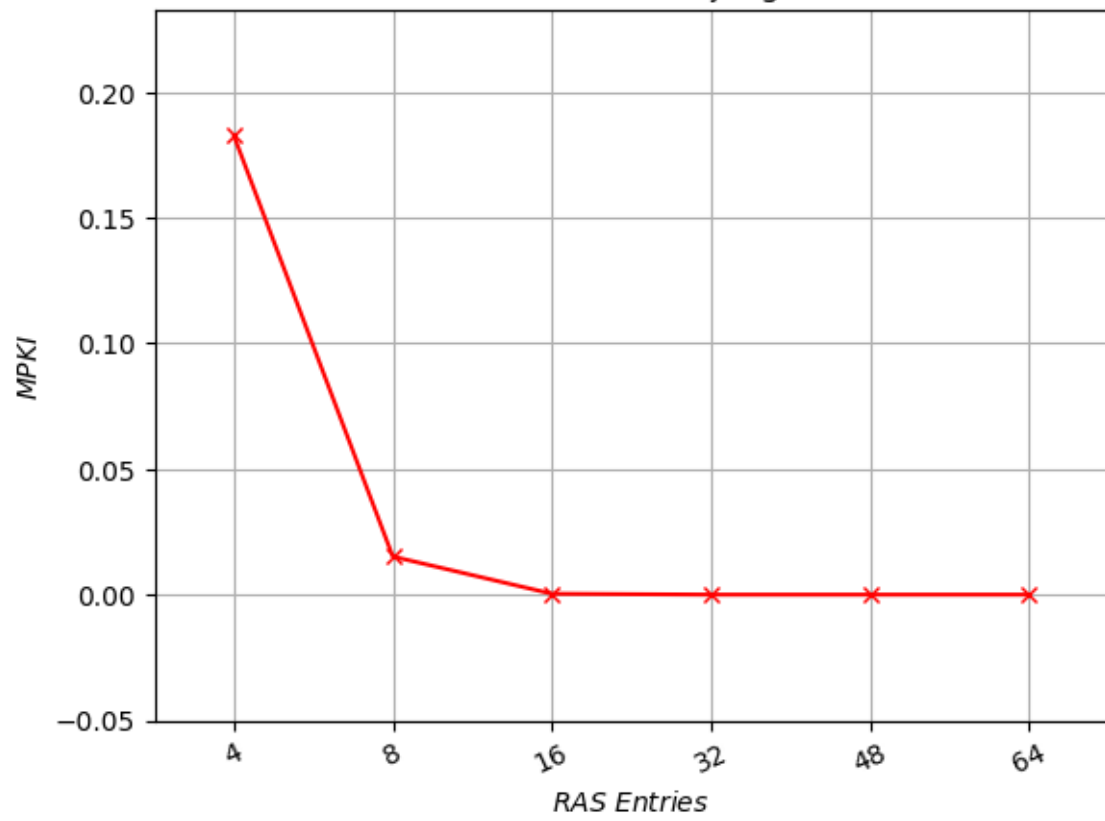


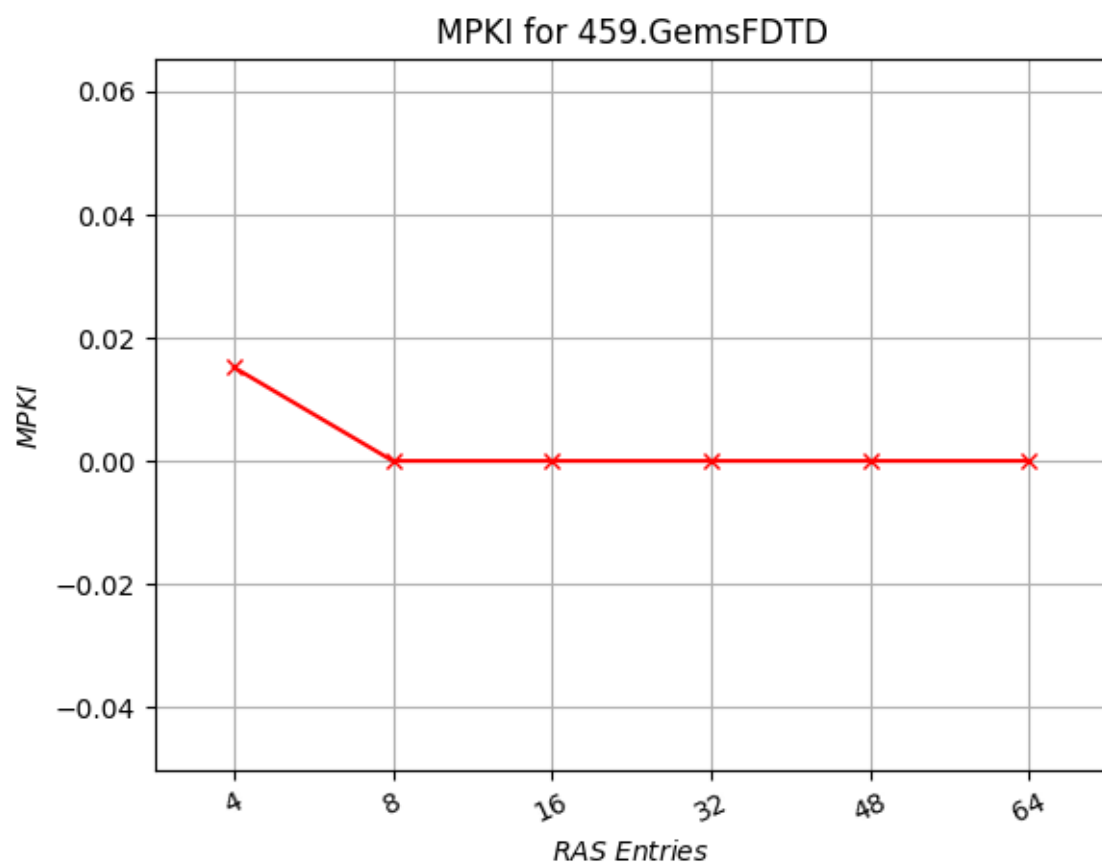


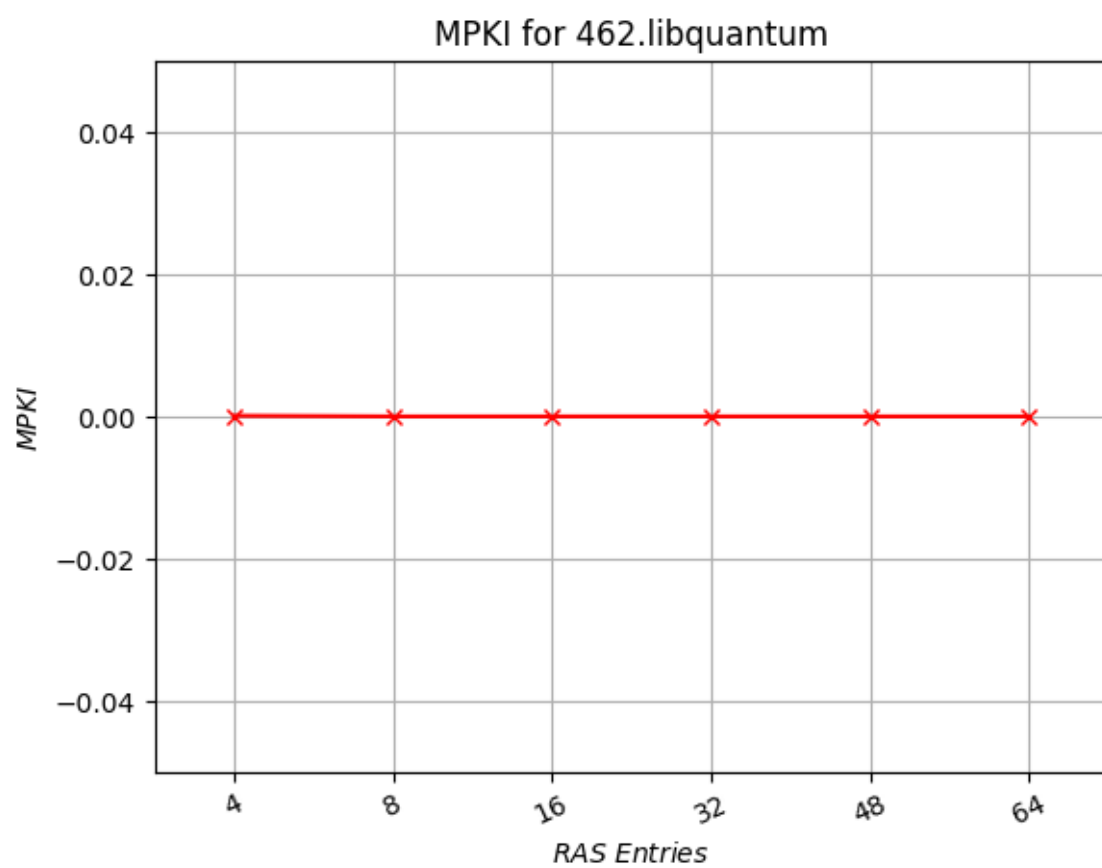
MPKI for 456.hmm

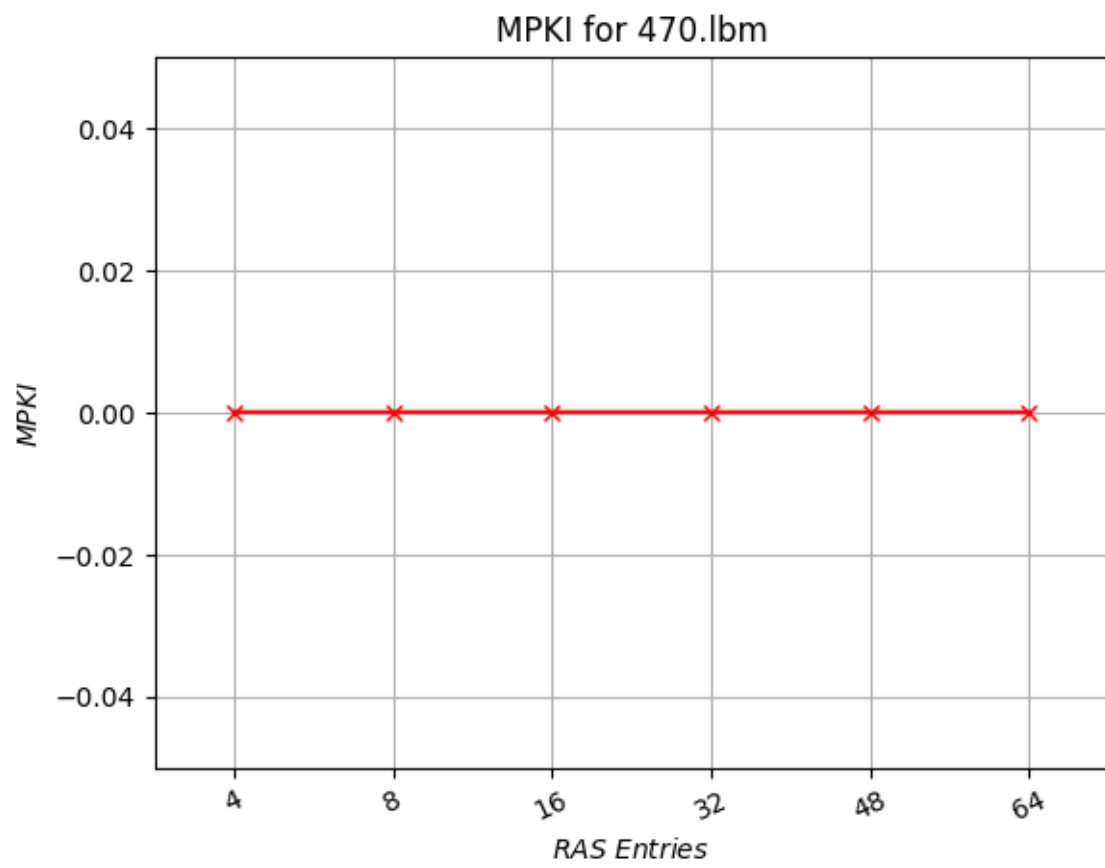


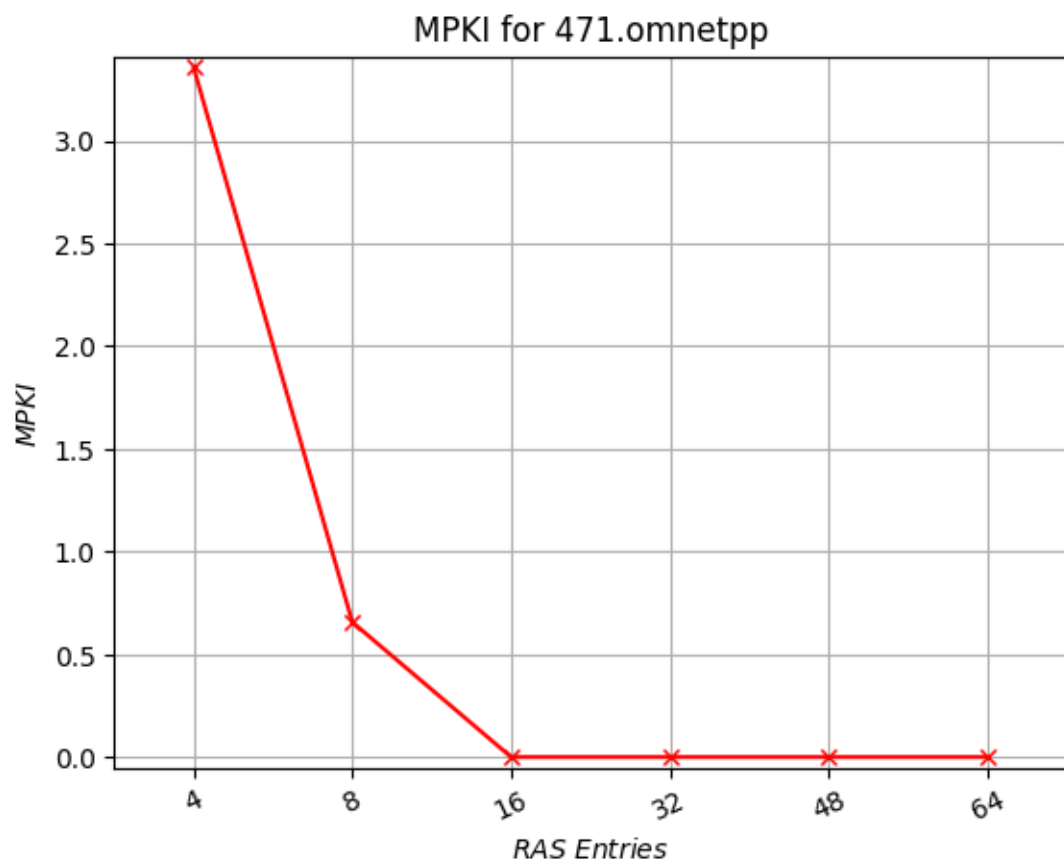
MPKI for 458.sjeng



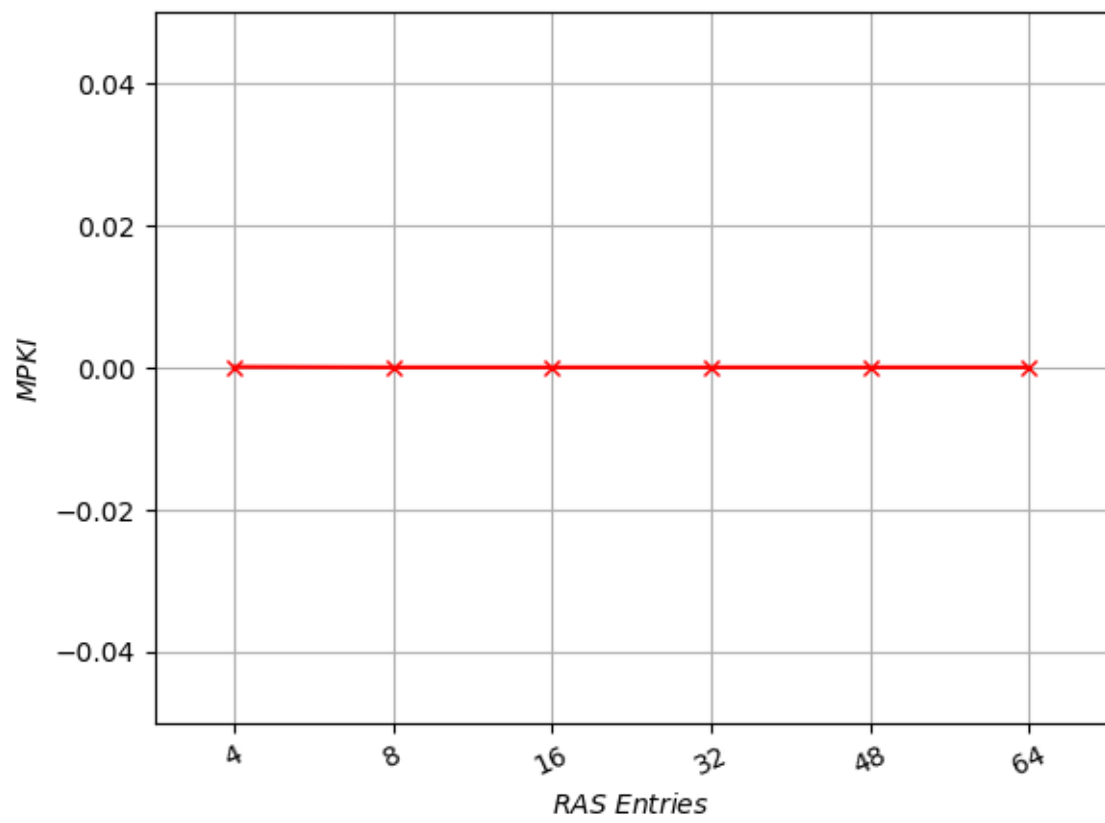




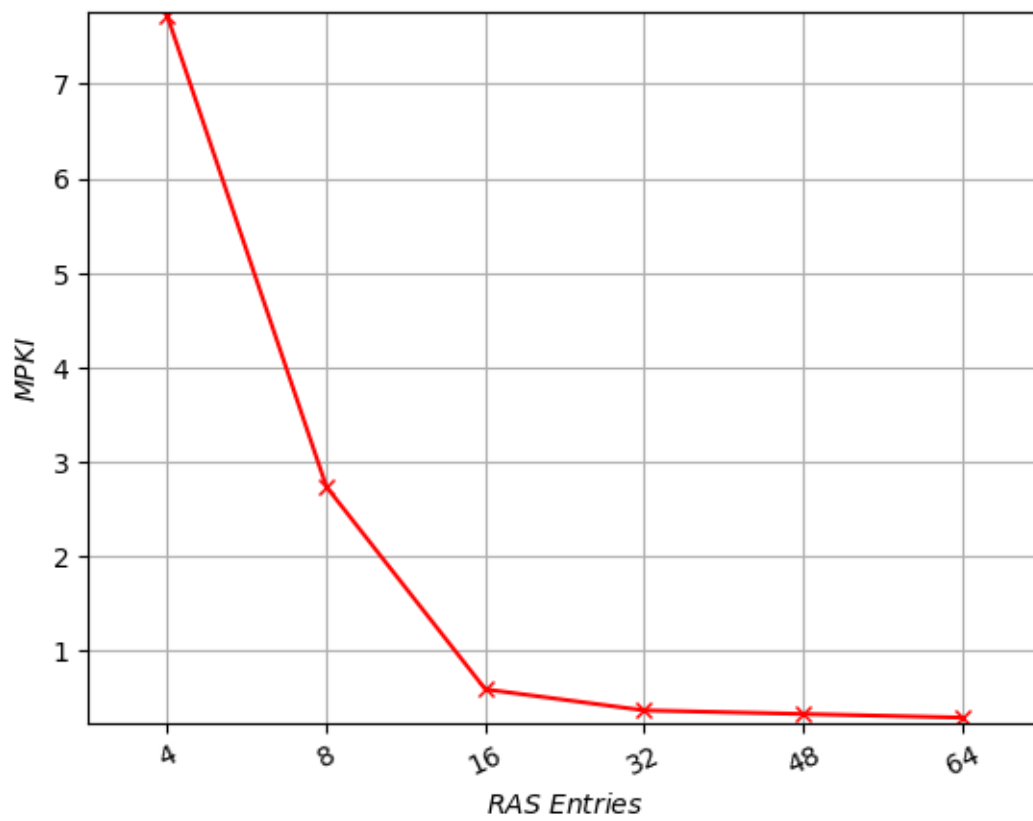


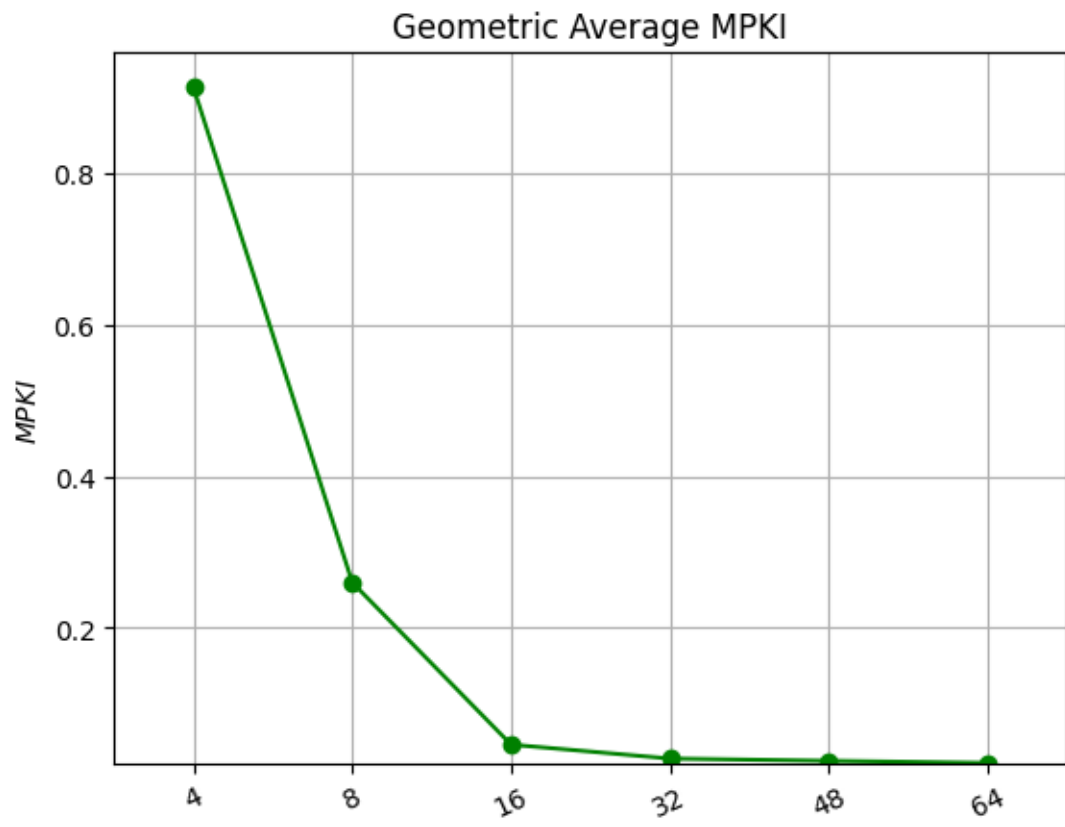


MPKI for 473.astar



MPKI for 483.xalancbmk





Συμπεράσματα

- Στα gcc, mcf, sjeng, omnetpp, παρουσιάζεται παρόμοια συμπεριφορά, δηλαδή μείωση του MPKI καθώς αυξάνονται τα RAS entries από 4 σε 8 και 16, ενώ περαιτέρω αύξηση σε 32, 48 και σε 64 δεν επιφέρει κάποια αλλαγή σε αυτό.
- Στα zeusmp, catcusADM, hmmer, libquantum, lbm, astar, η αύξηση των RAS entries δεν επιφέρει καμία αλλαγή στο MPKI, το οποίο είναι σταθερό και ίσο με 0 σε όλες τις περιπτώσεις, κάτι που σημαίνει ότι αυτά τα benchmarks δεν έχουν ανάγκη από περισσότερες θέσεις στη RAS, δηλαδή δεν υπάρχουν πολλά εμφωλευμένα branches, ώστε να χρειάζεται επαναλαμβανόμενη αποθήκευση διευθύνσεων επιστροφής στη μνήμη και να παράγονται misses, όταν η RAS γεμίσει.
- Στα gobmk, xalancbmk, το MPKI μειώνεται όσο αυξάνονται τα RAS entries από 4 σε 8, 16 και σε 32 και ελάχιστα όταν αυξάνονται περαιτέρω σε 48, έως και καθόλου σε 64, ενώ γενικά με αυτές τις τελευταίες αυξήσεις, το MPKI πλησιάζει στην τιμή 0.
- Στα soplex, GemsFDTD, το MPKI μειώνεται όσο αυξάνονται τα RAS entries από 4 σε 8 και φτάνει την τιμή 0, ενώ στη συνέχεια, περαιτέρω αύξηση σε 16, 32, 48 και 64, δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στο MPKI, κάτι που σημαίνει ότι τα misses λόγω έλλειψης χώρου στη RAS, επιλύονται ολικά με χρήση τουλάχιστον 8 RAS entries.
- Με βάση τις παραπάνω συμπεριφορές, κατά την αύξηση των RAS entries, καθώς και με το διάγραμμα των γεωμετρικών μέσων των τιμών, η καλύτερη επιλογή φαίνεται να είναι οι 16 RAS entries, καθώς περαιτέρω αύξηση δεν επιφέρει σημαντική βελτίωση στο MPKI, αναλογικά με τη δαπάνη σε κόστος.

5ο ζητούμενο

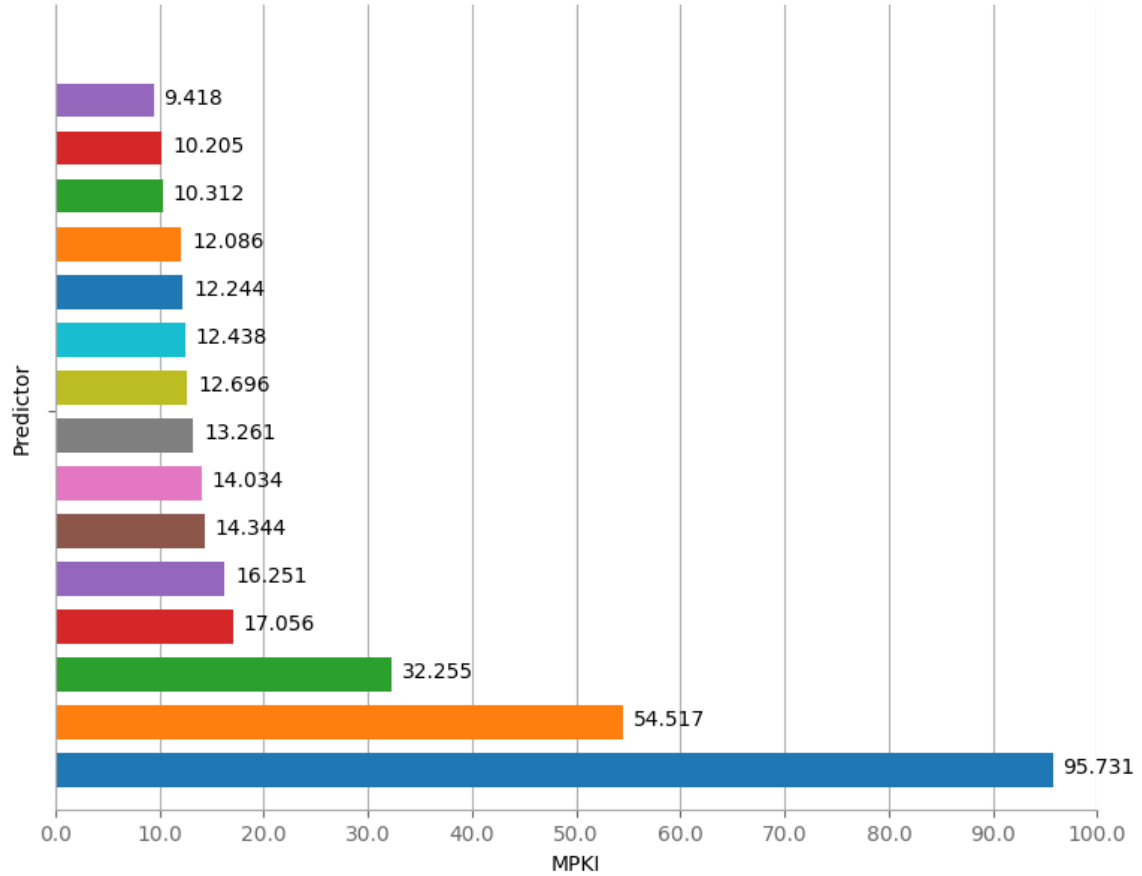
Σύγκριση διαφορετικών predictors

Για αυτό το ζητούμενο μελετάμε μία πληθώρα διαφορετικών predictors και συγκρίνουμε τις επιδόσεις τους. Συγκεκριμένα, θα μελετηθούν οι παρακάτω predictors:

- Static AlwaysTaken
- Static BTFNT (BackwardTaken-FowardNotTaken)
- Nbit-16K-2, από το 4.2(ii)
- Pentium-M
- Local-History: PHT (8K, 2) – BHT(4K, 4)
- Local-History: PHT (8K, 2) – BHT(8K, 2)
- Global-History: PHT (16K, 2) – BHR(4)
- Global-History: PHT (8K, 4) – BHR(4)
- Global-History: PHT (16K, 2) – BHR(8)
- Global-History: PHT (8K, 4) – BHR(8)
- Alpha 21264
- Tournament Hybrid 1K (Nbit-8K-2, Nbit-2K-8)
- Tournament Hybrid 1K (Global-History: PHT(8K, 2) – BHR(2), Nbit-8K-2)
- Tournament Hybrid 2K (Global-History: PHT(8K, 2) – BHR(2), Nbit-16K-1)
- Tournament Hybrid 1K (Global-History: PHT(8K, 2) – BHR(5), Local-History: PHT (2K, 4) – BHT(4K, 2))

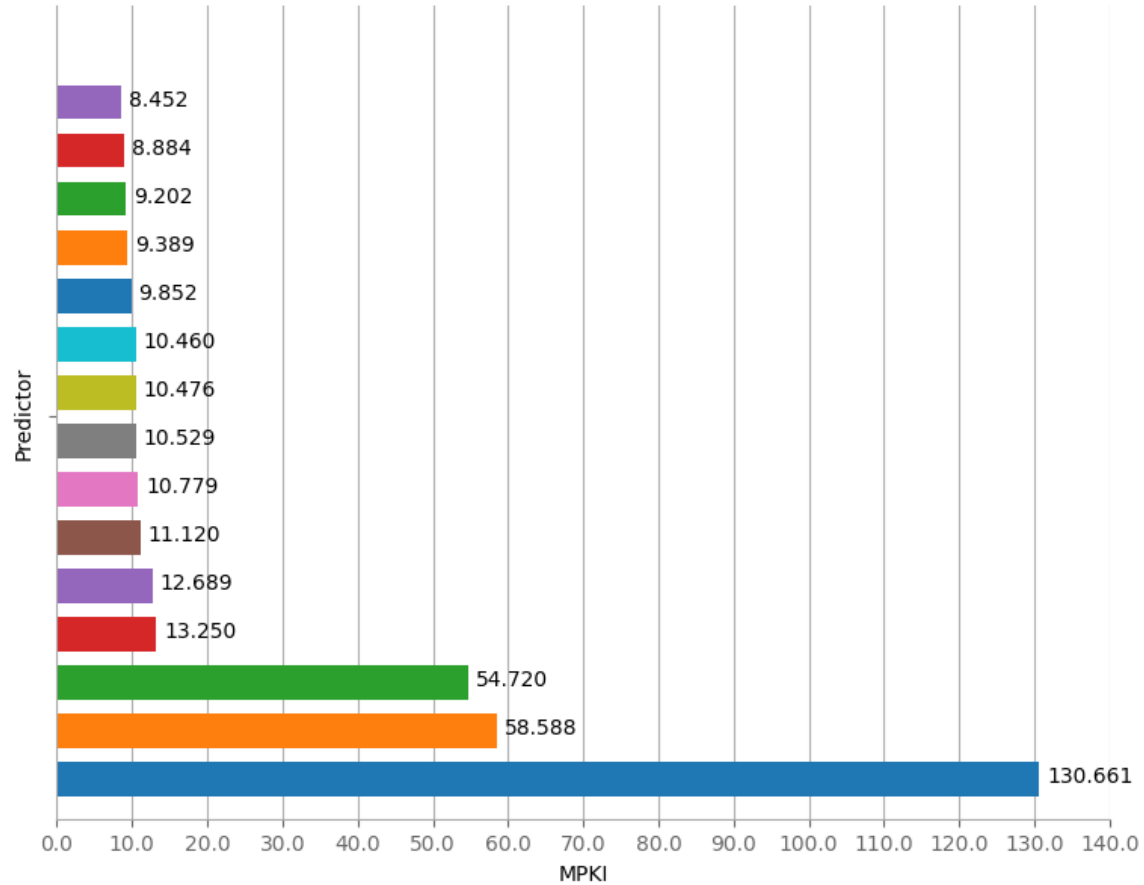
Ακολουθούν τα διαγράμματα που προκύπτουν, ένα για κάθε benchmark.

Predictors comparison for 403-gcc



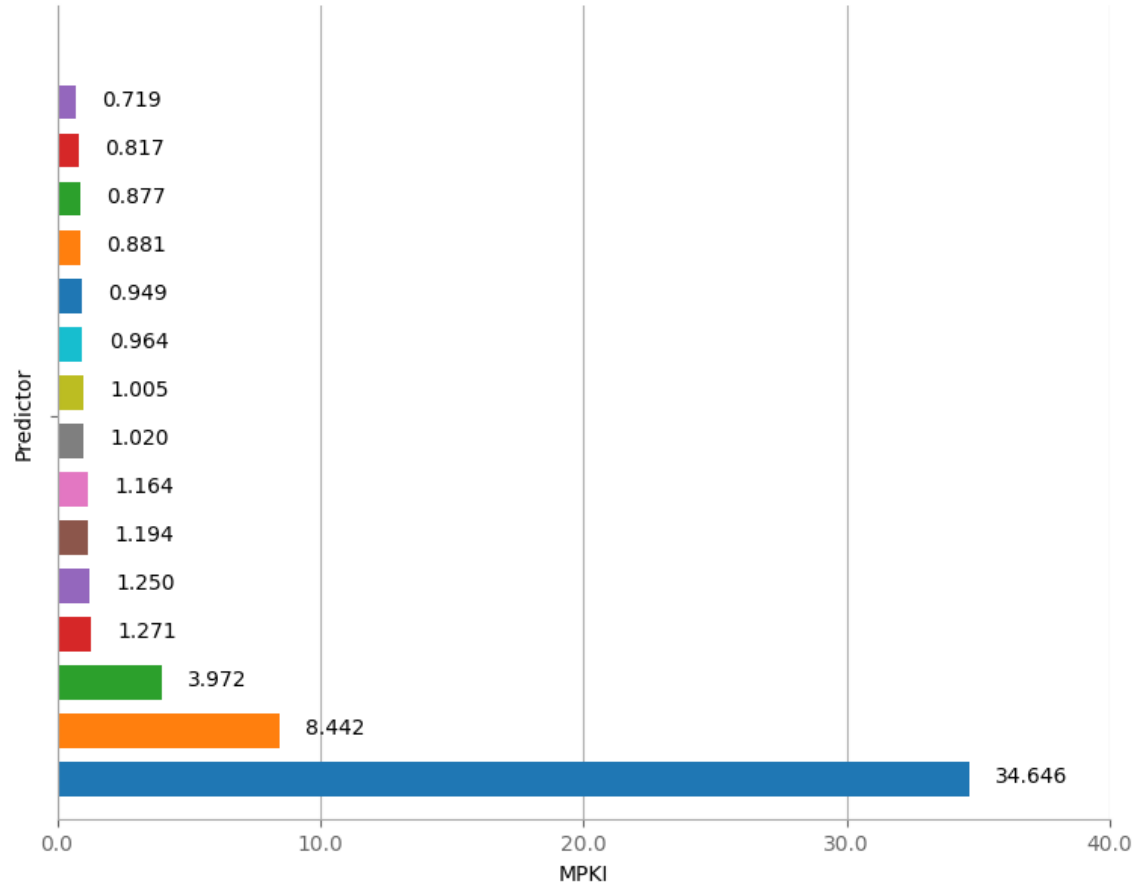
[MPKI: 9.418]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 10.205]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 10.312]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 12.086]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 12.244]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 12.438]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 12.696]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 13.261]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 14.034]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 14.344]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 16.251]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 17.056]	Nbit-16K-2
[MPKI: 32.255]	Pentium-M
[MPKI: 54.517]	BTFNTPredictor
[MPKI: 95.731]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 429-mcf



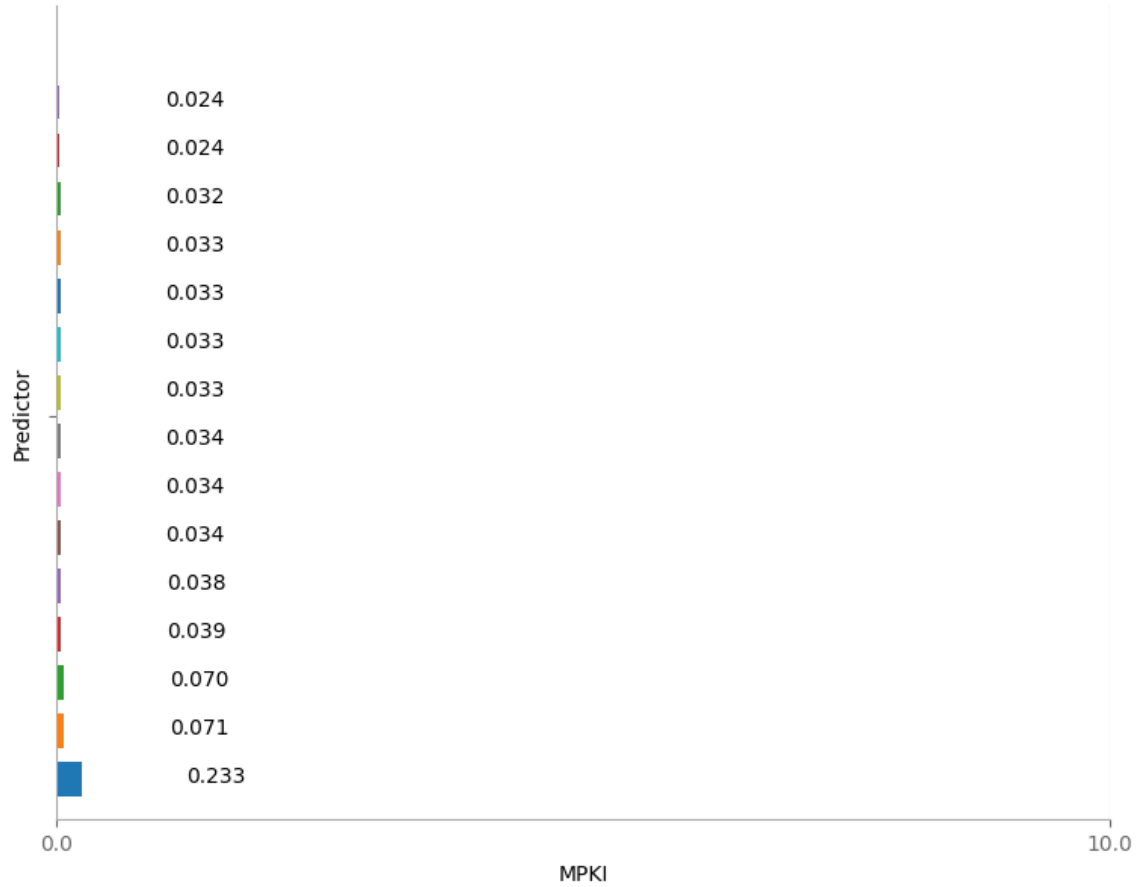
[MPKI: 8.452]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 8.884]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 9.202]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 9.389]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 9.852]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 10.460]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 10.476]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 10.529]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 10.779]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 11.120]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 12.689]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 13.250]	Nbit-16K-2
[MPKI: 54.720]	Pentium-M
[MPKI: 58.588]	BTFNTPredictor
[MPKI: 130.661]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 434-zeusmp



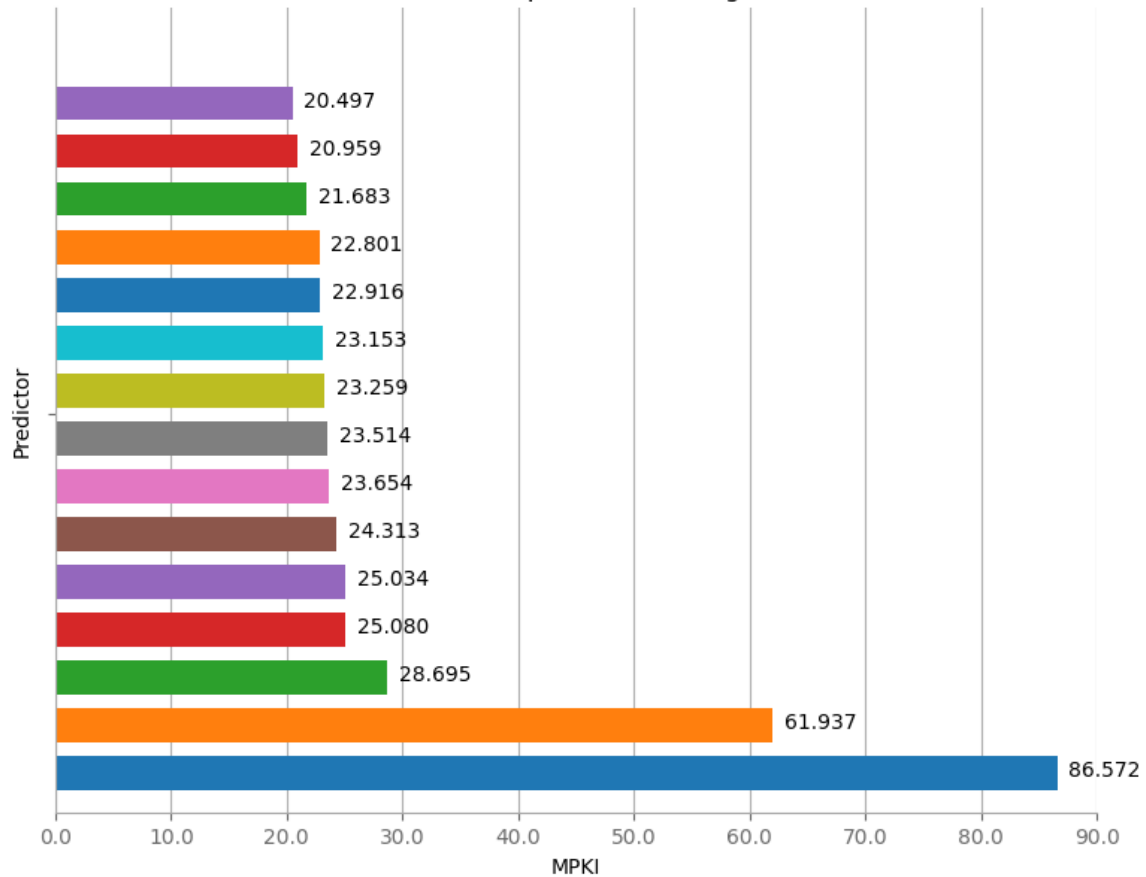
[MPKI: 0.719]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 0.817]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 0.877]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 0.881]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 0.949]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 0.964]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 1.005]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 1.020]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 1.164]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 1.194]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 1.250]	Nbit-16K-2
[MPKI: 1.271]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 3.972]	Pentium-M
[MPKI: 8.442]	BTFNTPredictor
[MPKI: 34.646]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 436-cactusADM



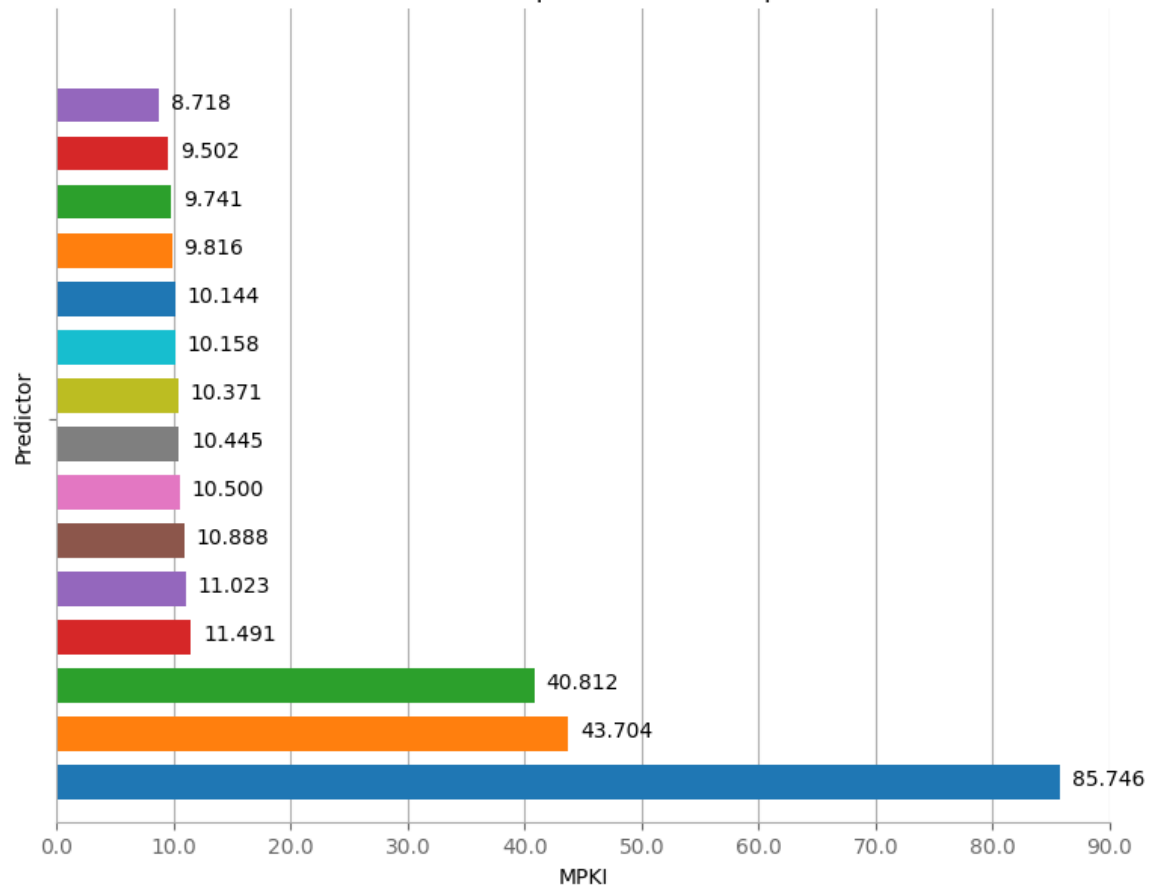
[MPKI: 0.024]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 0.024]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 0.032]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 0.033]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 0.033]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 0.033]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 0.033]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 0.034]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 0.034]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 0.034]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 0.038]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 0.039]	Nbit-16K-2
[MPKI: 0.070]	Pentium-M
[MPKI: 0.071]	BTFNTPredictor
[MPKI: 0.233]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 445-gobmk



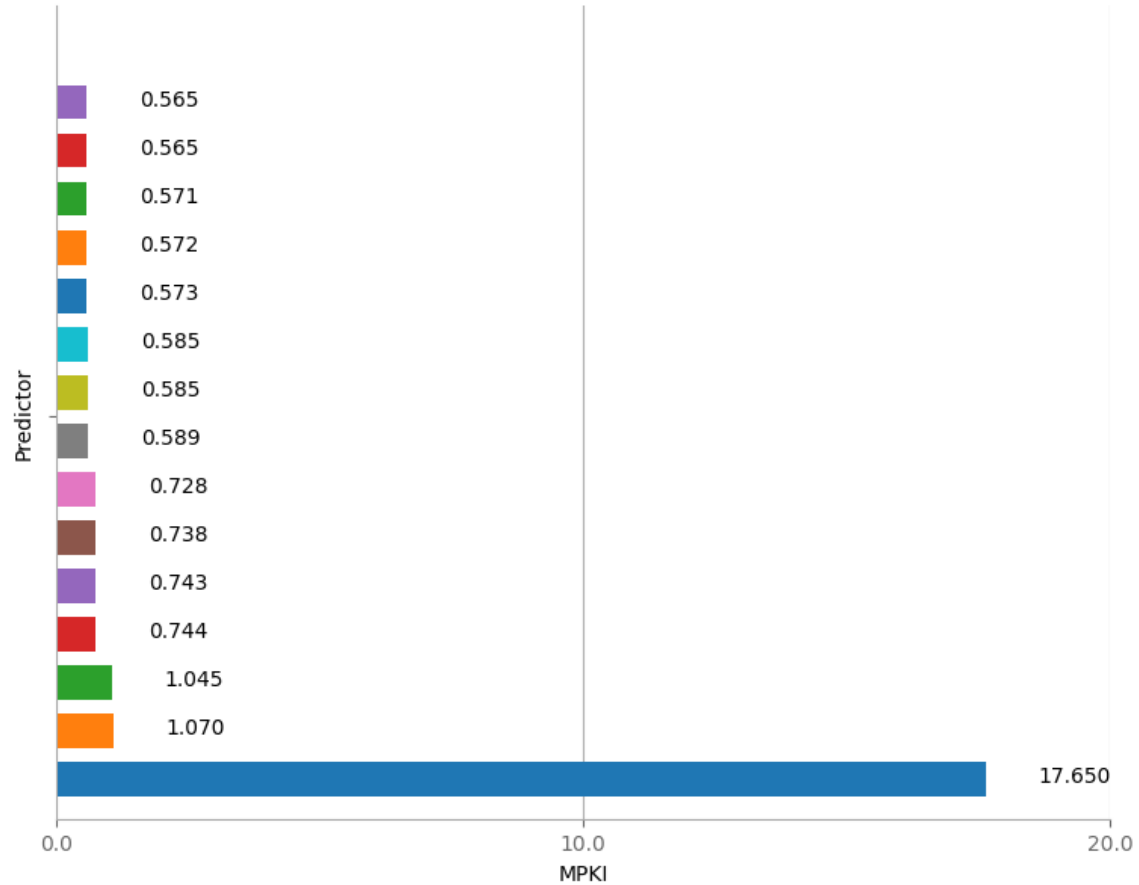
[MPKI: 20.497]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 20.959]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 21.683]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 22.801]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 22.916]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 23.153]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 23.259]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 23.514]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 23.654]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 24.313]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 25.034]	Nbit-16K-2
[MPKI: 25.080]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 28.695]	Pentium-M
[MPKI: 61.937]	BTFNTPredictor
[MPKI: 86.572]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 450-soplex



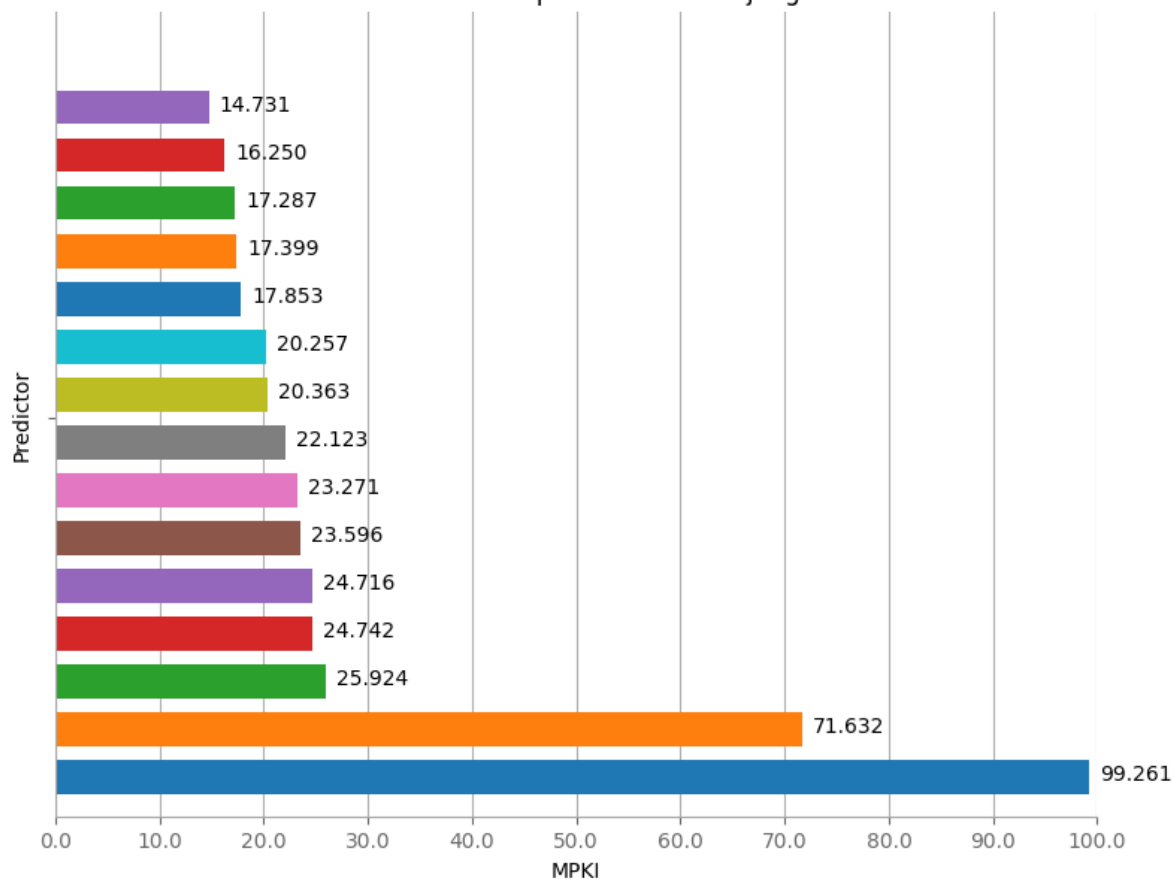
[MPKI: 8.718]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 9.502]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 9.741]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 9.816]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 10.144]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 10.158]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 10.371]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 10.445]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 10.500]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 10.888]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 11.023]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 11.491]	Nbit-16K-2
[MPKI: 40.812]	BTFNTPredictor
[MPKI: 43.704]	Pentium-M
[MPKI: 85.746]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 456-hmmer



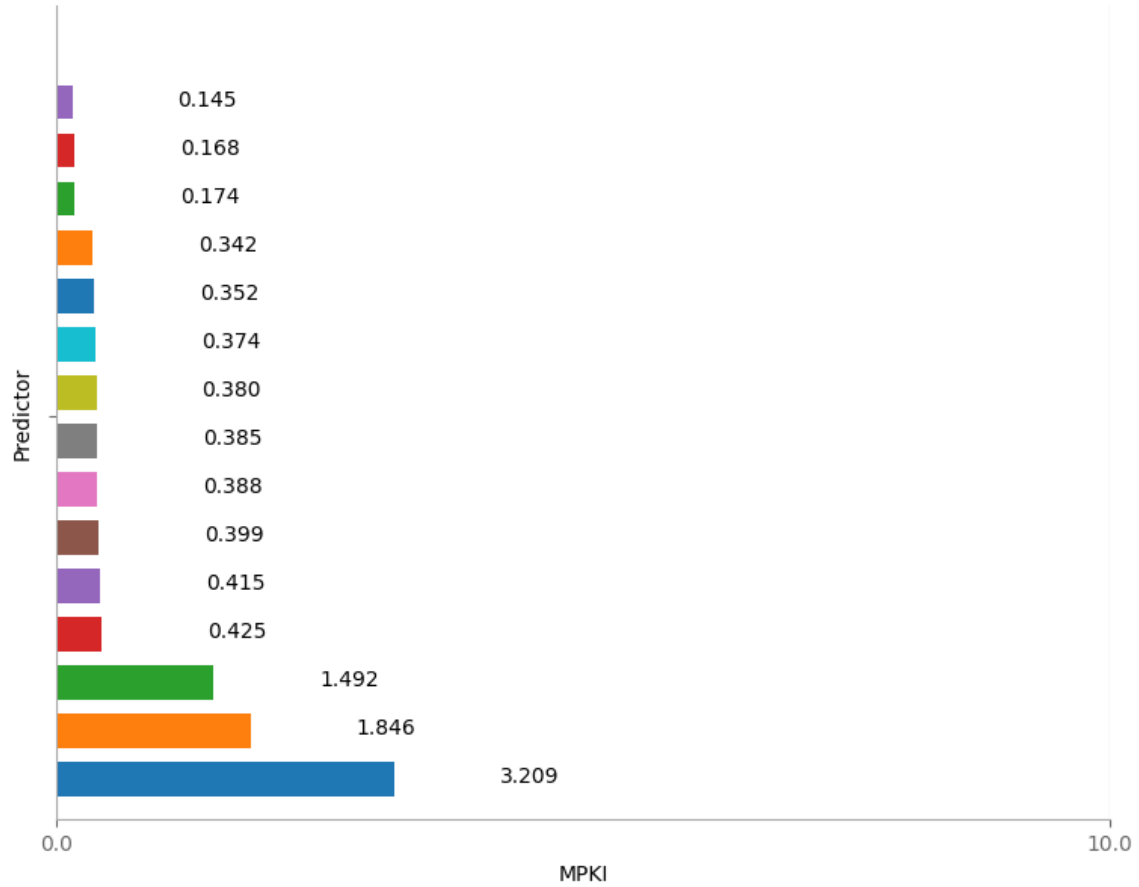
[MPKI: 0.565]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 0.565]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 0.571]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 0.572]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 0.573]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 0.585]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 0.585]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 0.589]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 0.728]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 0.738]	Nbit-16K-2
[MPKI: 0.743]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 0.744]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 1.045]	BTFNTPredictor
[MPKI: 1.070]	Pentium-M
[MPKI: 17.650]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 458-sjeng



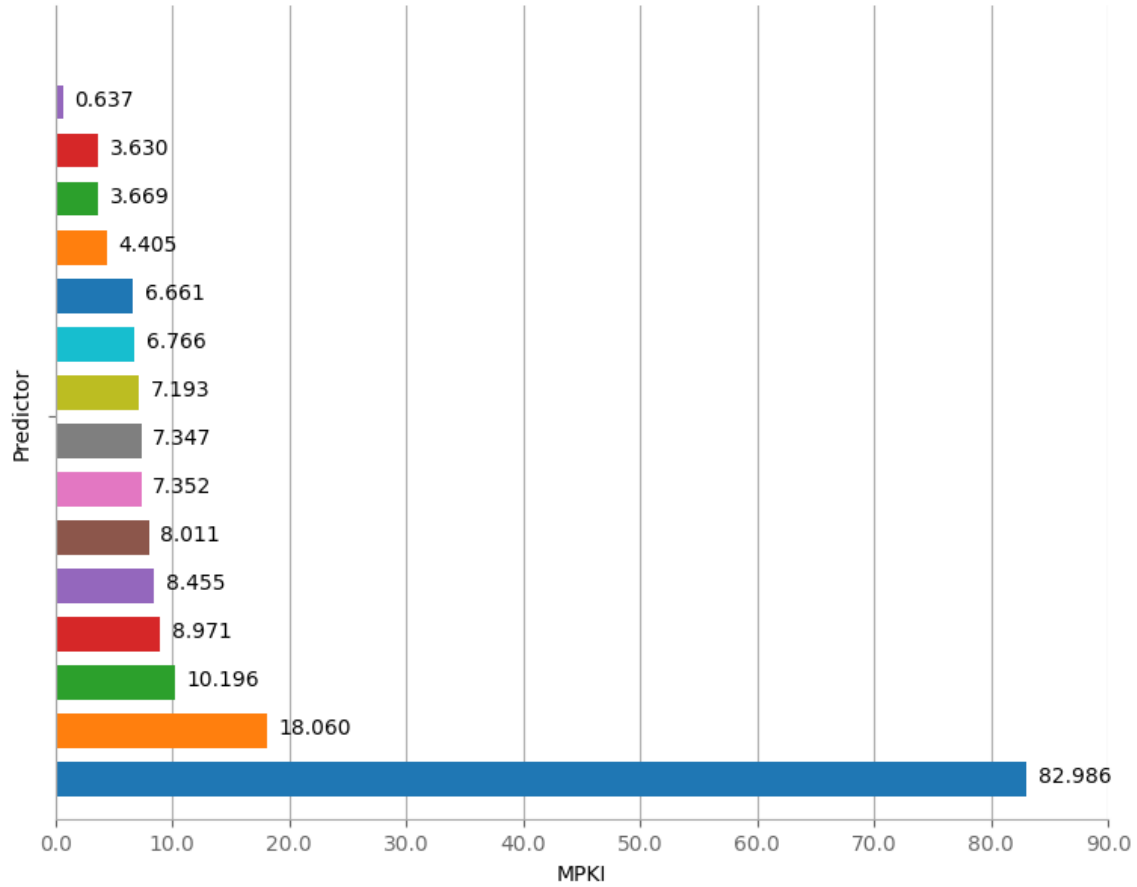
[MPKI: 14.731]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 16.250]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 17.287]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 17.399]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 17.853]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 20.257]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 20.363]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 22.123]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 23.271]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 23.596]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 24.716]	Pentium-M
[MPKI: 24.742]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 25.924]	Nbit-16K-2
[MPKI: 71.632]	BTFNTPredictor
[MPKI: 99.261]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 459-GemsFDTD



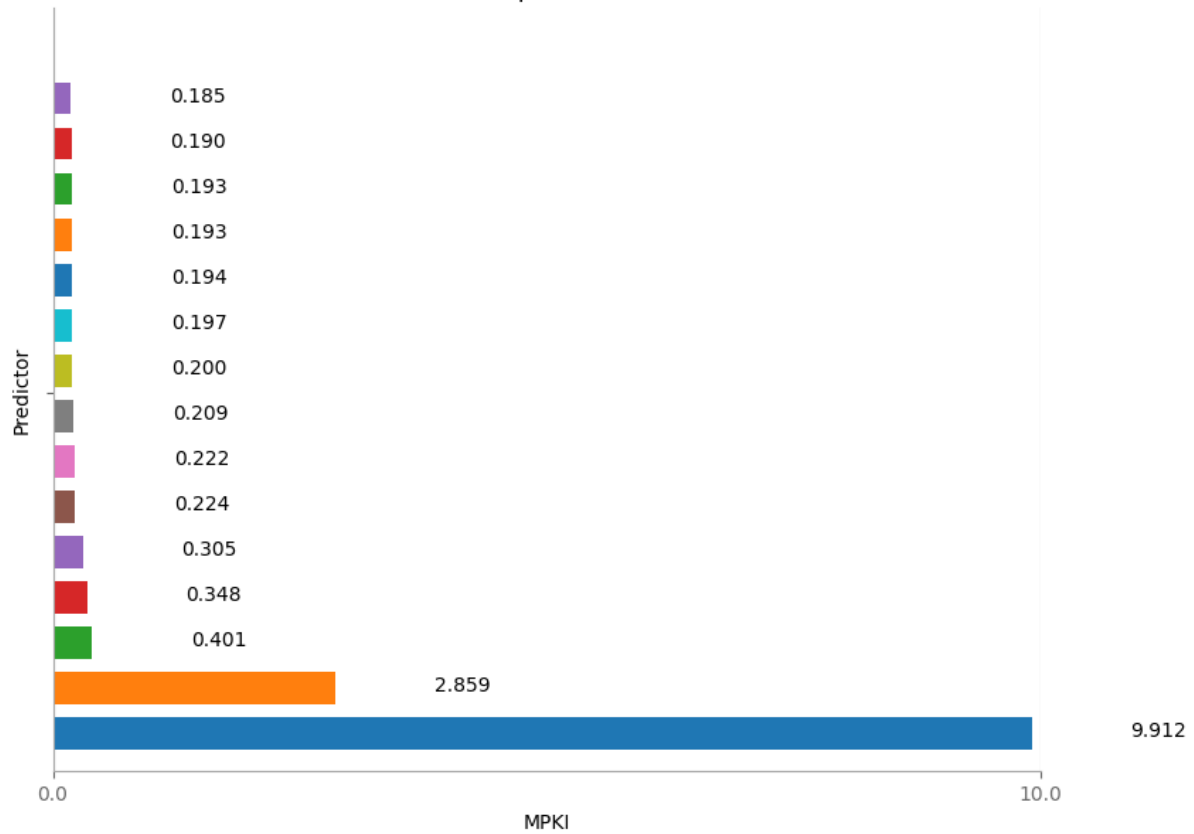
[MPKI: 0.145]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 0.168]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 0.174]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 0.342]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 0.352]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 0.374]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 0.380]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 0.385]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 0.388]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 0.399]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 0.415]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 0.425]	Nbit-16K-2
[MPKI: 1.492]	Pentium-M
[MPKI: 1.846]	BTFNTPredictor
[MPKI: 3.209]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 462-libquantum



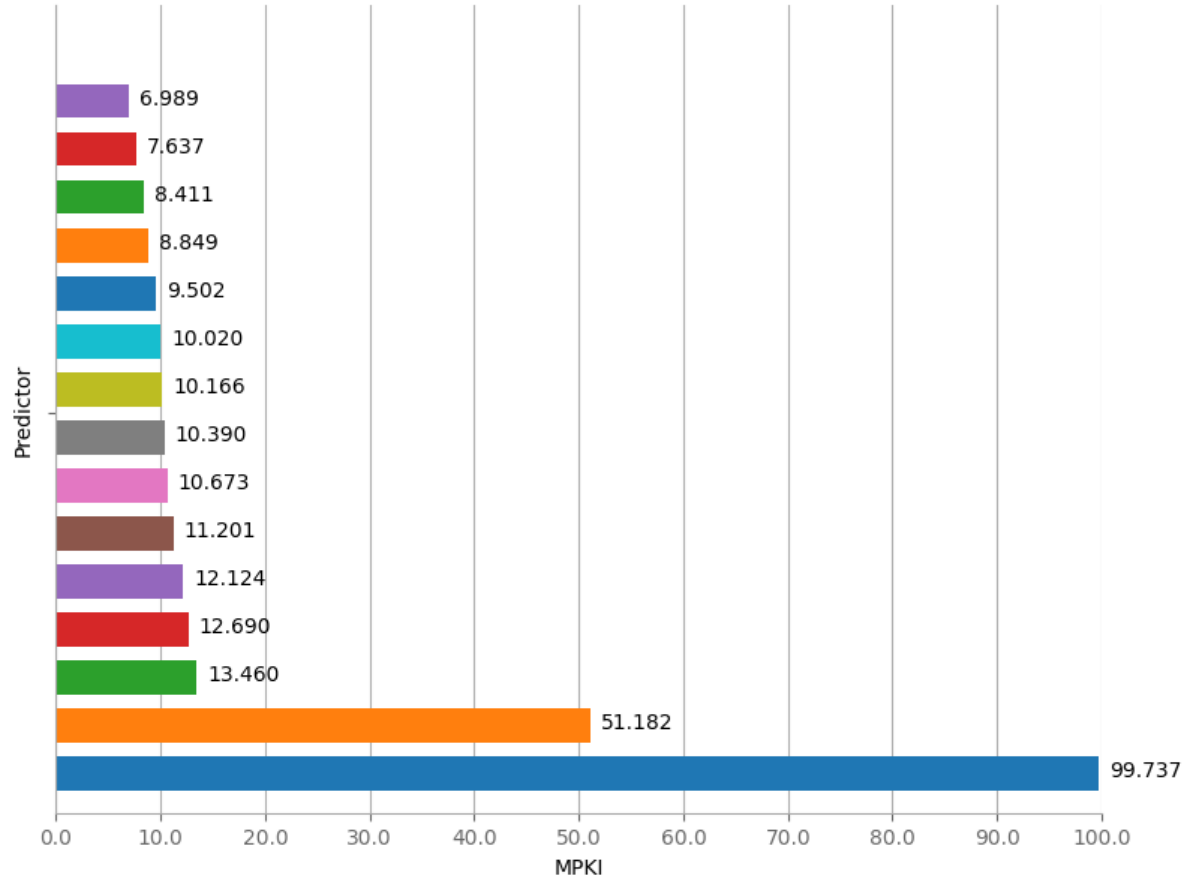
[MPKI: 0.637]	ALPHA-PREDICTOR	LocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 3.630]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)	
[MPKI: 3.669]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)	
[MPKI: 4.405]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)	
[MPKI: 6.661]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))	
[MPKI: 6.766]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)	
[MPKI: 7.193]	Pentium-M	
[MPKI: 7.347]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)	
[MPKI: 7.352]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)	
[MPKI: 8.011]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))	
[MPKI: 8.455]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)	
[MPKI: 8.971]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)	
[MPKI: 10.196]	Nbit-16K-2	
[MPKI: 18.060]	StaticTakenPredictor	
[MPKI: 82.986]	BTFNTPredictor	

Predictors comparison for 470-lbm



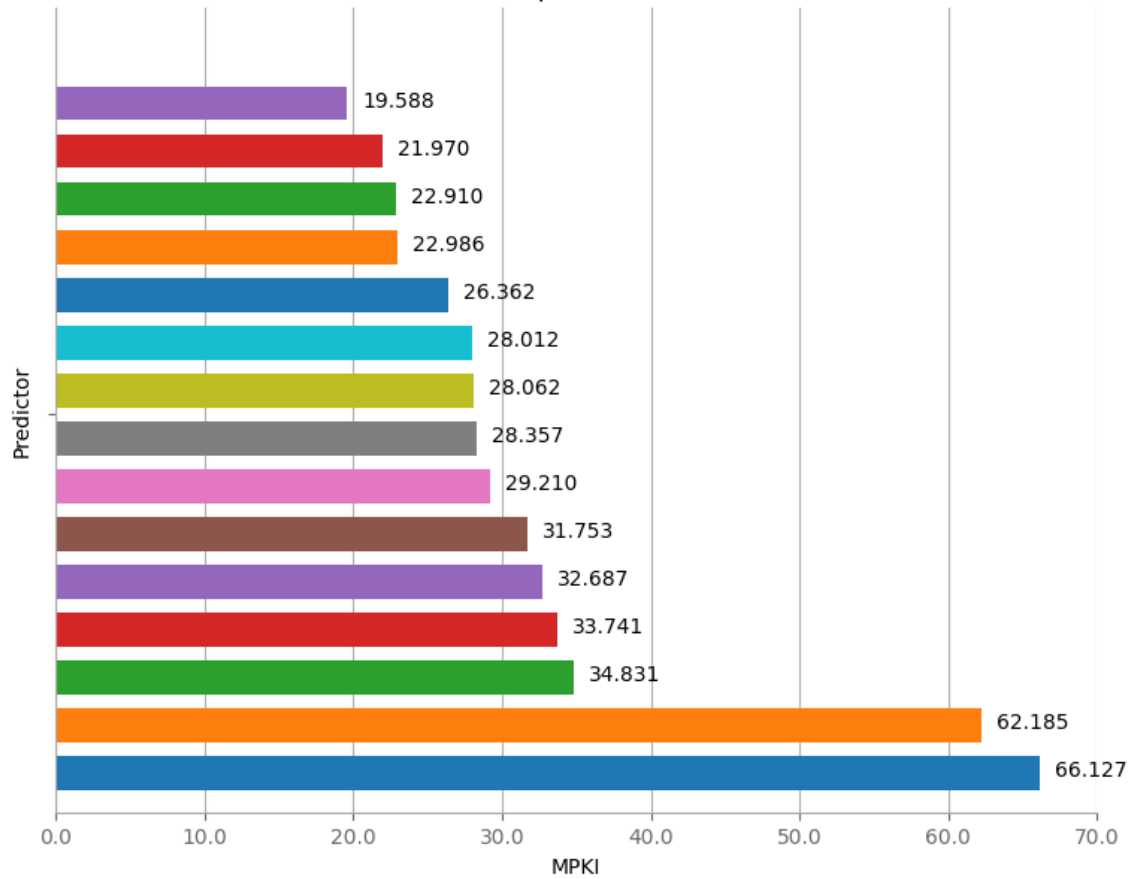
[MPKI: 0.185]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 0.190]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 0.193]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 0.193]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 0.194]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 0.197]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 0.200]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 0.209]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 0.222]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 0.224]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 0.305]	Pentium-M
[MPKI: 0.348]	Nbit-16K-2
[MPKI: 0.401]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 2.859]	BTFNTPredictor
[MPKI: 9.912]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 471-omnetpp



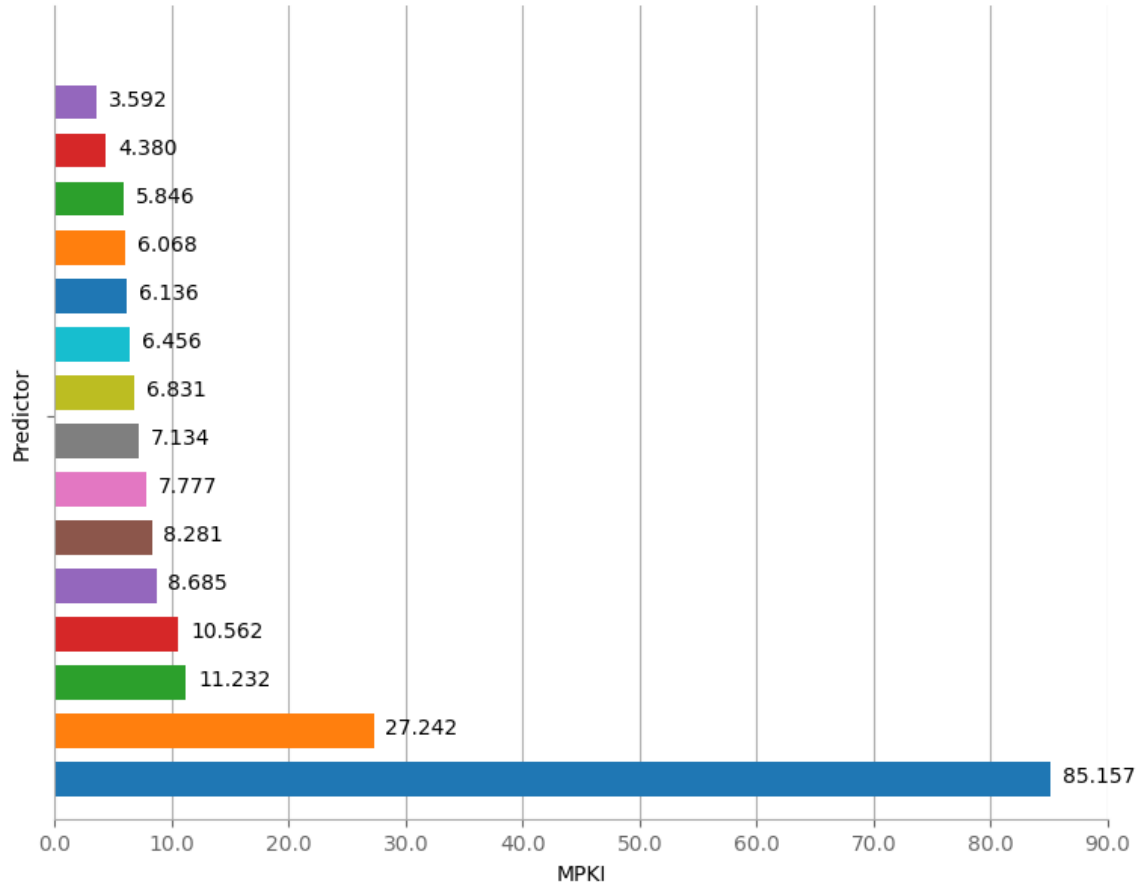
[MPKI: 6.989]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 7.637]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 8.411]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 8.849]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 9.502]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 10.020]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 10.166]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 10.390]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 10.673]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 11.201]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 12.124]	Pentium-M
[MPKI: 12.690]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 13.460]	Nbit-16K-2
[MPKI: 51.182]	BTFNTPredictor
[MPKI: 99.737]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 473-astar

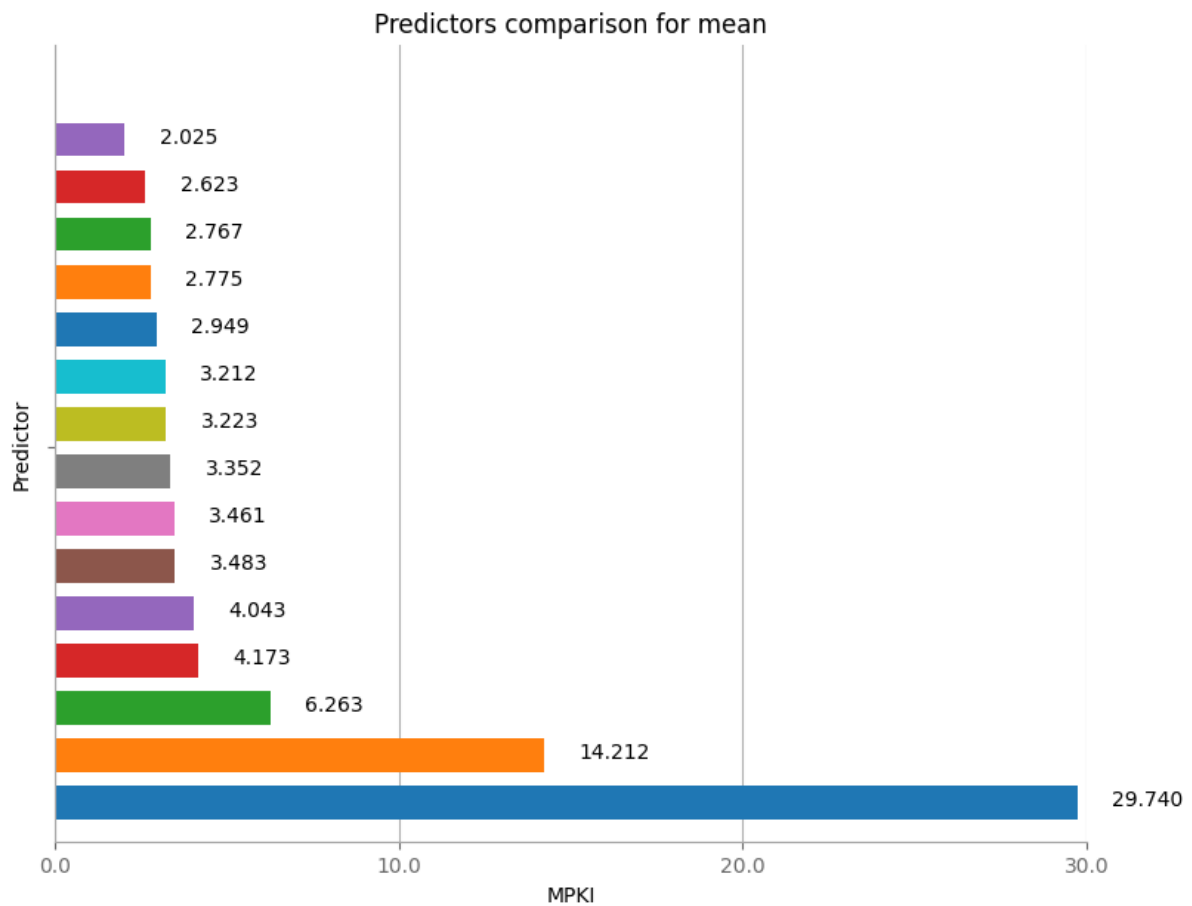


[MPKI: 19.588]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 21.970]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 22.910]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 22.986]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 26.362]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 28.012]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 28.062]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 28.357]	Pentium-M
[MPKI: 29.210]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 31.753]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 32.687]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 33.741]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 34.831]	Nbit-16K-2
[MPKI: 62.185]	BTFNTPredictor
[MPKI: 66.127]	StaticTakenPredictor

Predictors comparison for 483-xalancbmk



[MPKI: 3.592]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 4.380]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 5.846]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 6.068]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 6.136]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 6.456]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 6.831]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 7.134]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 7.777]	Pentium-M
[MPKI: 8.281]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 8.685]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 10.562]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 11.232]	Nbit-16K-2
[MPKI: 27.242]	BTFNTPredictor
[MPKI: 85.157]	StaticTakenPredictor



[MPKI: 2.025]	ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
[MPKI: 2.623]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
[MPKI: 2.767]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
[MPKI: 2.775]	Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
[MPKI: 2.949]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
[MPKI: 3.212]	GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
[MPKI: 3.223]	GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
[MPKI: 3.352]	LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
[MPKI: 3.461]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2))
[MPKI: 3.483]	Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),Nbit-16K-1)
[MPKI: 4.043]	Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-2K-8)
[MPKI: 4.173]	Nbit-16K-2
[MPKI: 6.263]	Pentium-M
[MPKI: 14.212]	BTFNTPredictor
[MPKI: 29.740]	StaticTakenPredictor

Συμπεράσματα

- Θα εξάγουμε τα συμπεράσματα μας με βάση, κυρίως το διάγραμμα των γεωμετρικών μέσων των τιμών, καθώς οι διάφοροι predictors παρουσιάζουν διαφορετικές συμπεριφορές από benchmark σε benchmark, με ελάχιστες εξαιρέσεις που αποτελούν μονίμως τις λιγότερο αποδοτικές επιλογές.
- Παρατηρούμε ότι ο Static AlwaysTaken predictor έχει τη χειρότερη, με διαφορά, επίδοση από όλους, καθώς έχει το υψηλότερο μέσο MPKI, ενώ ακολουθείται από τον άλλον Static BTFNT (BackwardTaken-ForwardNotTaken), με προσεγγιστικά διπλάσια απόδοση. Βεβαίως, και οι δύο είναι static predictors και ήταν αναμενόμενο να βρίσκονται στο τέλος της λίστας.
- Στη συνέχεια έχουμε τον Pentium_M predictor, ενώ ακολουθούν με μικρές διαφορές μεταξύ τους ο Nbit-16K-2 από το 4.2. (ii) και μερικοί εκ των Tournament Hybrid predictors.
- Ο Tournament Hybrid που συνδυάζει Global και Local History φαίνεται να έχει την καλύτερη επίδοση μεταξύ των υπολοίπων Tournament Hybrid που περιέχουν κάποιον Nbit predictor, όπως είναι και λογικό, δεδομένου και των σχετικά υψηλών θέσεων των υπολοίπων Global και Local History σε σχέση με τον Nbit predictor, στη λίστα αυτή.
- Τη δεύτερη και τρίτη θέση παίρνουν οι δύο Global History με BHR length 8, με αυτόν με τα περισσότερα PHT entries (16K-2 έναντι 8K-4) να είναι καλύτερος.
- Την κορυφαία, συνολικά, απόδοση έχει, με μία σχετικά καλή διαφορά από το δεύτερο, ο Alpha 21264 predictor, ο οποίος συνδυάζει έναν Local και έναν Global History predictors, με αυξημένο BHT entry length (10) και αυξημένο BHR length (12).