

# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών

Προηγμένα Θέματα Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών  
2021-2022

---



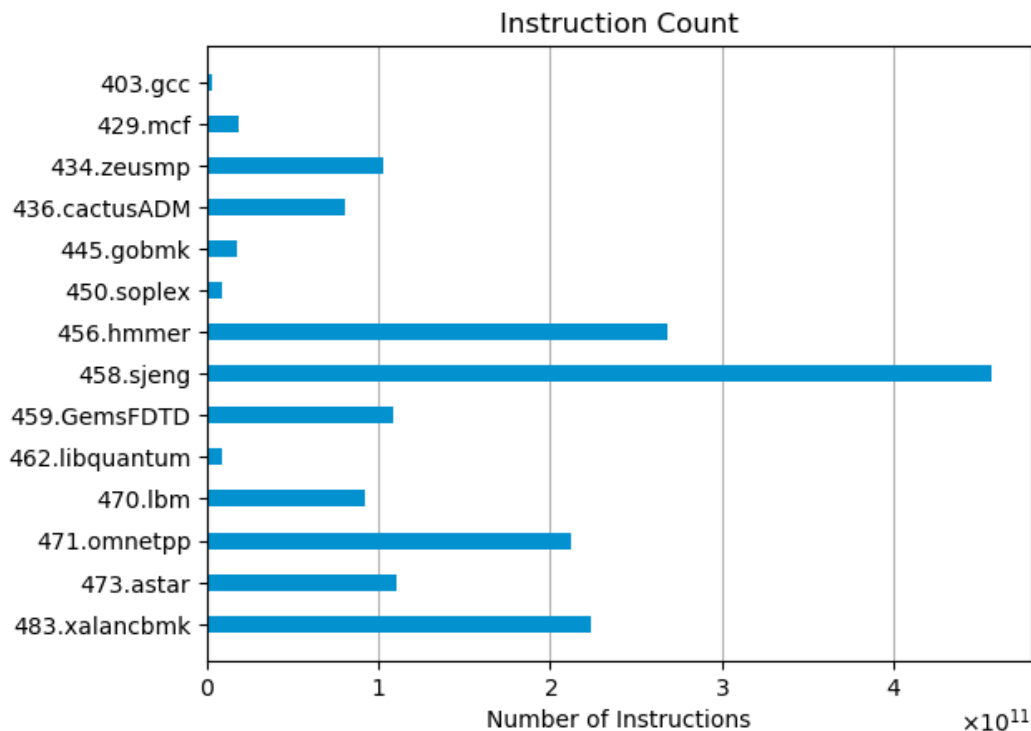
## 2η Άσκηση

Κωνσταντίνος Σιδέρης

A.M.: 03118134

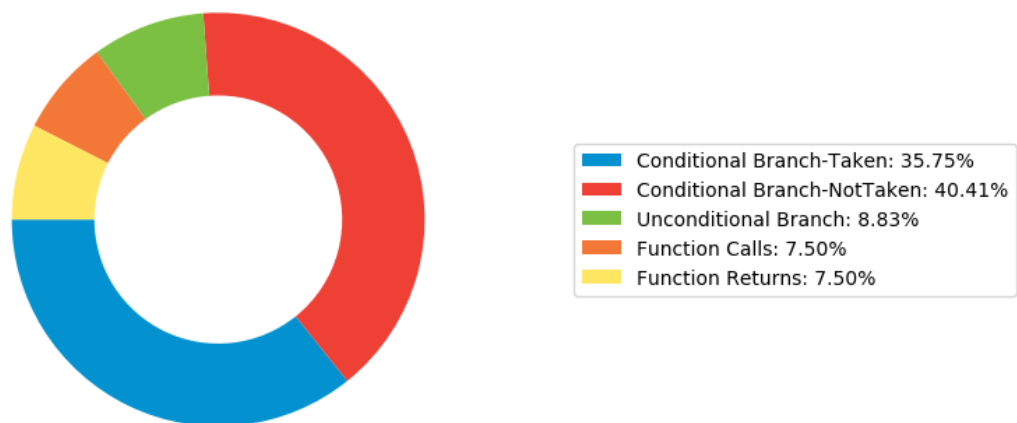
#### 4.1 Μελέτη εντολών άλματος

Ακολουθεί διάγραμμα με τον αριθμό εντολών που εκτελέστηκαν από τα 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 και 483.xalancbmk:



Παρατηρούμε ότι τα benchmarks 456.hmmer, 458.sjeng, 471.omnetpp και 483.xalancbmk εκτελούν πολύ μεγαλύτερο αριθμό εντολών, το οποίο είναι φανερό και από τον χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση τους. Τα μεταπρογράμματα 434.zeusmp, 436.cactusADM, 459.GemsFDTD, 470.lbm και 473.astar εκτελούν μικρότερο αριθμό εντολών ενώ τα 403.gcc, 429.mcf, 445.gobmk, 450.soplex και 462.libquantum εκτελούν συγκριτικά πολύ μικρό αριθμό εντολών. Ακολουθούν τα διαγράμματα στατιστικών για τις εντολές άλματος που εκτελούνται από τα benchmarks:

403.gcc  
Instruction Count: 3184249429  
Branch Instruction Count: 754283688 (23.69% of the Instruction Count)



429.mcf

Instruction Count: 18198939186

Branch Instruction Count: 3862678936 (21.22% of the Instruction Count)



Conditional Branch-Taken:	34.50%
Conditional Branch-NotTaken:	61.56%
Unconditional Branch:	2.53%
Function Calls:	0.70%
Function Returns:	0.70%

434.zeusmp

Instruction Count: 103056411891

Branch Instruction Count: 7550194087 (7.33% of the Instruction Count)



Conditional Branch-Taken:	43.53%
Conditional Branch-NotTaken:	47.29%
Unconditional Branch:	9.18%
Function Calls:	0.00%
Function Returns:	0.00%

436.cactusADM

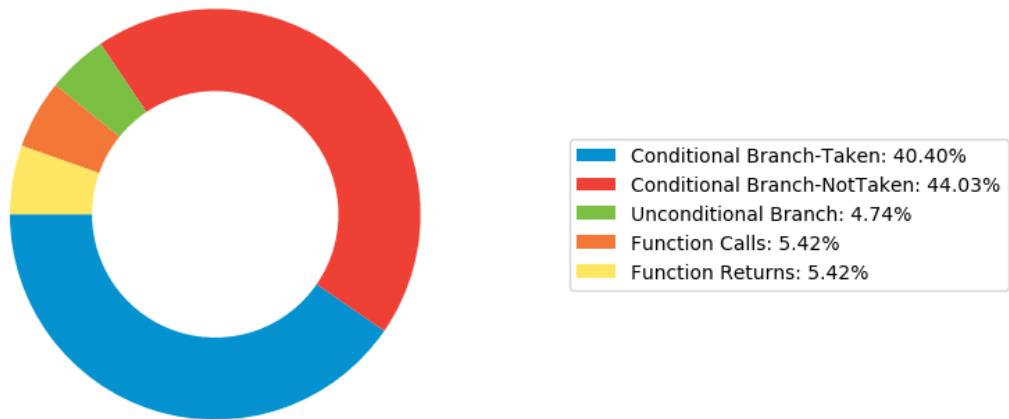
Instruction Count: 80776860956

Branch Instruction Count: 170070401 (0.21% of the Instruction Count)

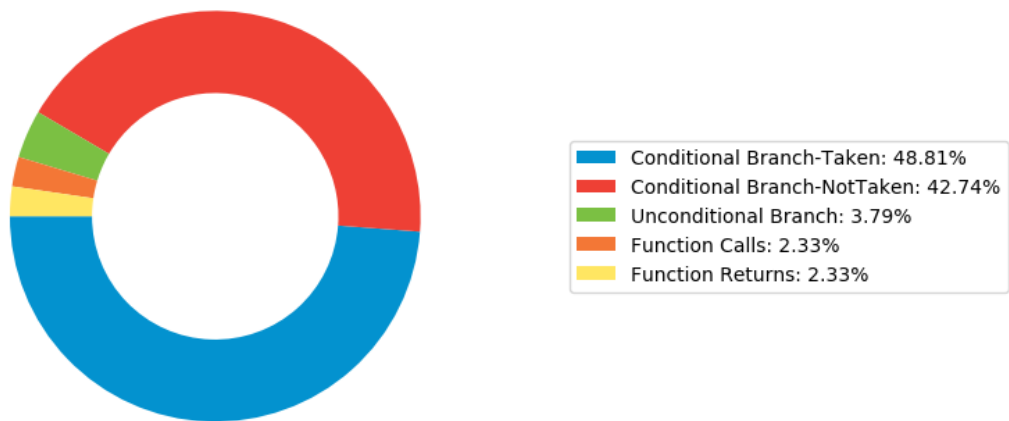


Conditional Branch-Taken:	83.63%
Conditional Branch-NotTaken:	11.03%
Unconditional Branch:	0.98%
Function Calls:	2.18%
Function Returns:	2.18%

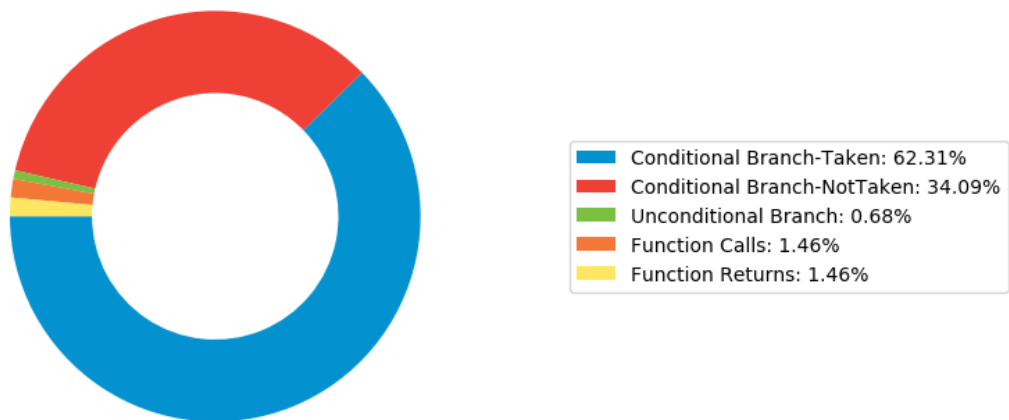
445.gobmk  
Instruction Count: 17615066381  
Branch Instruction Count: 3463153462 (19.66% of the Instruction Count)



450.soplex  
Instruction Count: 9042445246  
Branch Instruction Count: 1815270498 (20.07% of the Instruction Count)



456.hmmer  
Instruction Count: 268784253176  
Branch Instruction Count: 13914143393 (5.18% of the Instruction Count)

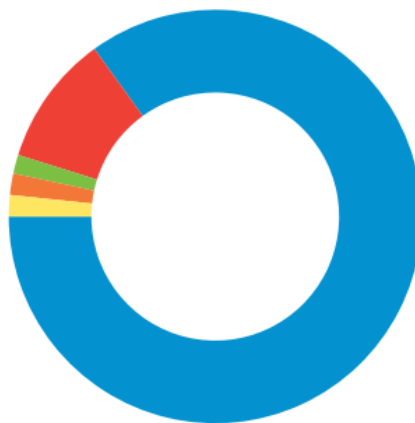


458.sjeng  
Instruction Count: 457817637625  
Branch Instruction Count: 100333241684 (21.92% of the Instruction Count)



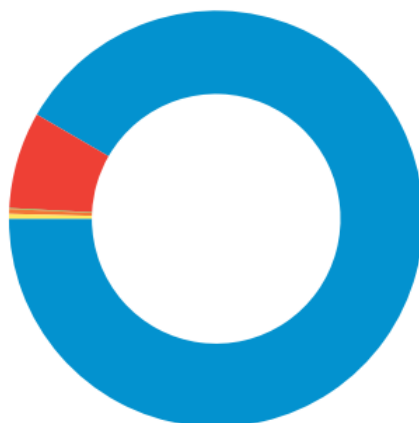
Conditional Branch-Taken: 36.52%  
Conditional Branch-NotTaken: 45.29%  
Unconditional Branch: 8.96%  
Function Calls: 4.62%  
Function Returns: 4.62%

459.GemsFDTD  
Instruction Count: 108730008158  
Branch Instruction Count: 3407993606 (3.13% of the Instruction Count)



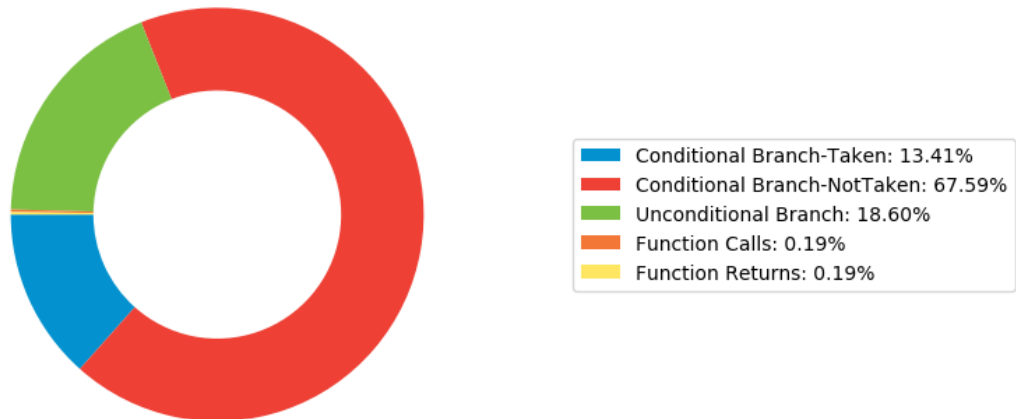
Conditional Branch-Taken: 84.95%  
Conditional Branch-NotTaken: 10.24%  
Unconditional Branch: 1.47%  
Function Calls: 1.67%  
Function Returns: 1.67%

462.libquantum  
Instruction Count: 8996769203  
Branch Instruction Count: 2158567780 (23.99% of the Instruction Count)

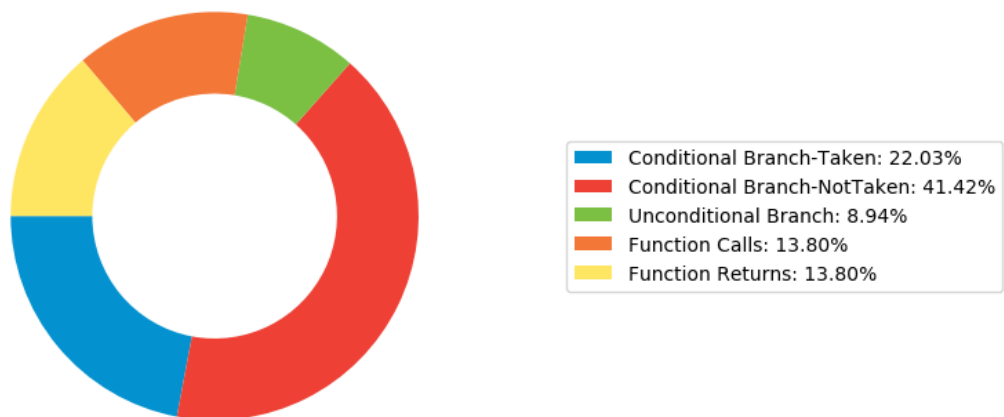


Conditional Branch-Taken: 91.65%  
Conditional Branch-NotTaken: 7.53%  
Unconditional Branch: 0.07%  
Function Calls: 0.38%  
Function Returns: 0.38%

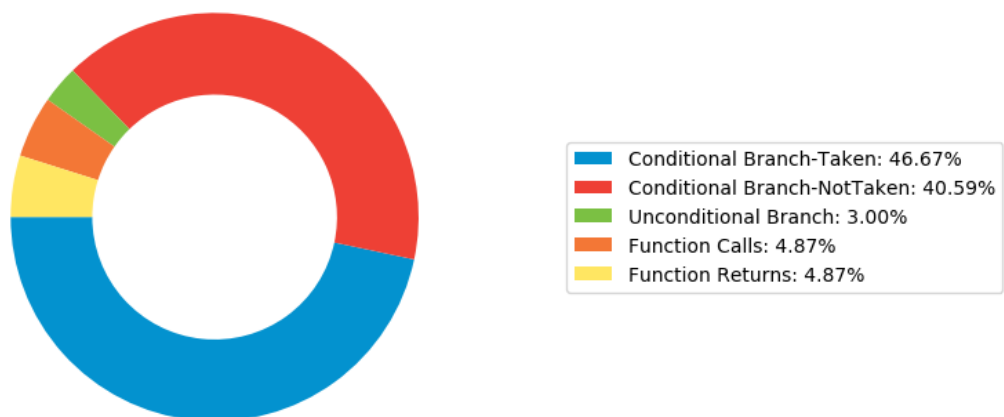
470.ibm  
Instruction Count: 92358987975  
Branch Instruction Count: 1354361772 (1.47% of the Instruction Count)



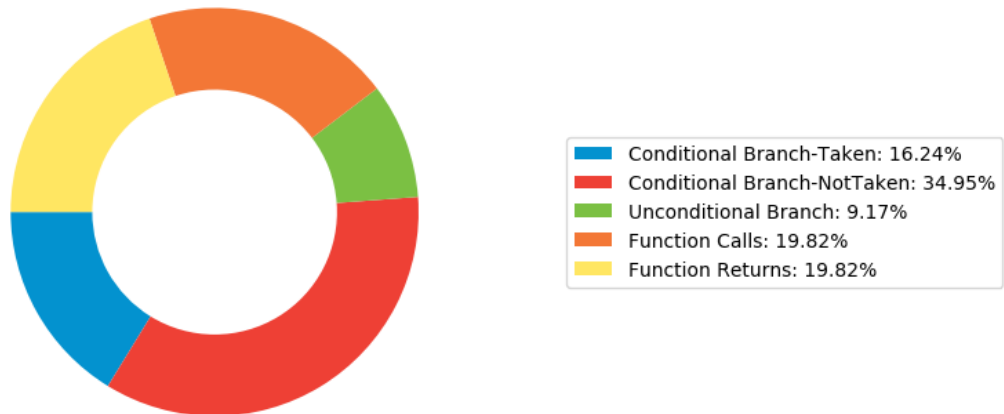
471.omnetpp  
Instruction Count: 212215969785  
Branch Instruction Count: 51013607839 (24.04% of the Instruction Count)



473.astar  
Instruction Count: 110787784042  
Branch Instruction Count: 18049728222 (16.29% of the Instruction Count)



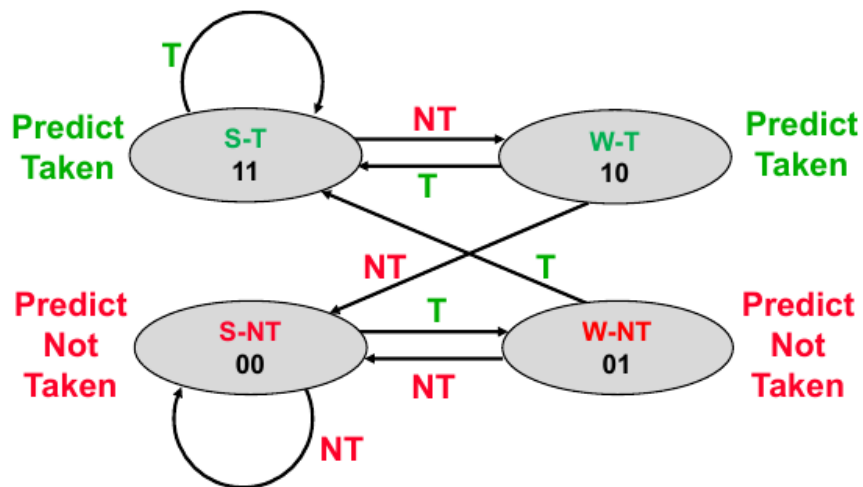
483.xalancbmk  
Instruction Count: 224077695909  
Branch Instruction Count: 54603344690 (24.37% of the Instruction Count)



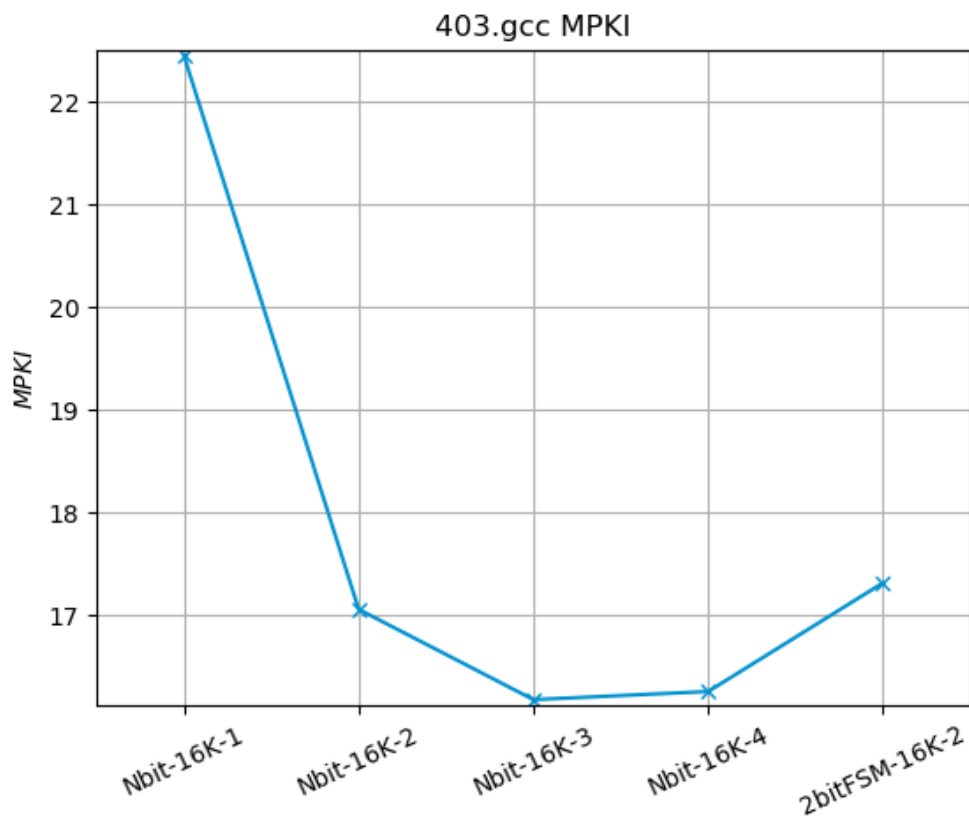
Παρατηρούμε ότι στα benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 445.gobmk, 450.soplex, 458.sjeng, 462.libquantum, 471.omnetpp, 473.astar και 483.xalancbmk οι εντολές άλματος αποτελούν σημαντικό ποσοστό, της τάξεως του 15% με 25%, των εντολών που εκτελούνται και συνεπώς η επίδοση των παραπάνω μεταπρογραμμάτων έχει μεγαλύτερη βαρύτητα ως προς την απόφαση του βέλτιστου predictor και των παραμέτρων του. Στα 434.zeusmp και 456.hmmmer οι εντολές άλματος αποτελούν ποσοστό της τάξεως 5% με 8% ενώ στα 436.cactusADM, 459.GemsFDTD και 470.ibm οι εντολές άλματος αποτελούν ποσοστό τάξεως μικρότερης από 4%.

## 4.2 Μελέτη των N-bit predictors

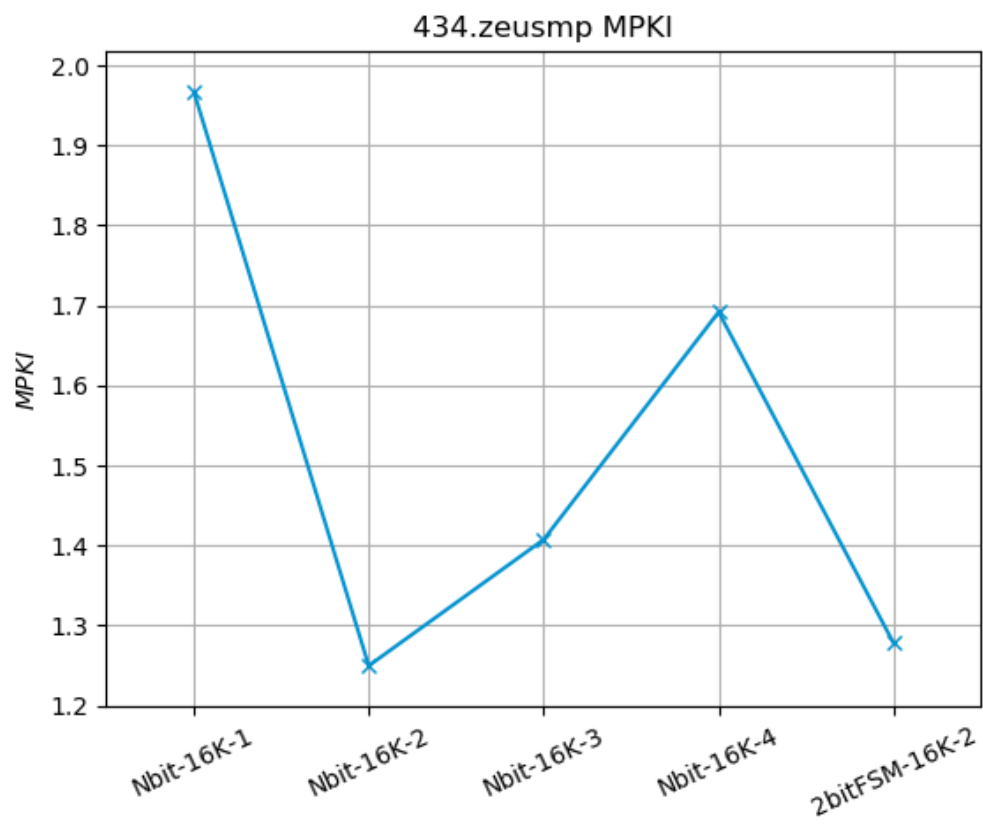
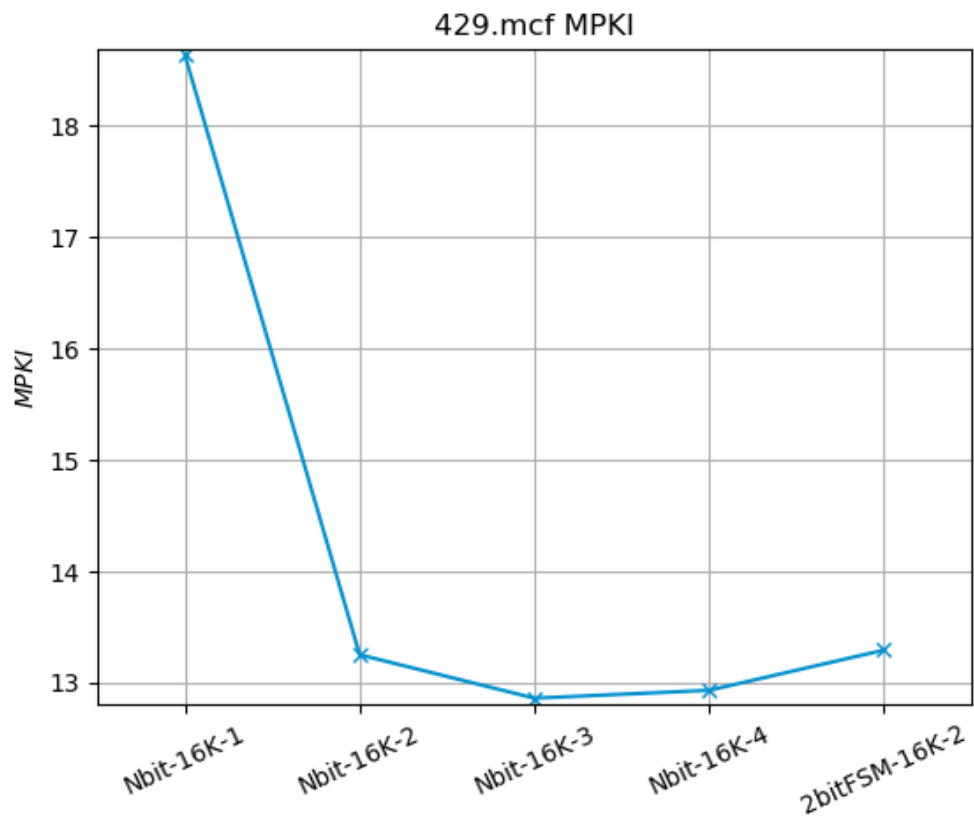
(i) Προσομοιώνουμε n-bit predictors με  $n = 1, 2, 3, 4$  και σταθερό αριθμό BHT entries 16K. Επίσης, προσομοιώνουμε 2-bit predictor με το παρακάτω FSM:

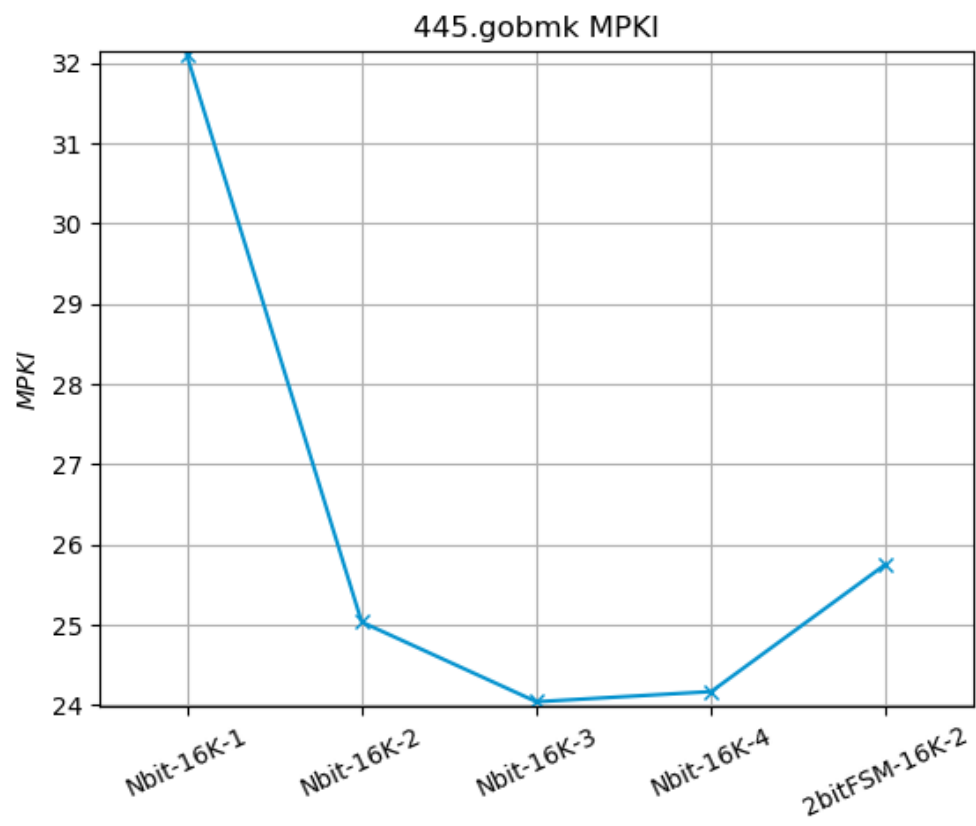
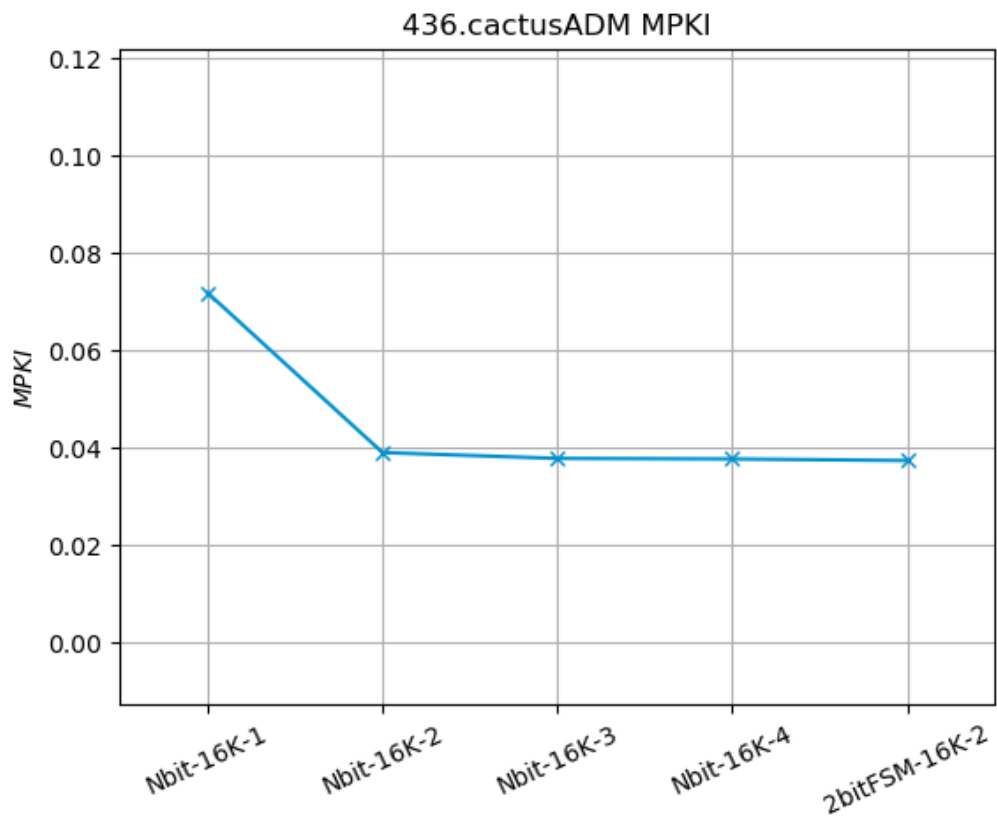


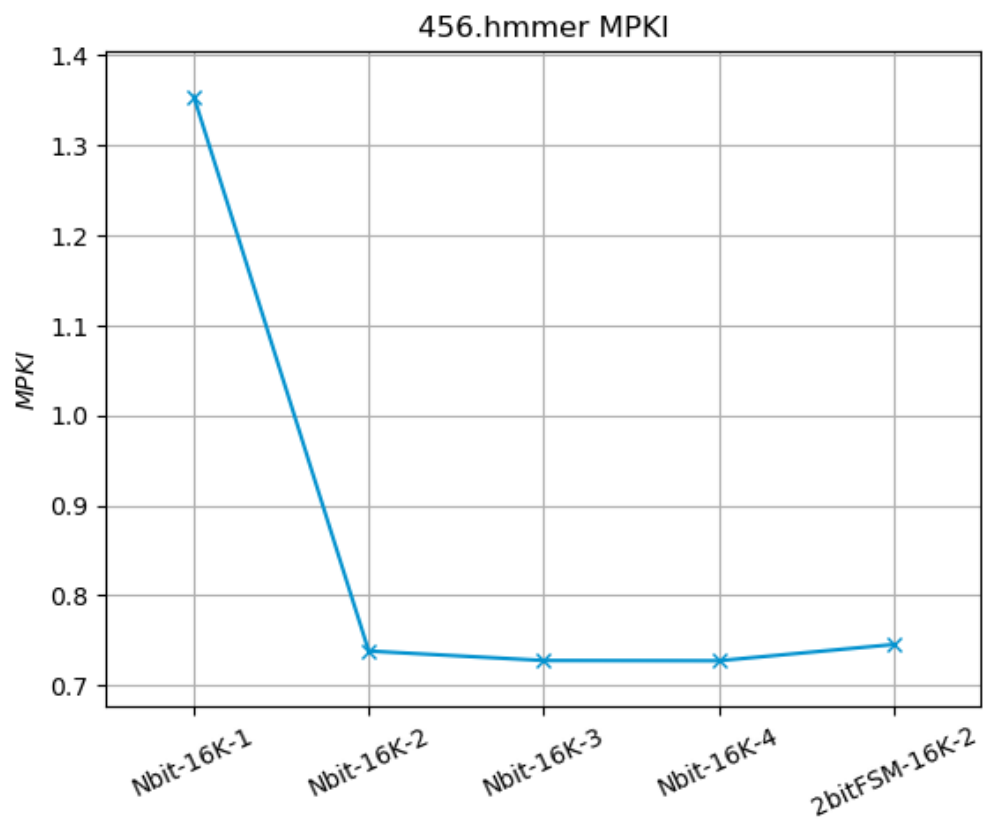
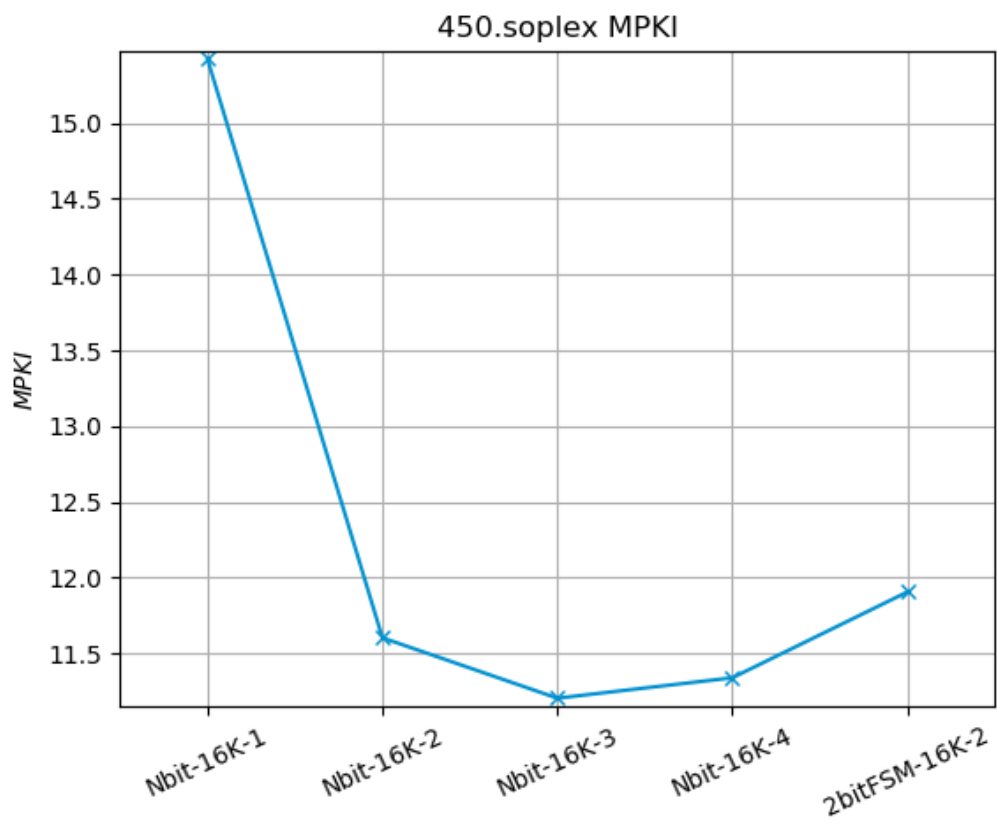
Ακολουθούν τα διαγράμματα σύγκρισης των 5 predictors με μετρικό Mispredictions Per KiloInstruction (MPKI) για κάθε benchmark:

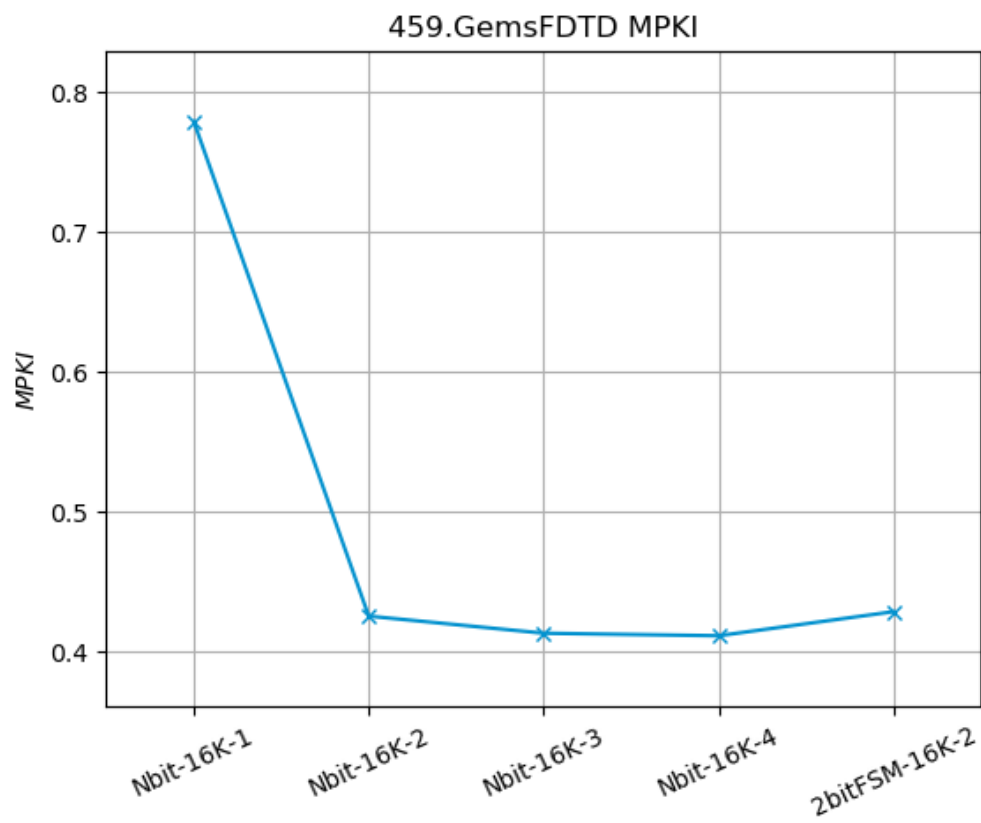
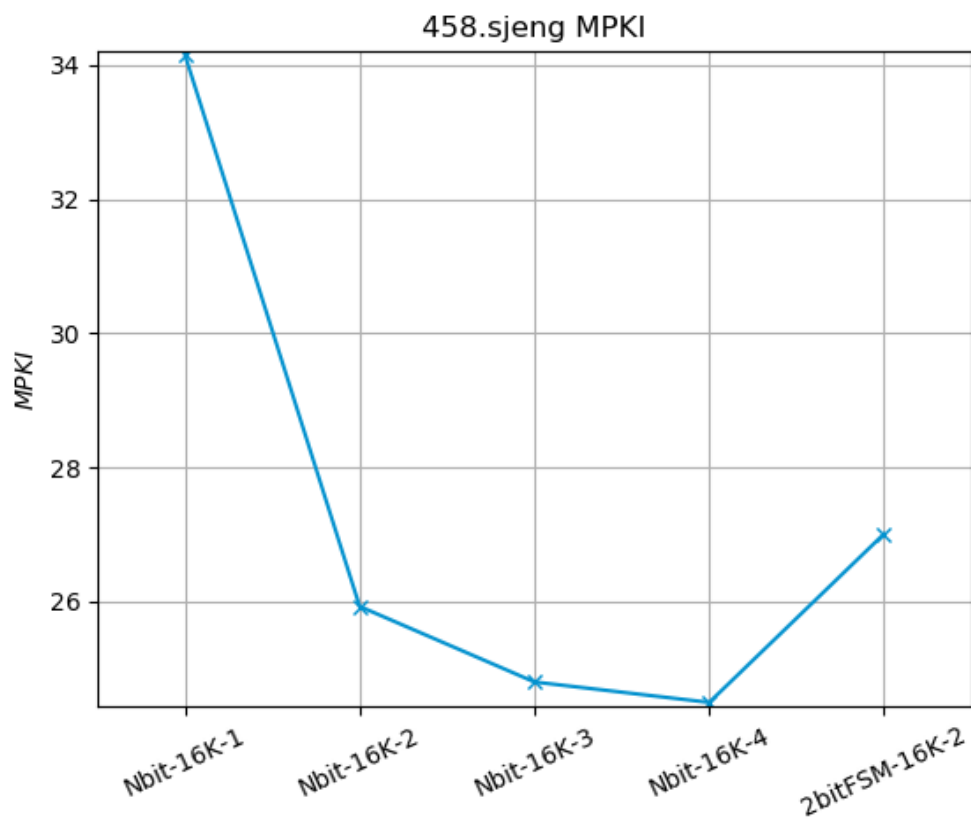


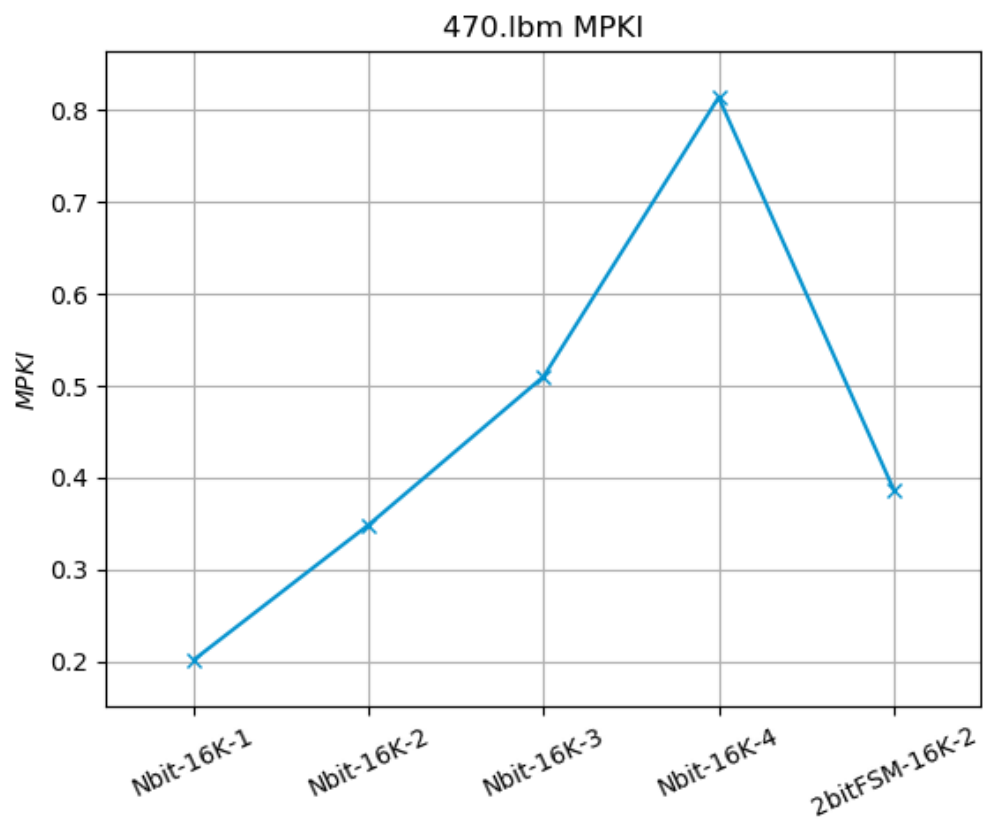
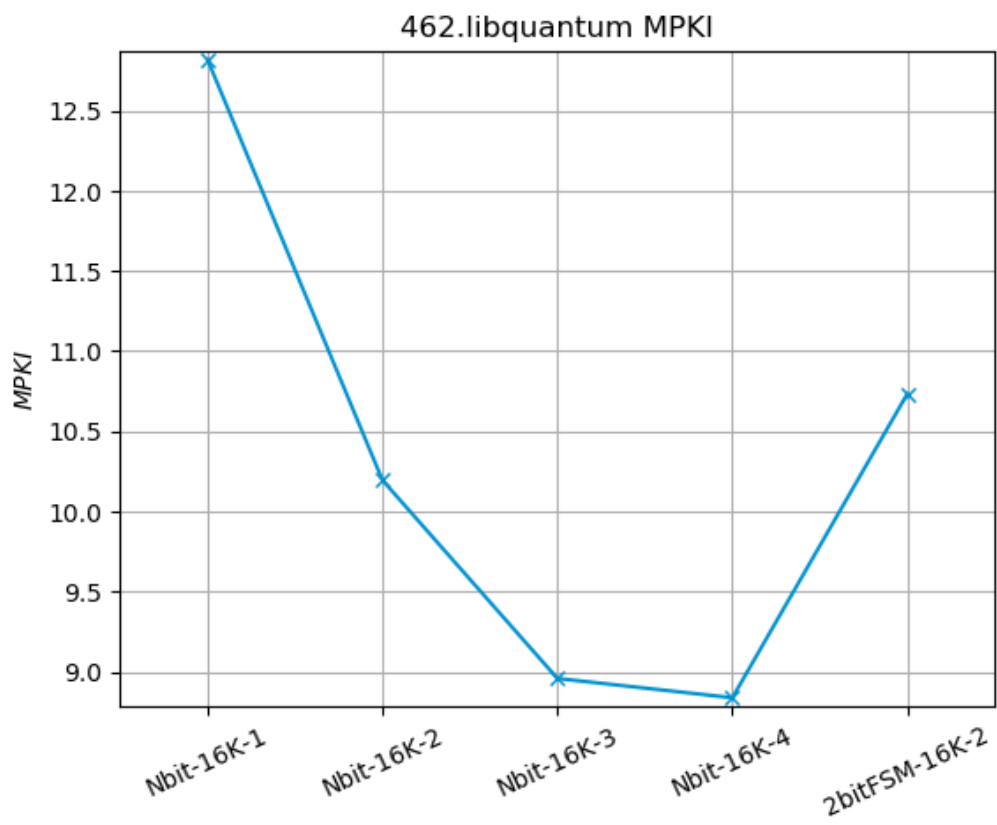


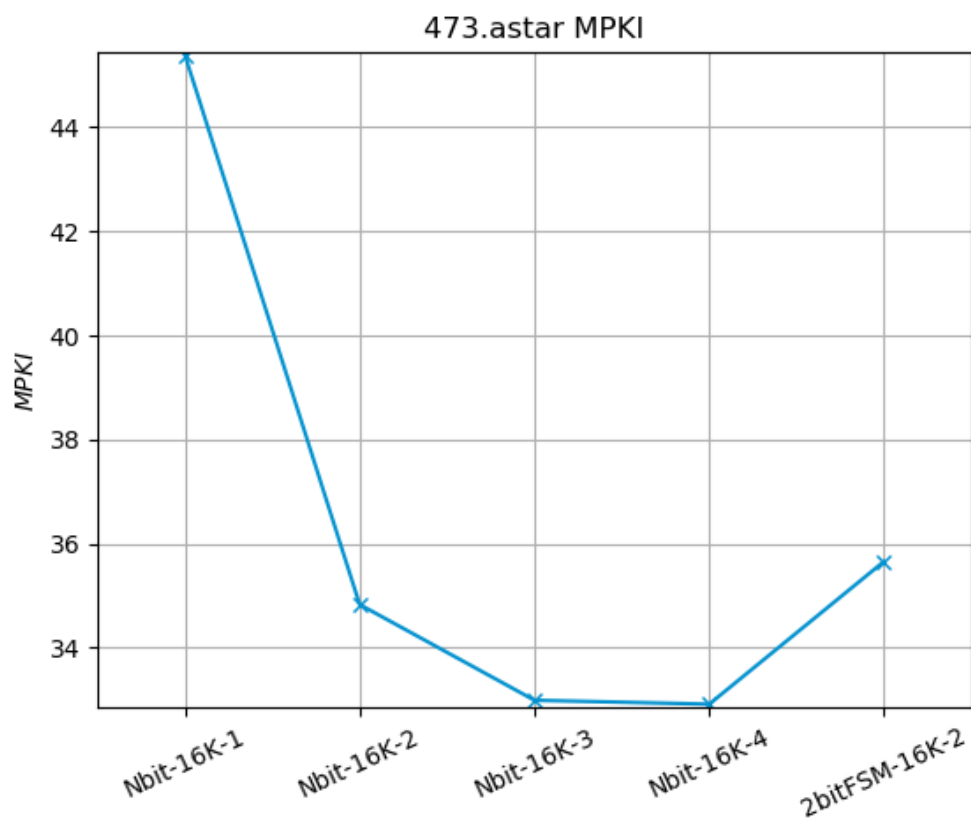
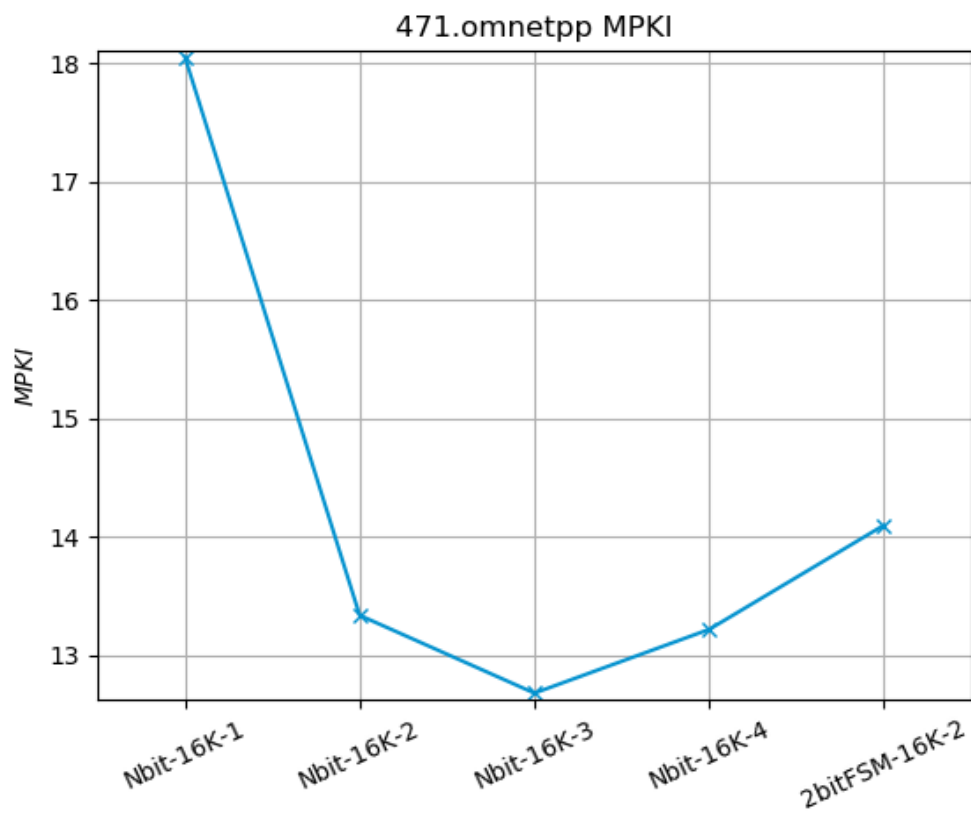


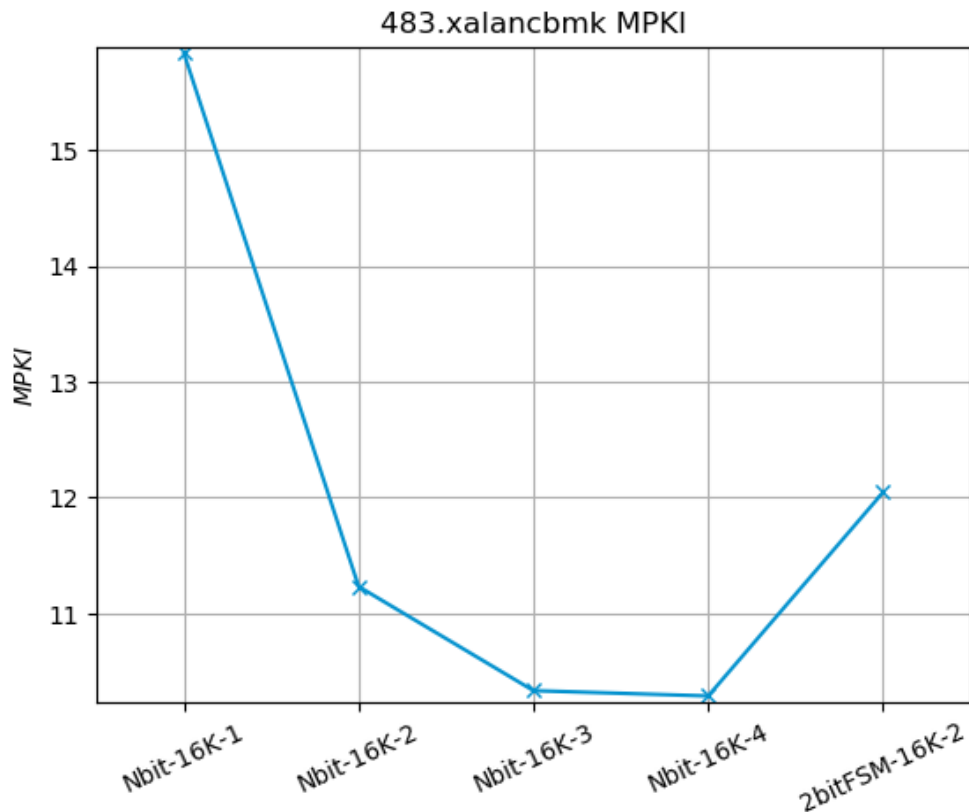






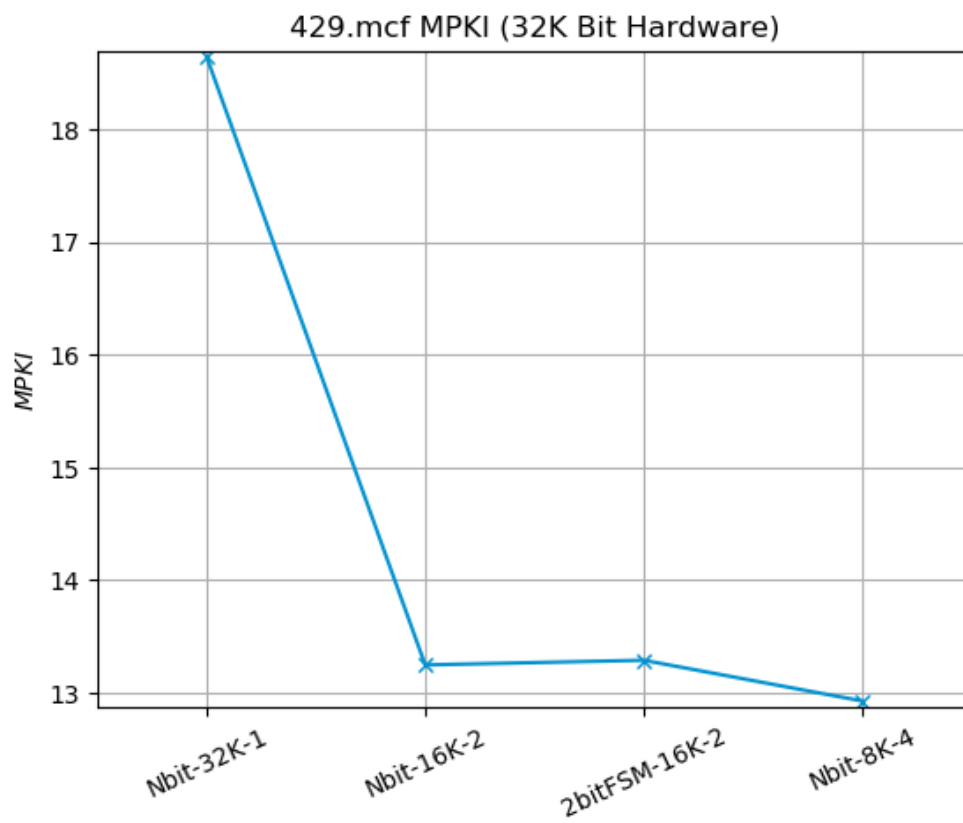
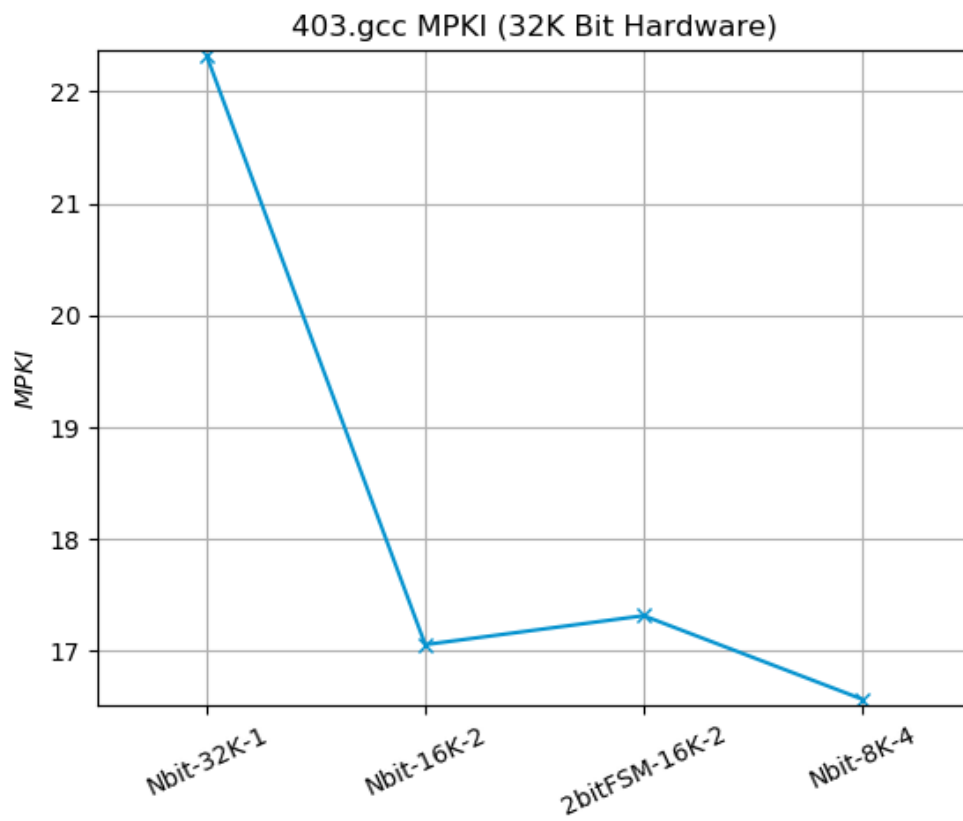




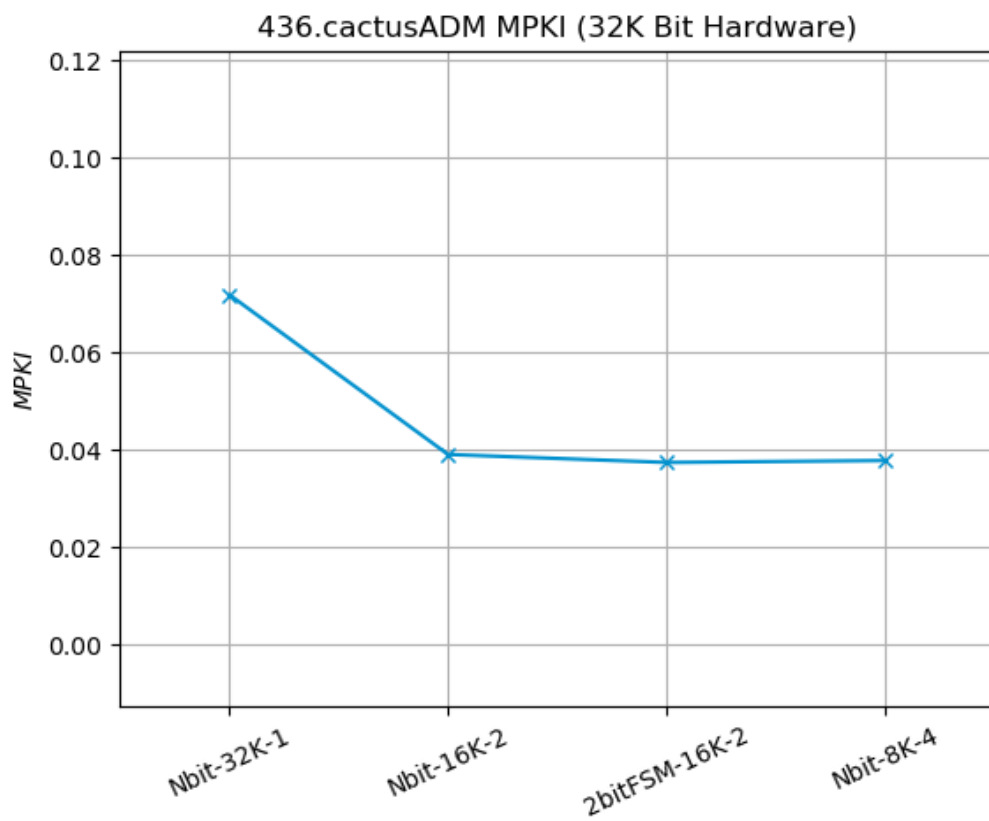
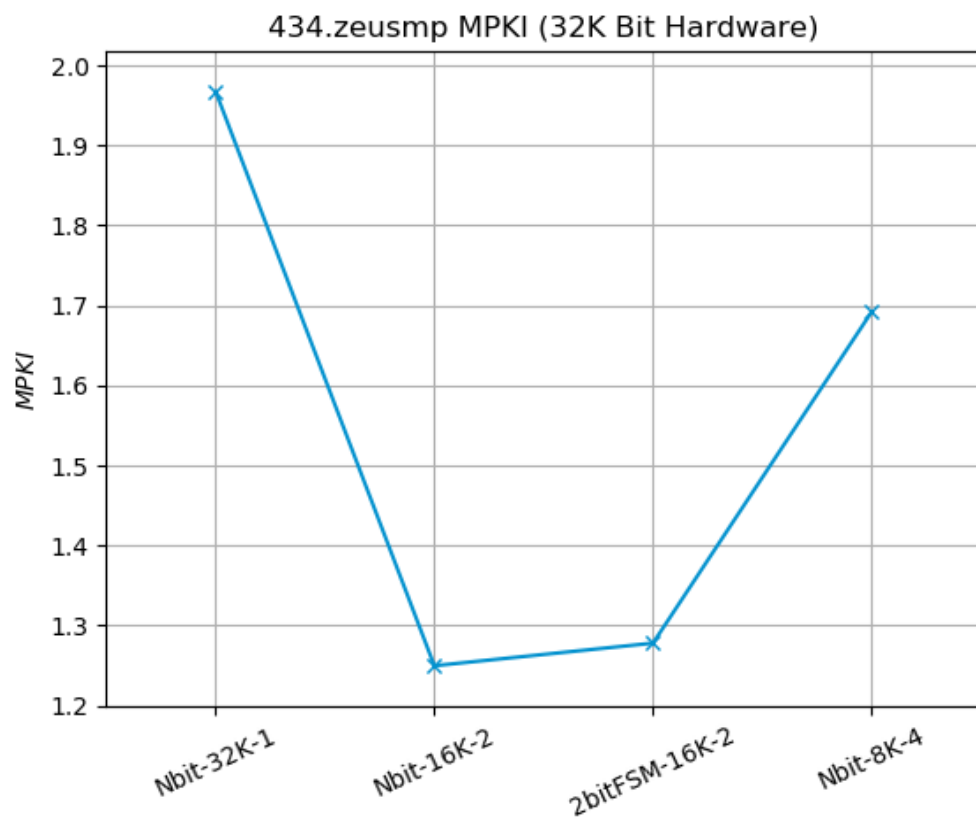


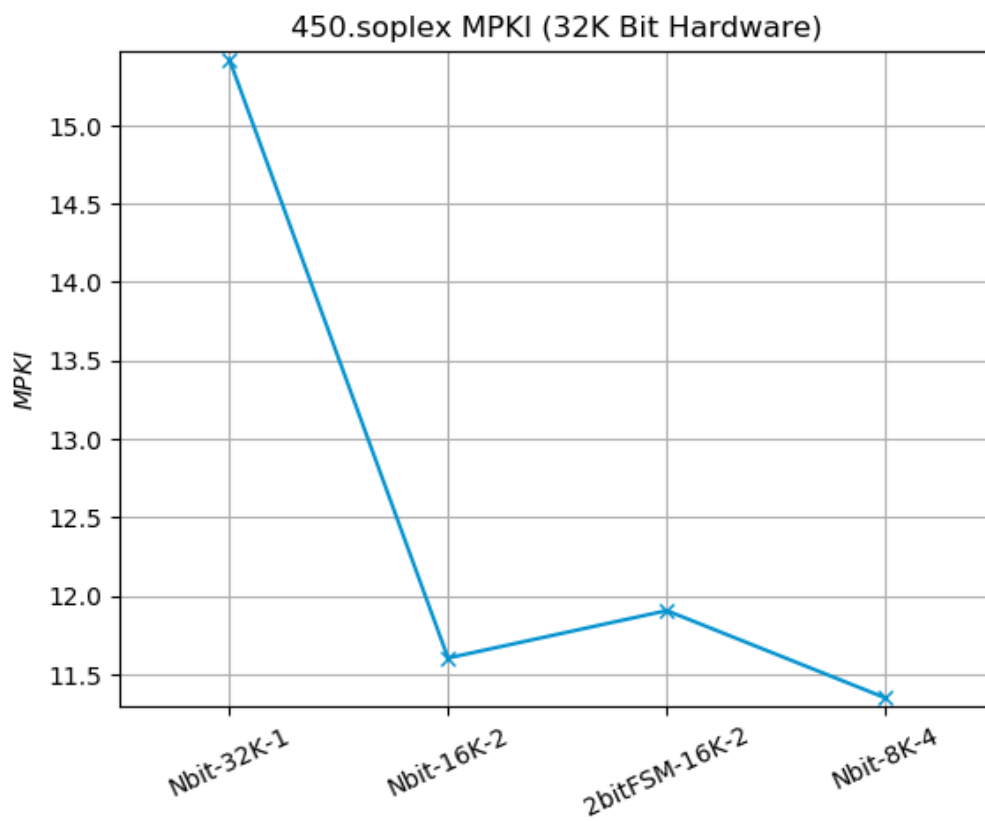
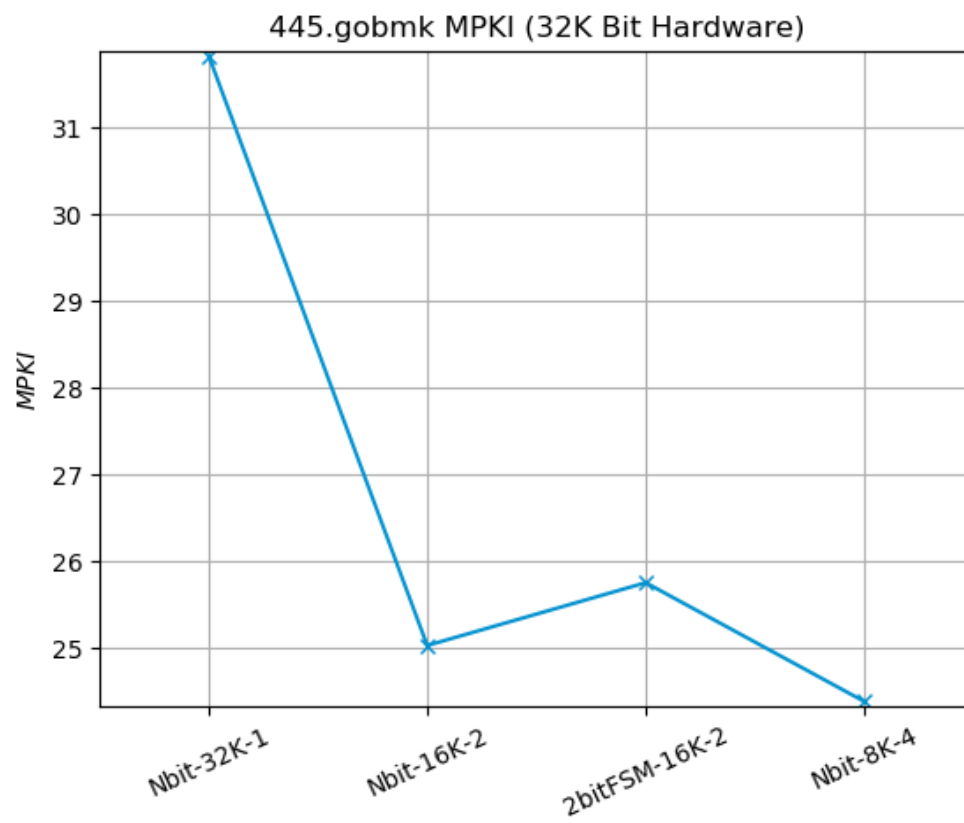
Παρατηρούμε ότι το MPKI των benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 436.cactusADM, 445.gobmk, 450.soplex, 456.hmmcr, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 462.libquantum, 471.omnetpp, 473.astar και 483.xalancbmk μειώνεται με την αύξηση των bits από 1 σε 2 και από 2 σε 3. Η αύξηση από 3 σε 4 επιφέρει μικρή μείωση του MPKI για όλα τα benchmarks με εξαίρεση τα 403.gcc, 429.mcf, 445.gobmk, 450.soplex και 471.omnetpp τα οποία εμφανίζουν μικρή αύξηση. Στο benchmark 434.zeusmp παρατηρείται μείωση του MPKI με την αύξηση των bits από 1 σε 2 αλλά η αύξηση από 2 σε 3 και από 3 σε 4 επιφέρει αύξηση του MPKI. Στο 470.lbm παρατηρείται αύξηση του MPKI με την αύξηση των bits του predictor. Το FSM που υλοποιήσαμε επιφέρει μείωση του MPKI σε σχέση με τον 1-bit predictor αλλά παρατηρούμε ίδιο ή ελαφρώς αυξημένο MPKI σε σχέση με τον 2-bit predictor, με εξαίρεση το benchmark 436.cactusADM όπου παρατηρείται πολύ μικρή μείωση. Συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι το παραπάνω FSM δεν είναι το ιδανικό για 2-bit predictor στην περίπτωση μας. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι λαμβάνουμε καλύτερες επιδόσεις από τον 16K 3-bit predictor.

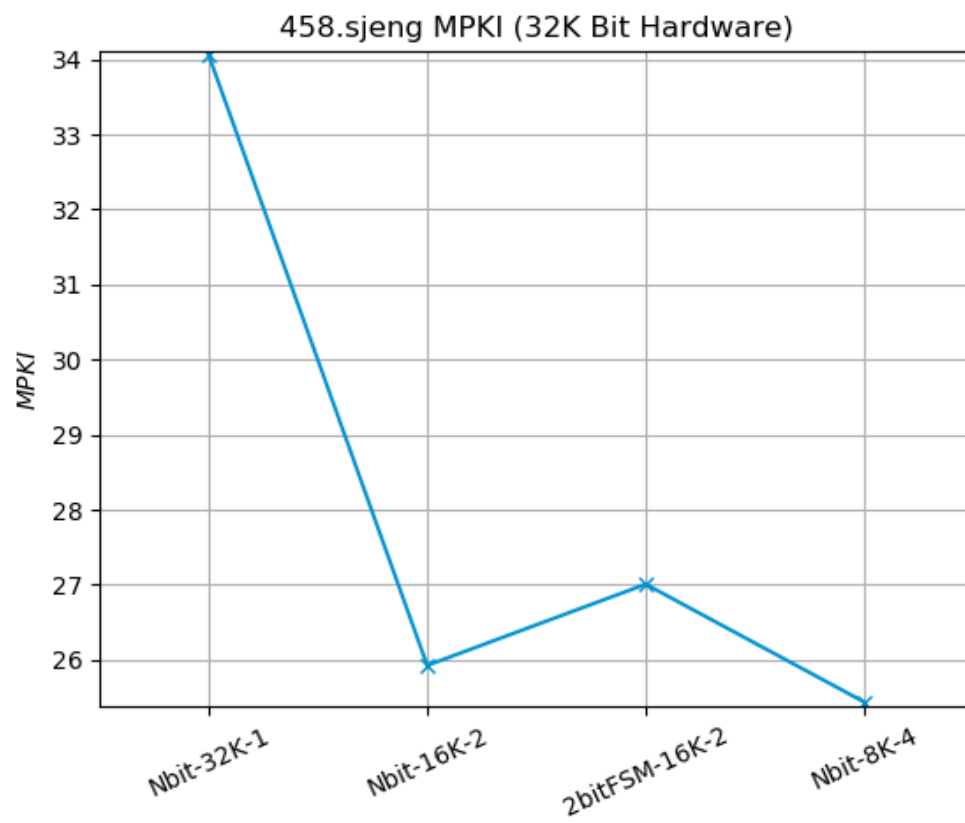
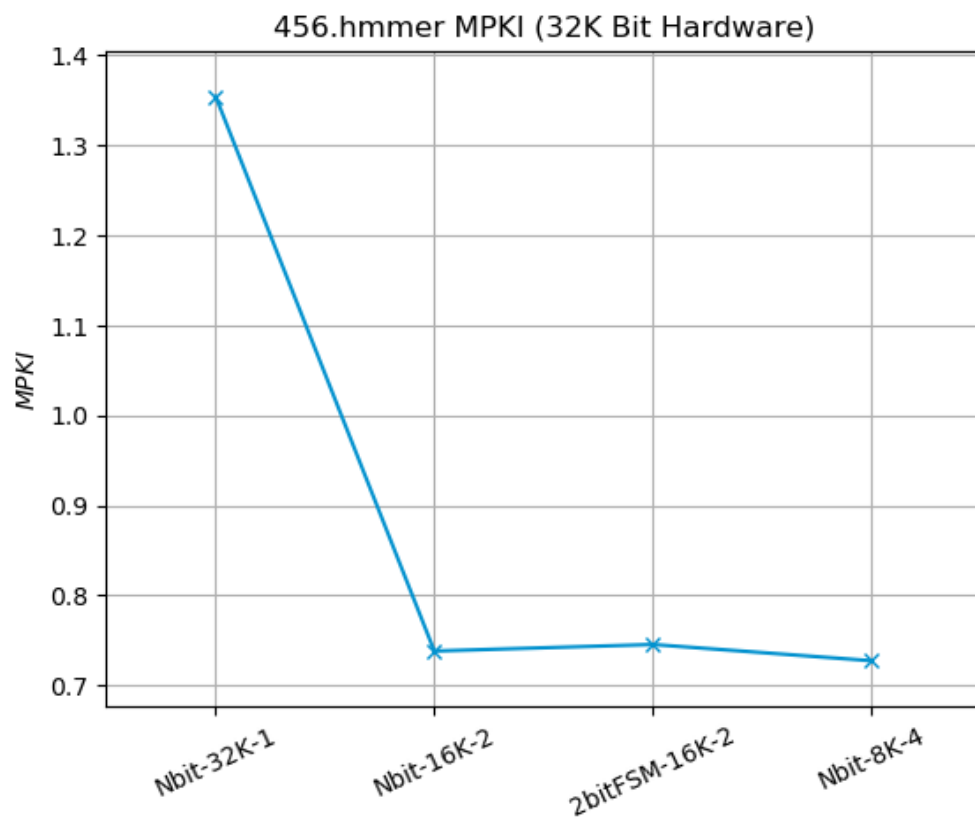
(ii) Προσομοιώνουμε n-bit predictors με  $n = 1, 2, 4$  και 2-bit predictor με το FSM από το παραπάνω ερώτημα, διατηρώντας σταθερό το hardware και ίσο με 32K bits. Ακολουθούν τα διαγράμματα σύγκρισης των 4 predictors με μετρικό Mispredictions Per KiloInstruction (MPKI) για κάθε benchmark:

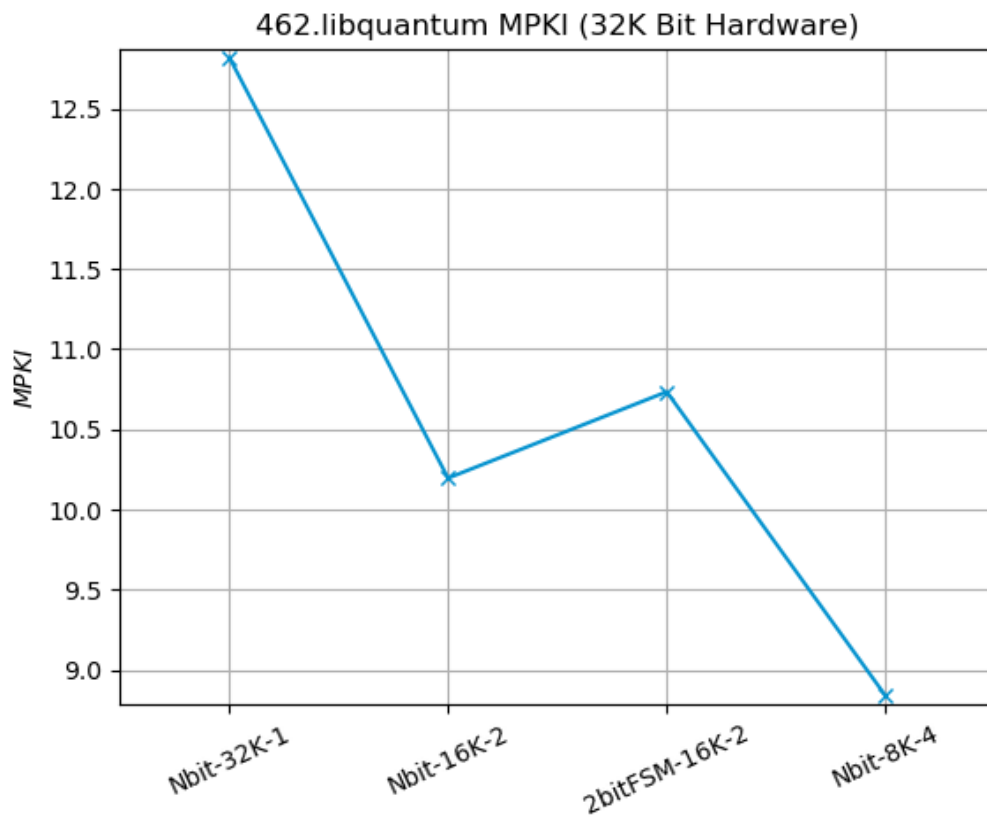
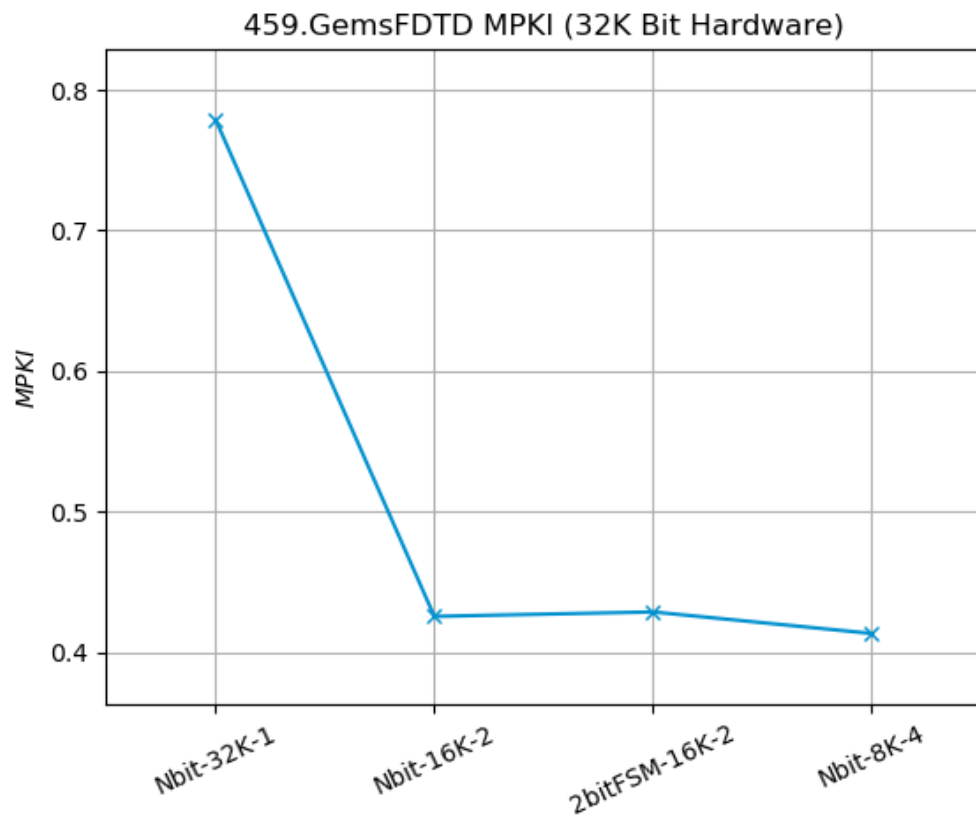


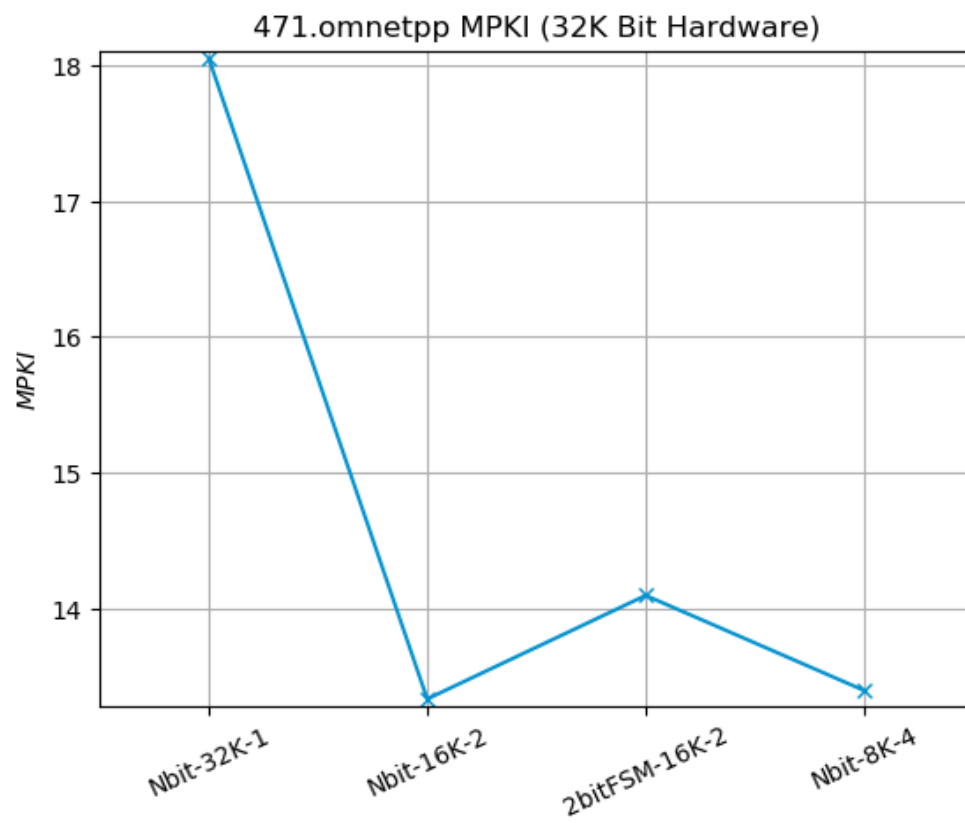
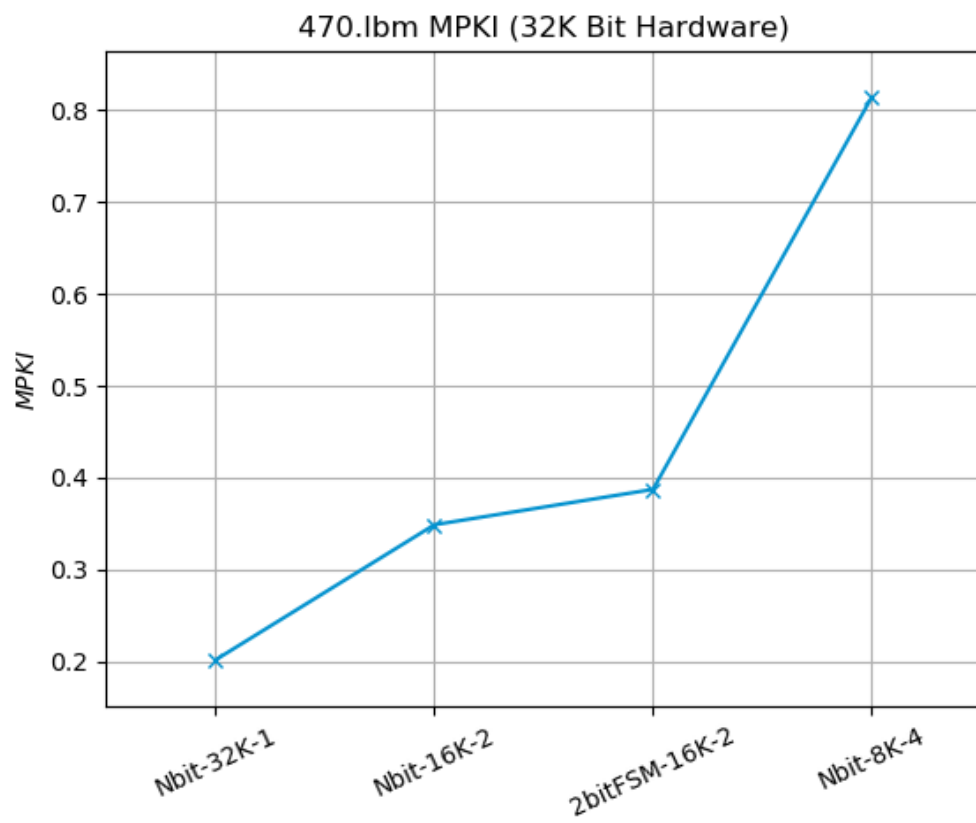


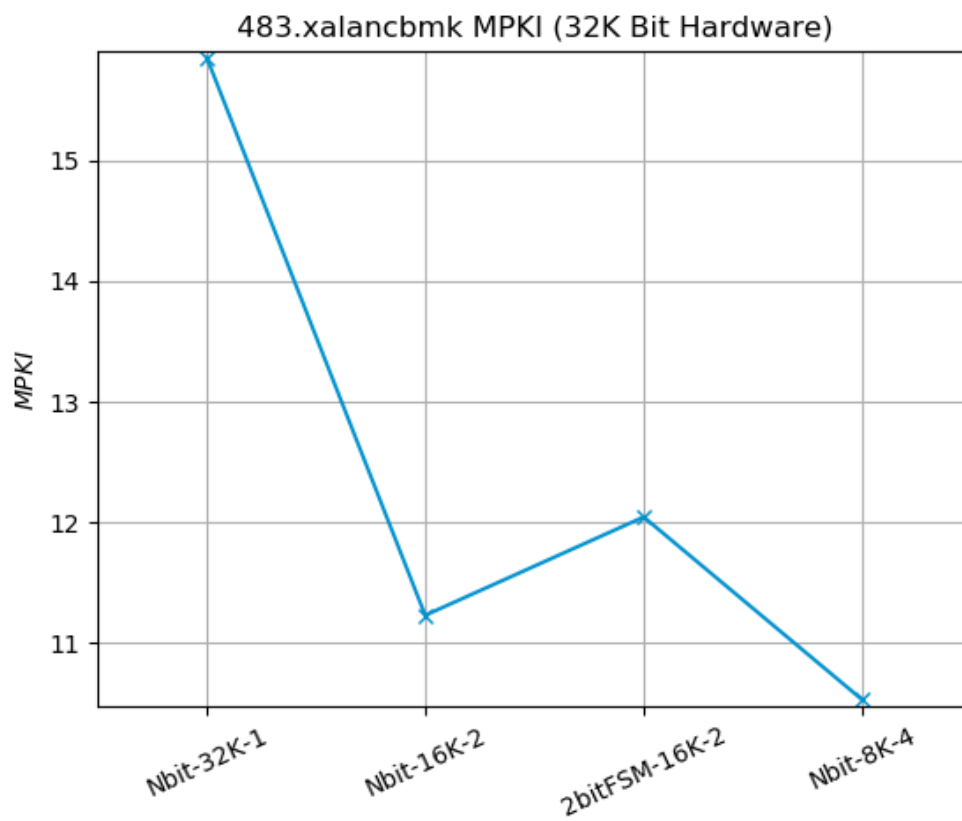
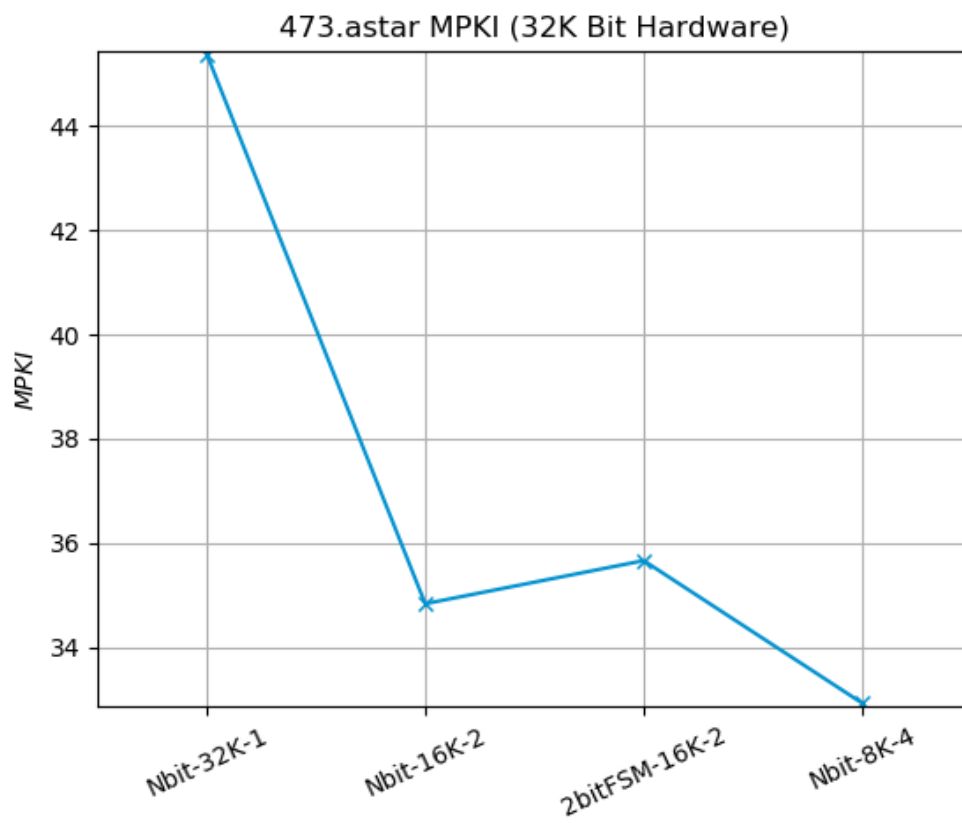












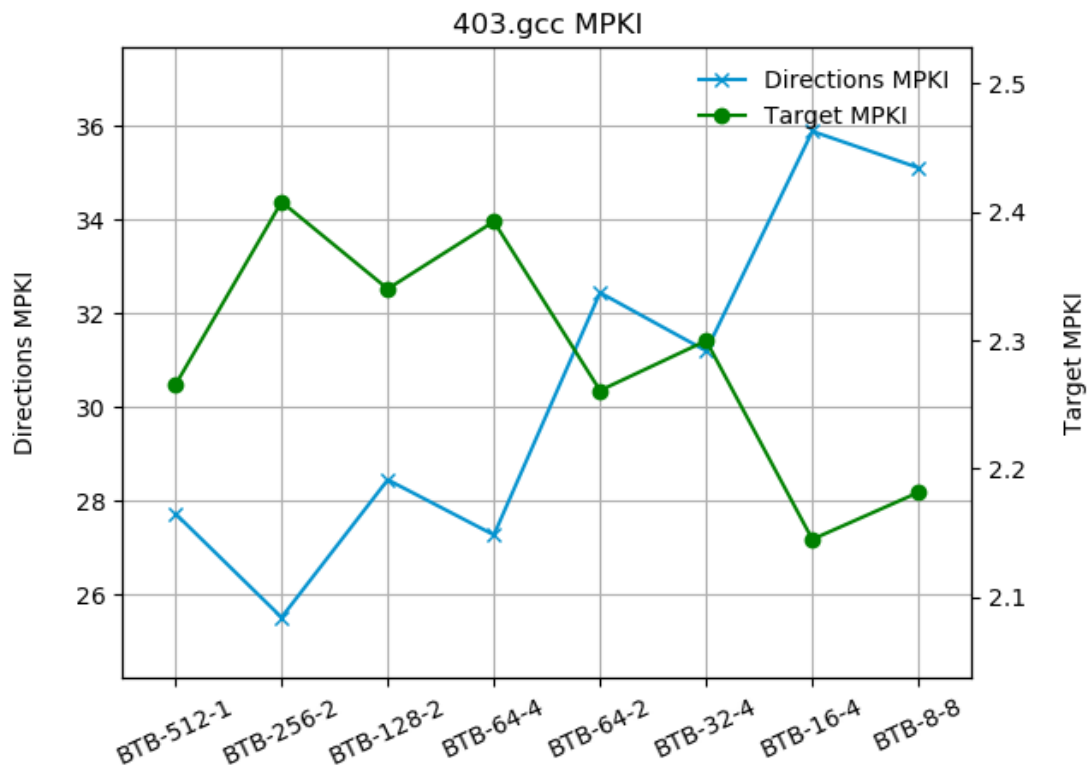
Παρατηρούμε ότι το MPKI των benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 436.cactusADM, 445.gobmk, 450.soplex, 456.hmmmer, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 462.libquantum, 471.omnetpp, 473.astar και 483.xalancbmk μειώνεται με την μετάβαση από 32K 1-bit predictor σε 16K 2-bit predictor και από 16K 2-bit predictor σε 8K 4-bit predictor. Στο benchmark 434.zeusmp παρατηρείται μείωση του MPKI με την μετάβαση από 32K 1-bit predictor σε 16K 2-bit predictor αλλά η μετάβαση από 16K 2-bit predictor σε 8K 4-bit predictor επιφέρει αύξηση του MPKI. Στο 470.lbm και πάλι παρατηρείται αύξηση του MPKI με την αύξηση των bits του predictor. Και πάλι, παρατηρούμε ότι το FSM που υλοποιήσαμε επιφέρει μείωση του MPKI σε σχέση με τον 32K 1-bit predictor αλλά παρατηρούμε ίδιο ή αυξημένο MPKI σε σχέση με τον 16K 2-bit predictor, με εξαίρεση το benchmark 436.cactusADM όπου παρατηρείται πολύ μικρή μείωση, οπότε το παραπάνω FSM δεν είναι το ιδανικό για 2-bit predictor στην περίπτωση μας. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι λαμβάνουμε καλύτερες επιδόσεις από τον 8K 4-bit predictor.

### 4.3 Μελέτη του BTB

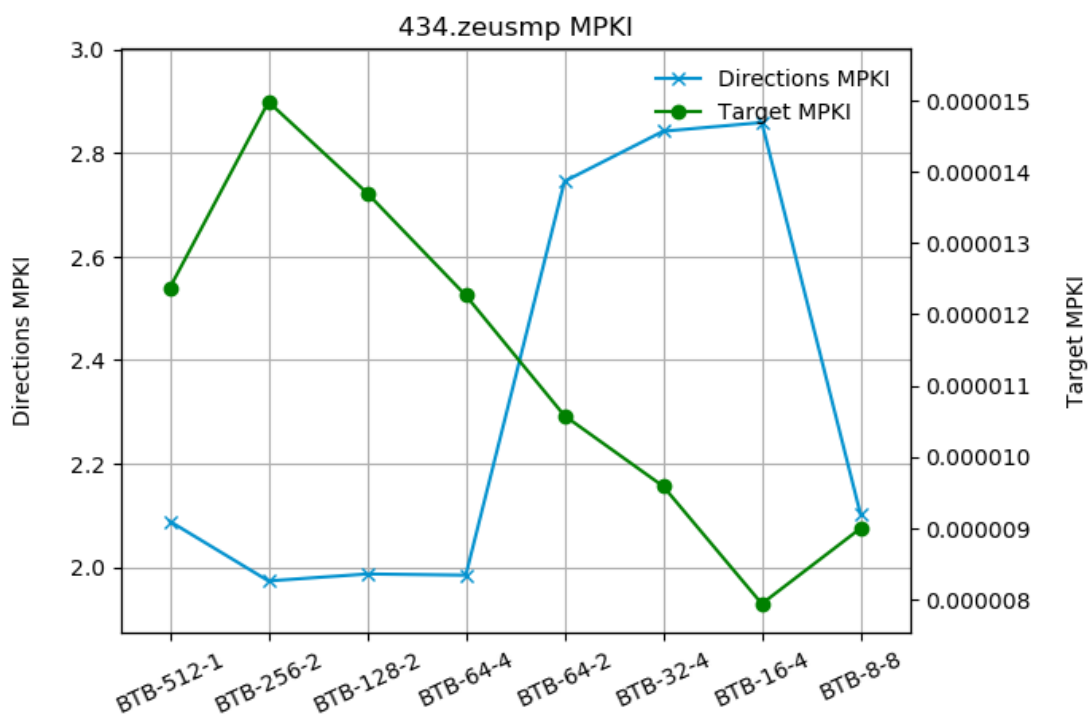
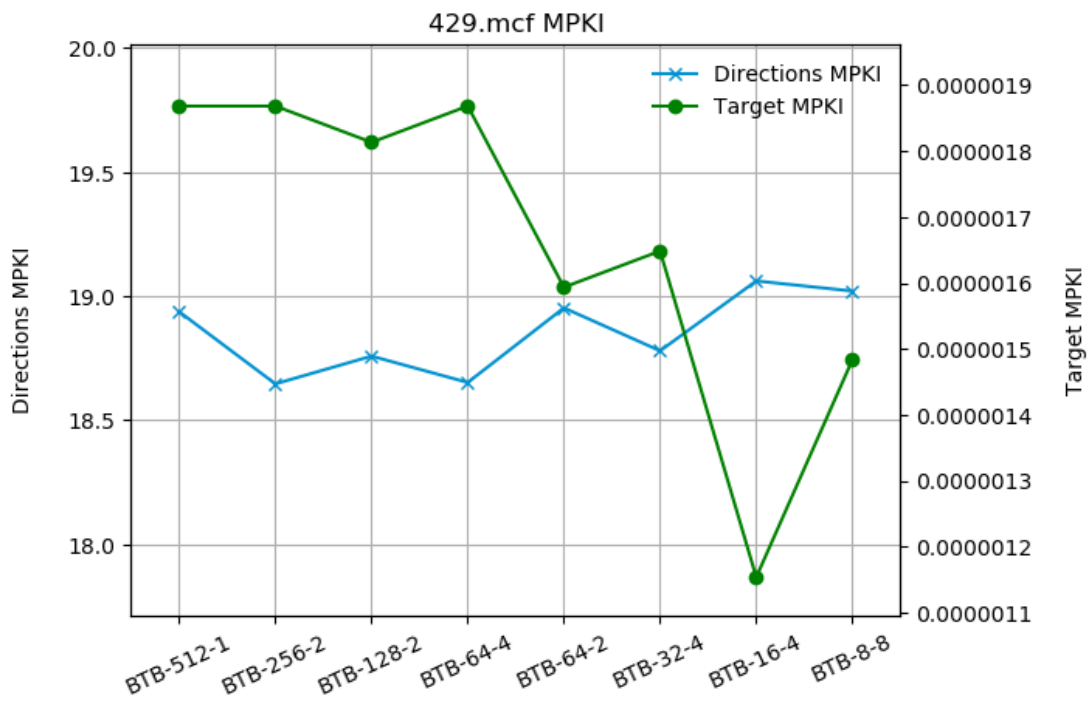
Προσομοιώνουμε Branch-Target Buffers με τις παρακάτω παραμέτρους:

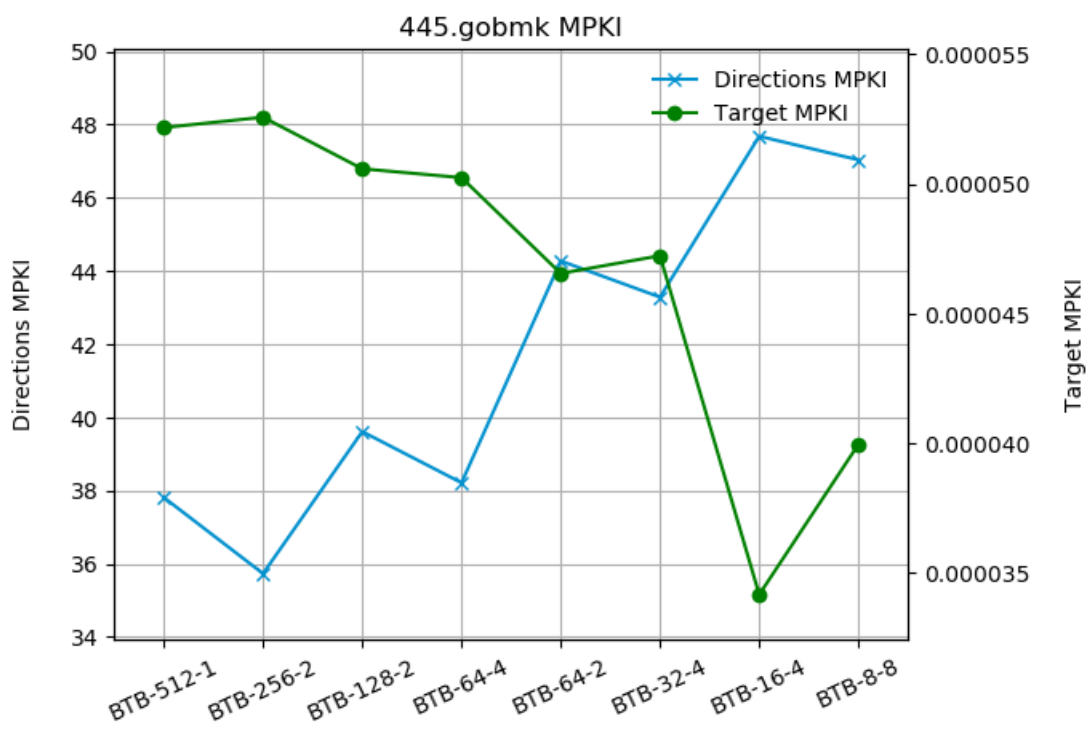
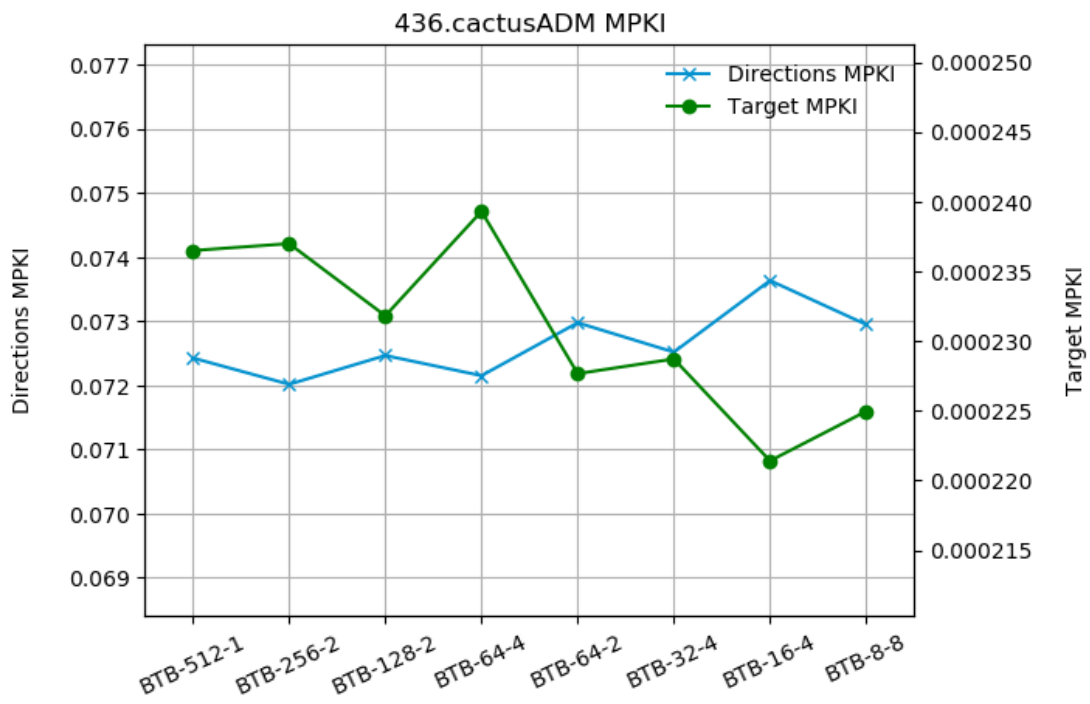
BTB entries	BTB associativity
512	1, 2
256	2, 4
128	2, 4
64	4, 8

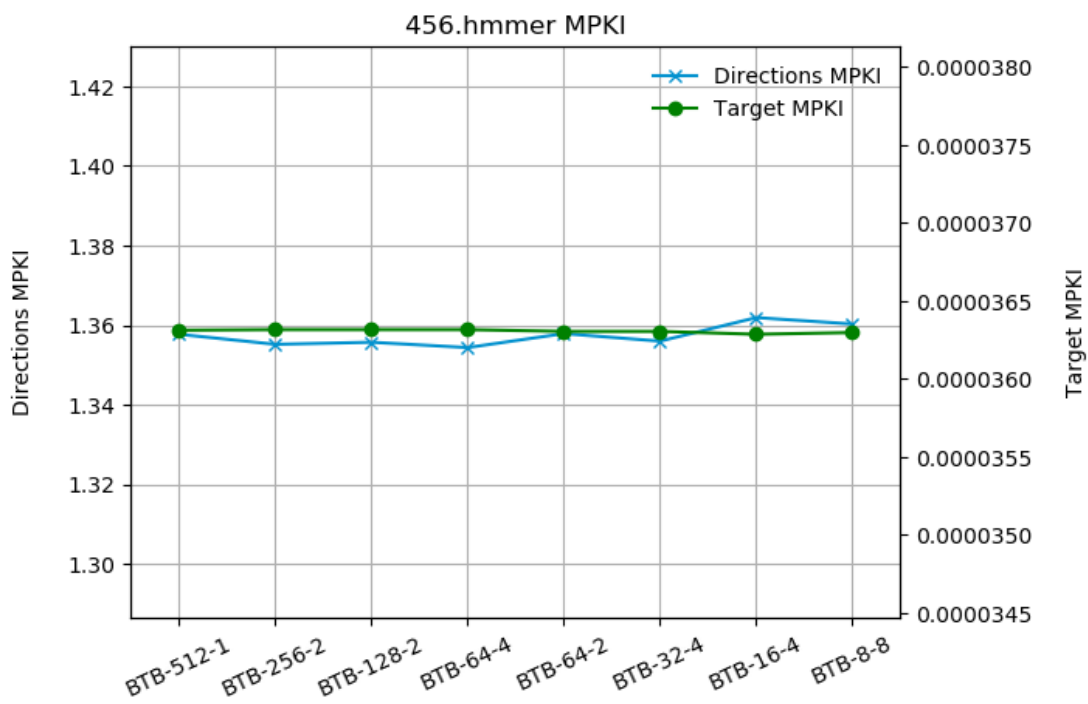
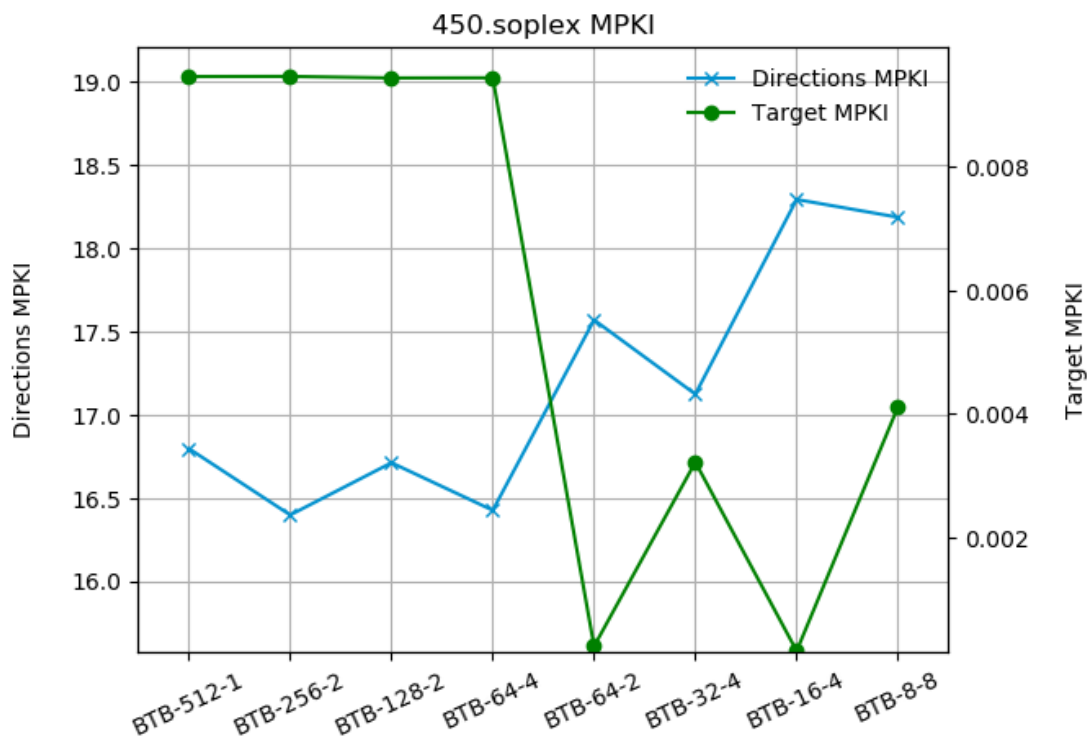
Ακολουθούν τα διαγράμματα σύγκρισης των παραπάνω οργάνώσεων για το BTB με μετρικά Direction και Target Mispredictions Per KiloInstruction (MPKI) για κάθε benchmark:

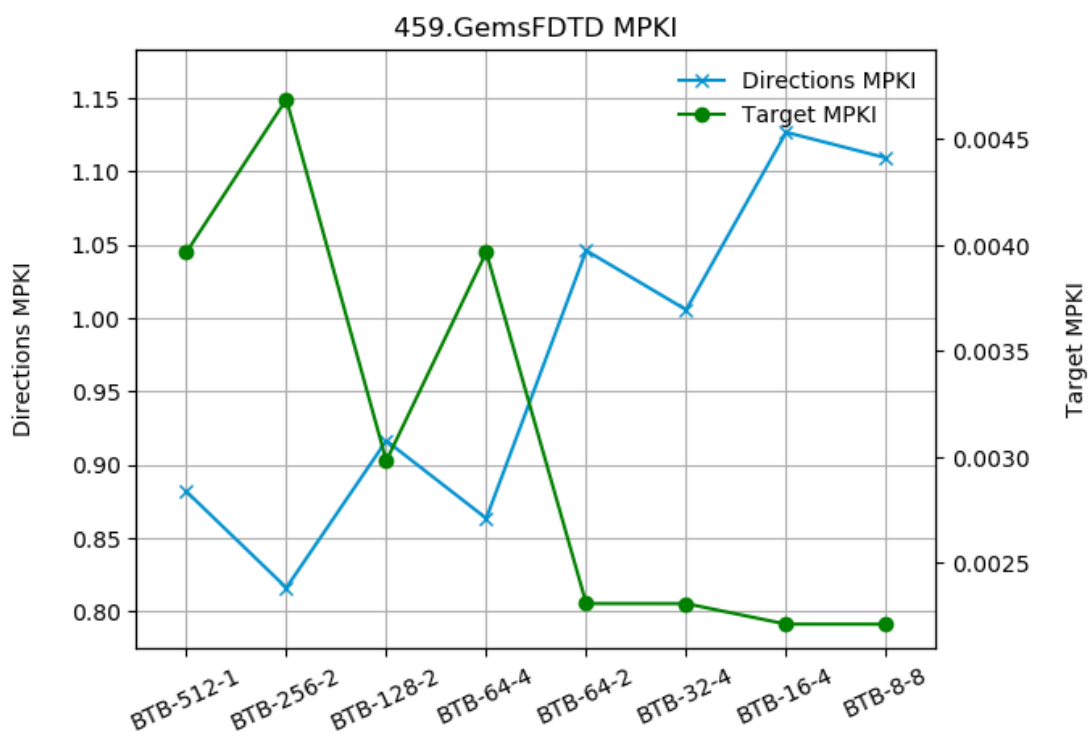
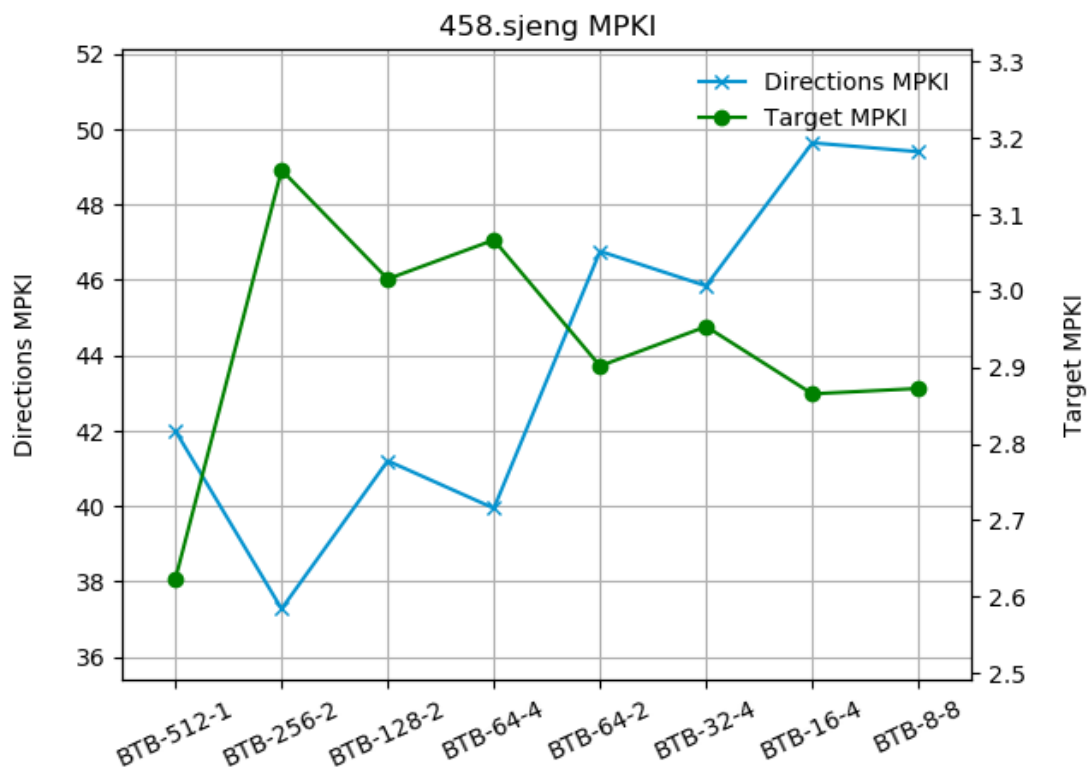


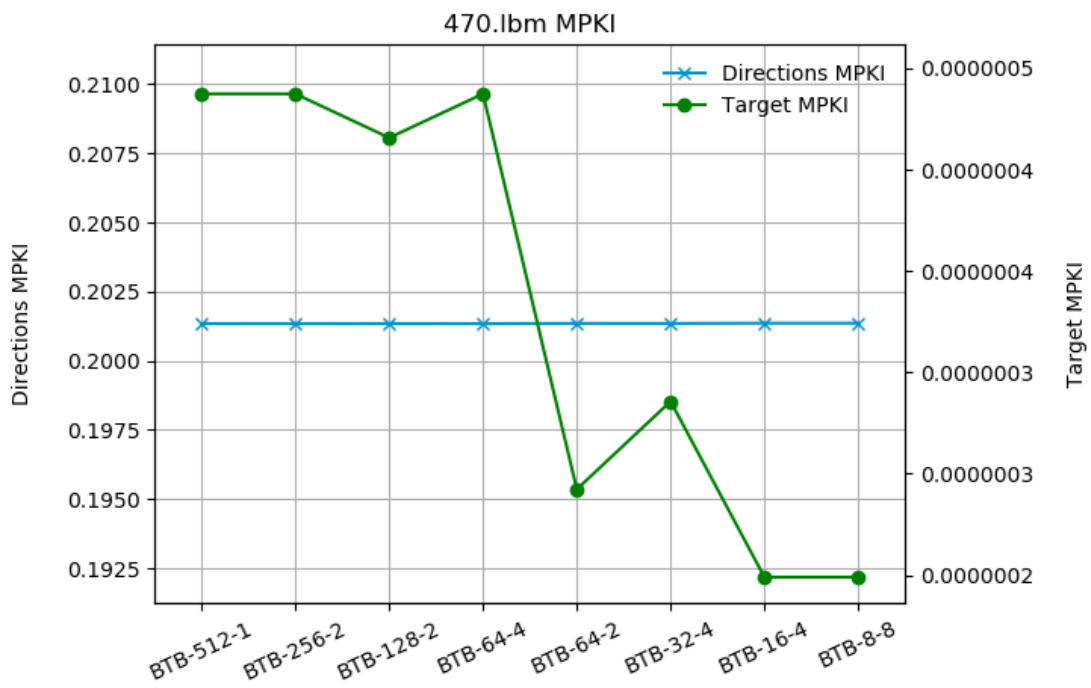
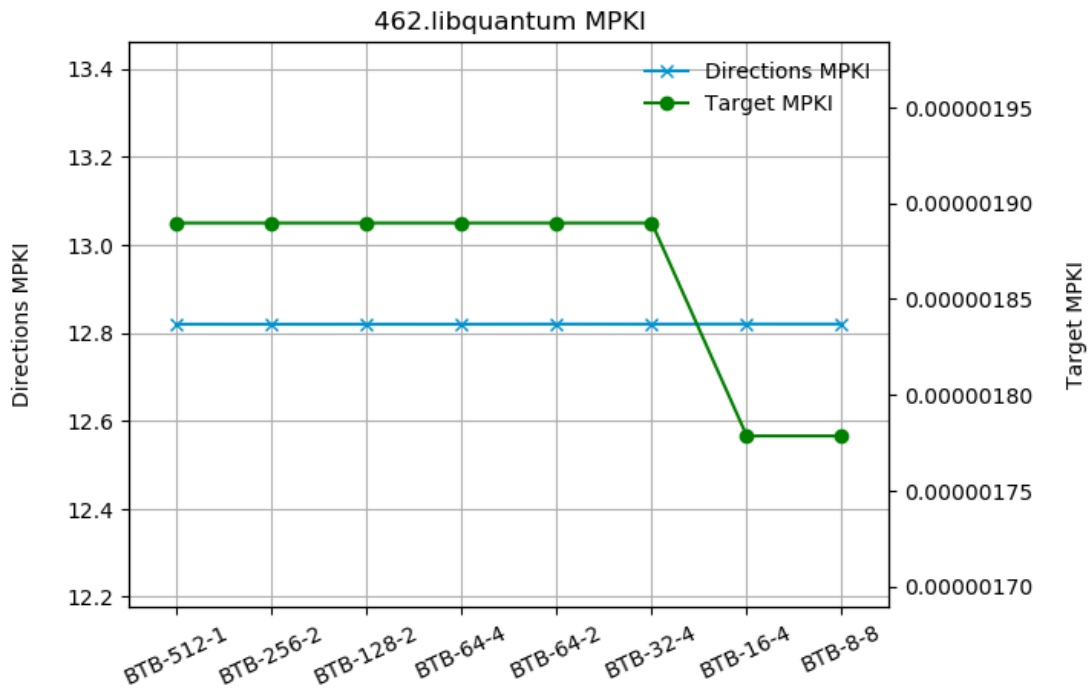


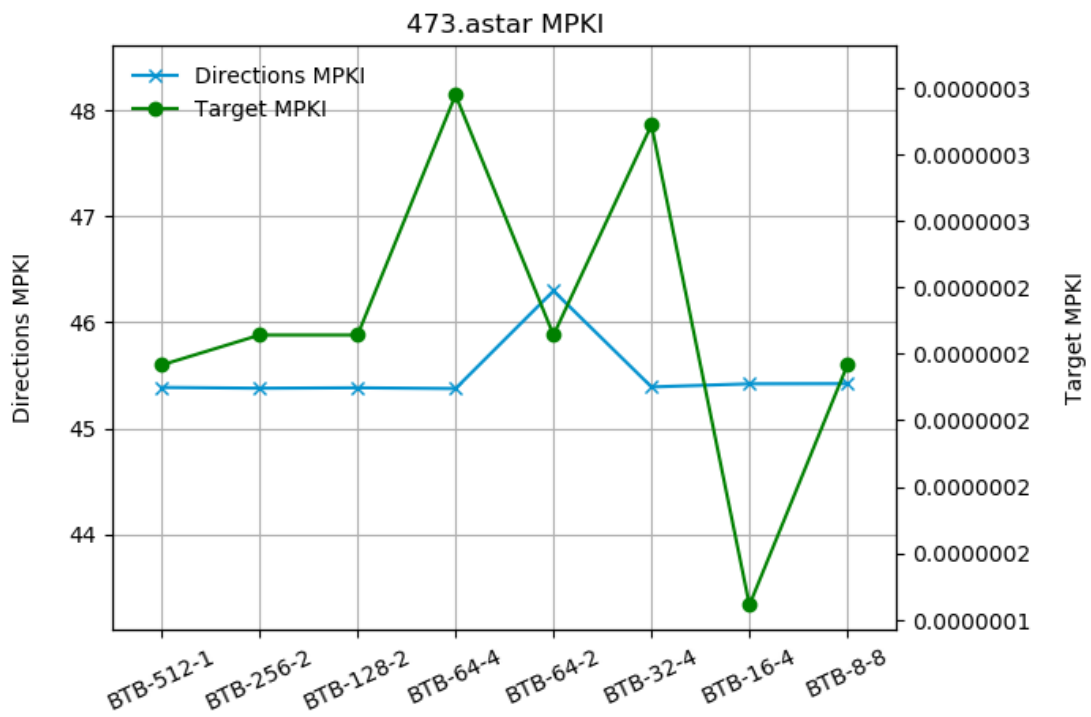
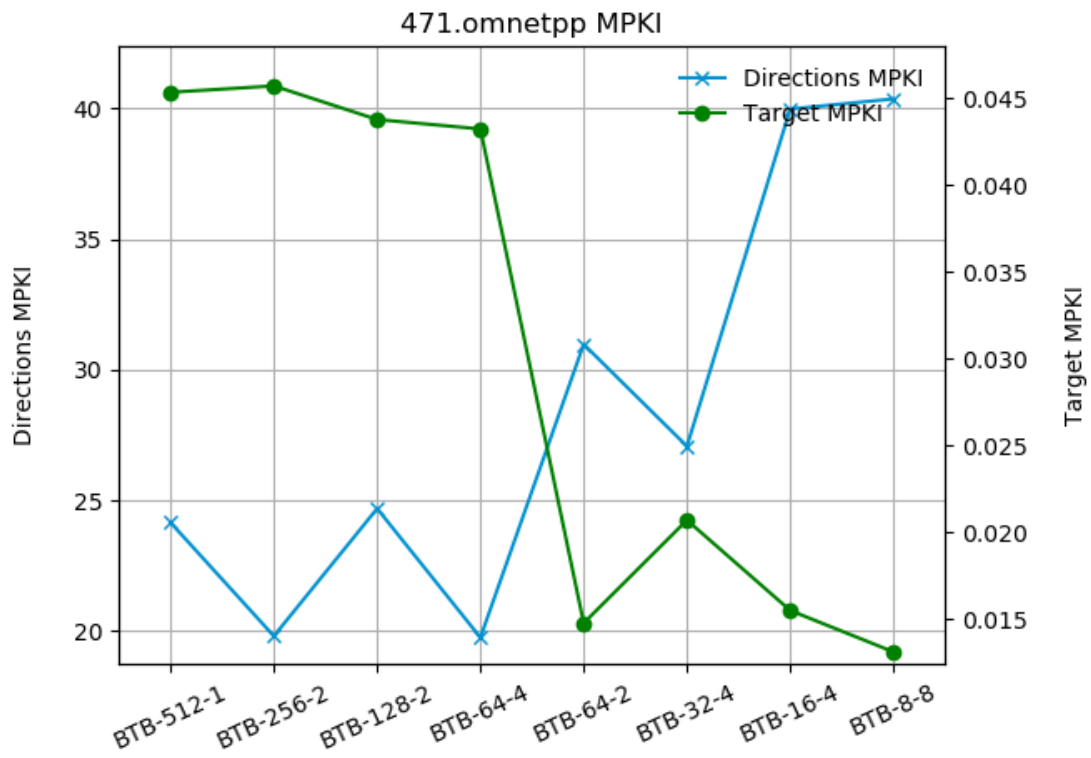


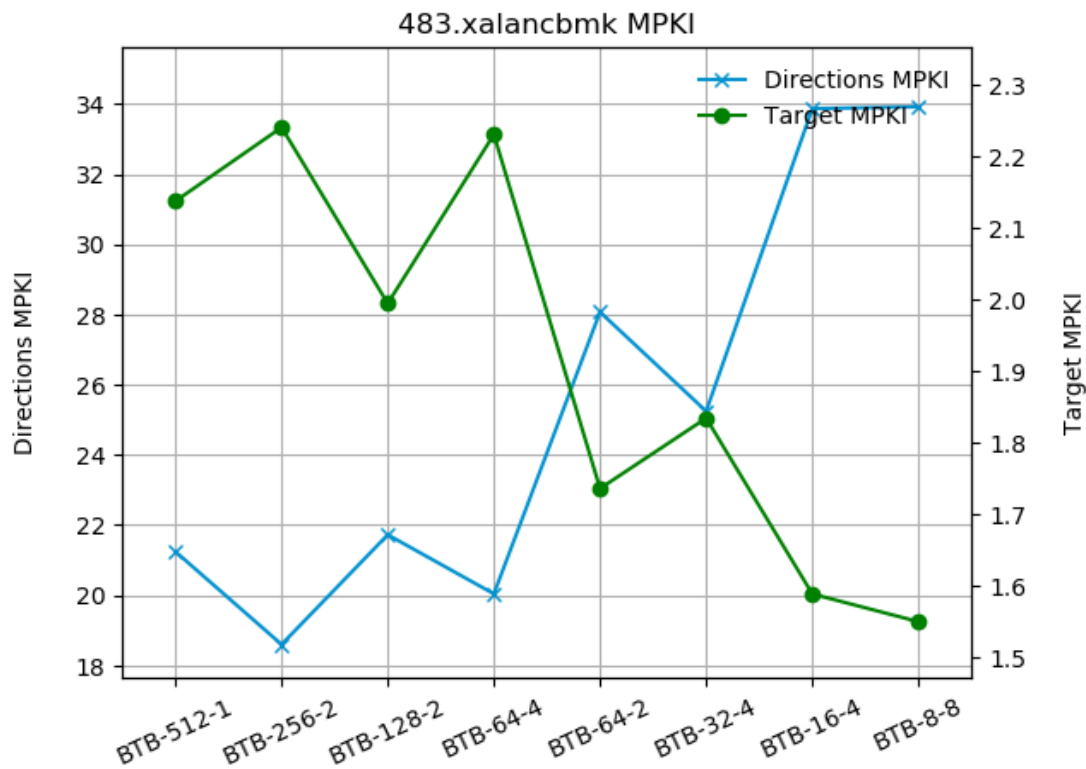












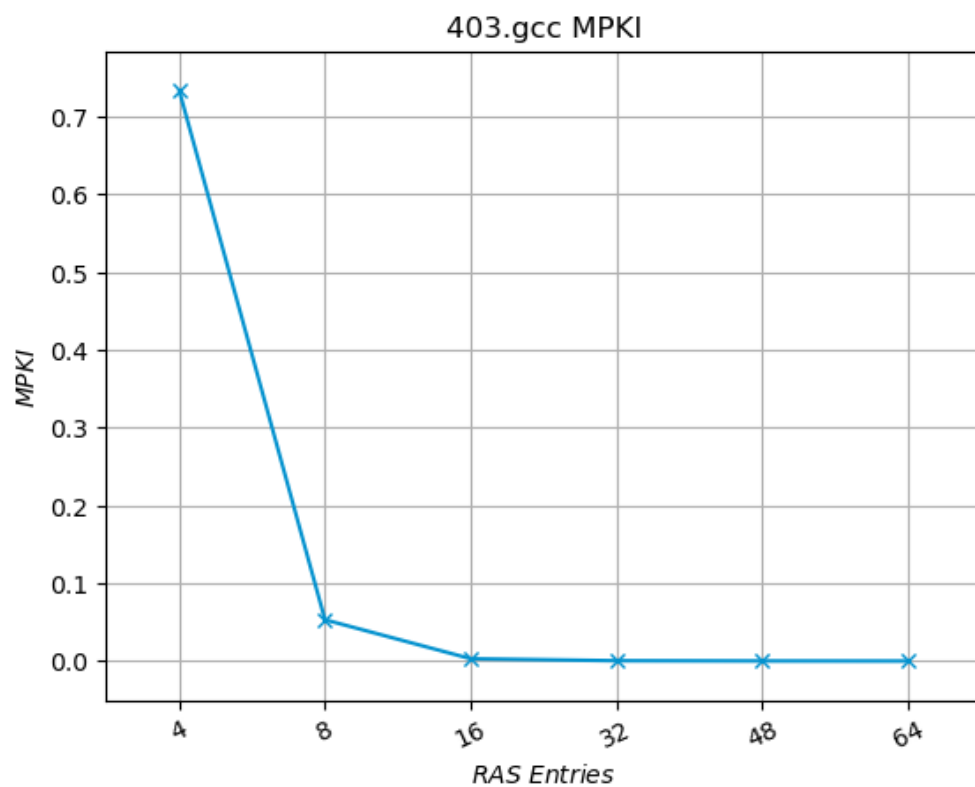
Παρατηρούμε ότι το Direction MPKI είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με το Target MPKI όλων των benchmarks το οποίο περιμέναμε αφού για τις περισσότερες εντολές άλματος η διεύθυνση στην οποία μεταβαίνουν παραμένει ίδια σε κάθε εκτέλεση (for loops, while loops κτλ.). Το Target MPKI φαίνεται, σε γενικές γραμμές, να μεταβάλλεται αντίστροφα από το Direction MPKI το οποίο είναι αναμενόμενο αφού Target MPKI μπορεί να γίνει εάν έχουμε Direction Hit το πλήθος των οποίων, προφανώς, μεταβάλλεται αντίστροφα από το Direction MPKI. Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα αποφασίσουμε την καλύτερη οργάνωση για το BTB δίνοντας έμφαση στα Direction MPKI. Παρατηρούμε ότι στα benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 436.cactusADM, 445.gobmk, 450.soplex, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 471.omnetpp και 483.xalancbmk το Direction MPKI μειώνεται με την αύξηση των entries και του associativity. Στα 429.mcf, 436.cactusADM, 450.soplex και 471.omnetpp η αύξηση των entries από 256 σε 512 δεν επιφέρει μείωση του Direction MPKI. Στα 456.hmmmer, 462.libquantum, 470.lbm και 473.astar το Direction MPKI παραμένει σταθερό, με αμελητέες αυξομειώσεις σε κάποια benchmarks, παρά την μεταβολή των entries και του associativity. Στο 434.zeusmp παρατηρούμε ότι το Direction MPKI επηρεάζεται κυρίως από τον αριθμό των entries με την αύξηση του associativity να επιφέρει μικρές βελτιώσεις. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι λαμβάνουμε καλύτερες επιδόσεις με την οργάνωση 512 entries και associativity 2, οπότε 256 lines, του BTB.

#### 4.4 Μελέτη του RAS

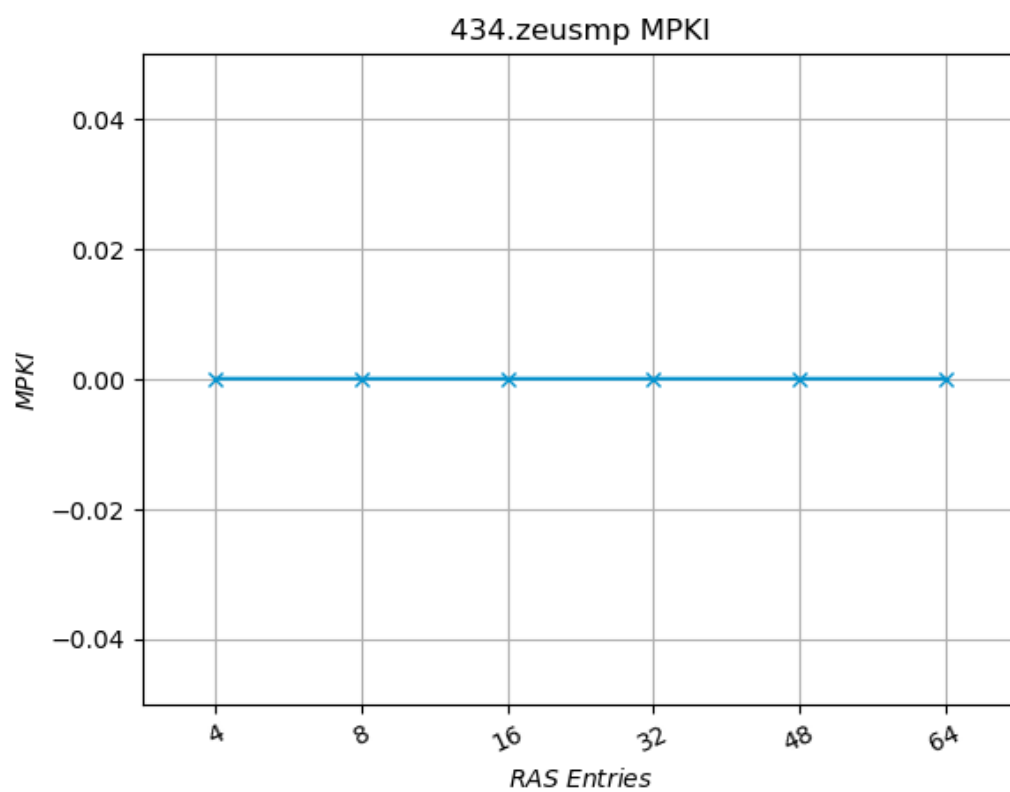
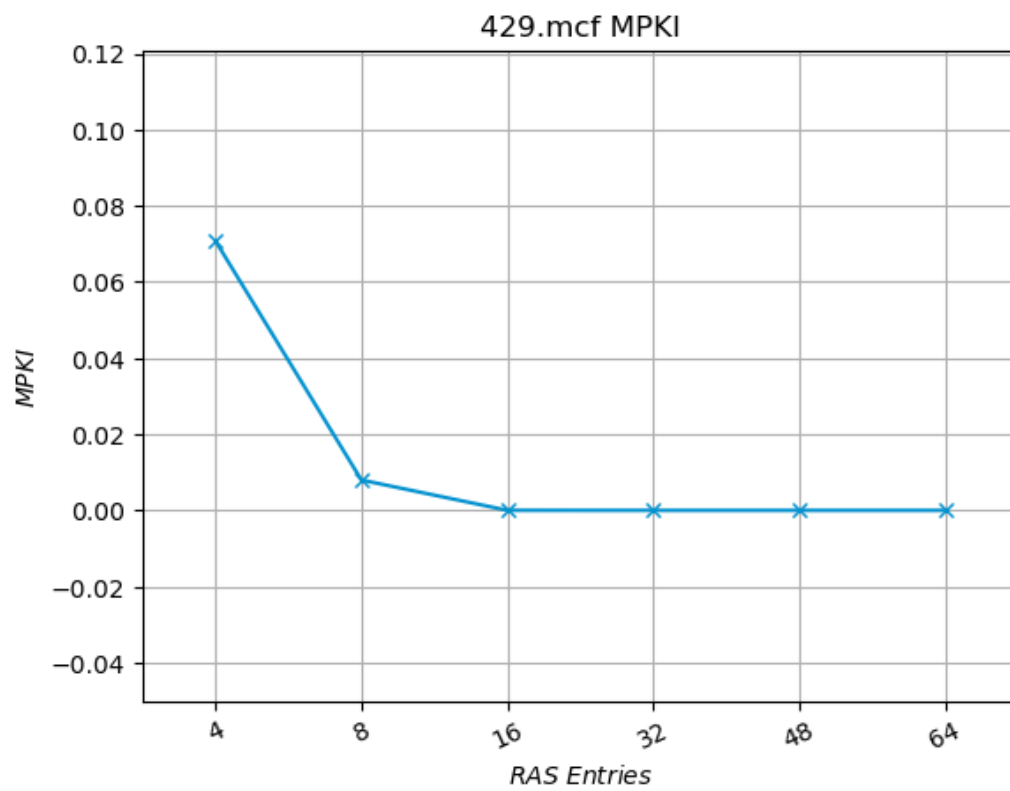
Μελετάμε το ποσοστό αστοχίας για τις ακόλουθες περιπτώσεις Return Address Stack:

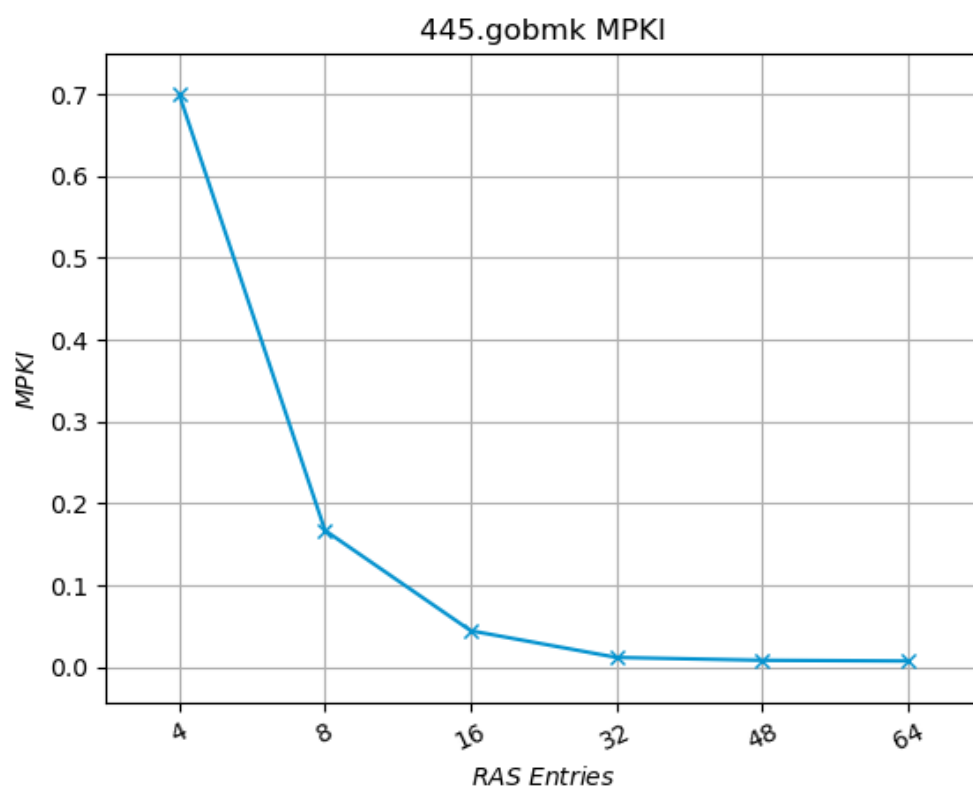
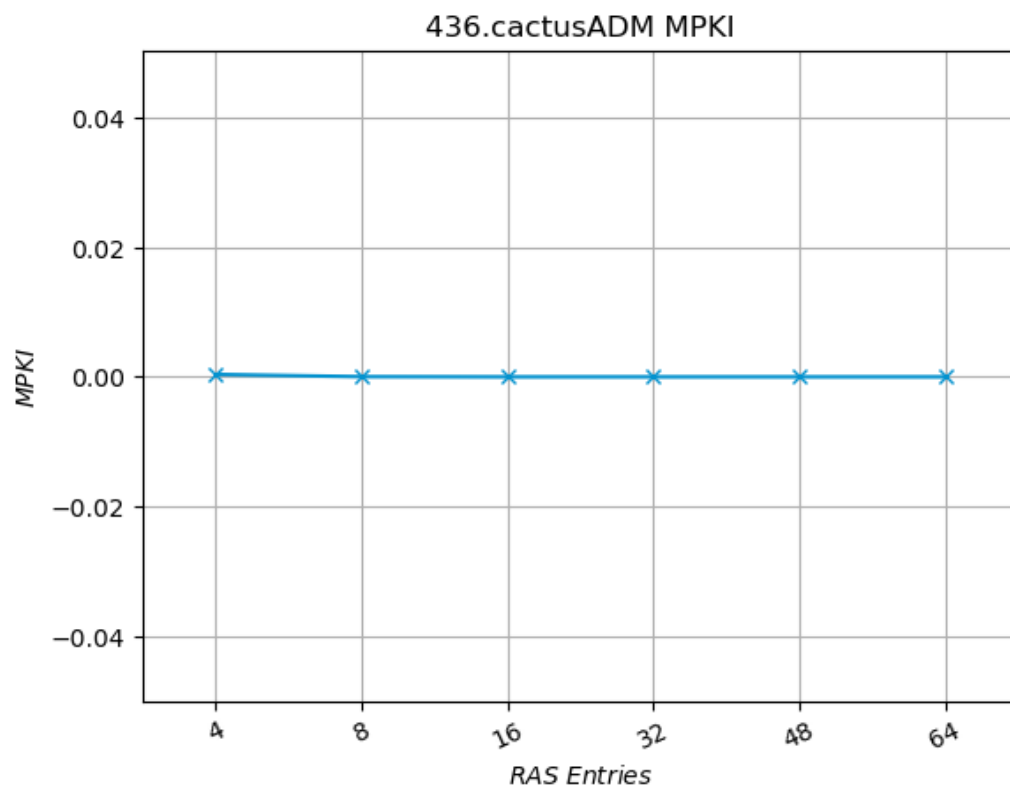
Αριθμός εγγραφών στη RAS
4
8
16
32
48
64

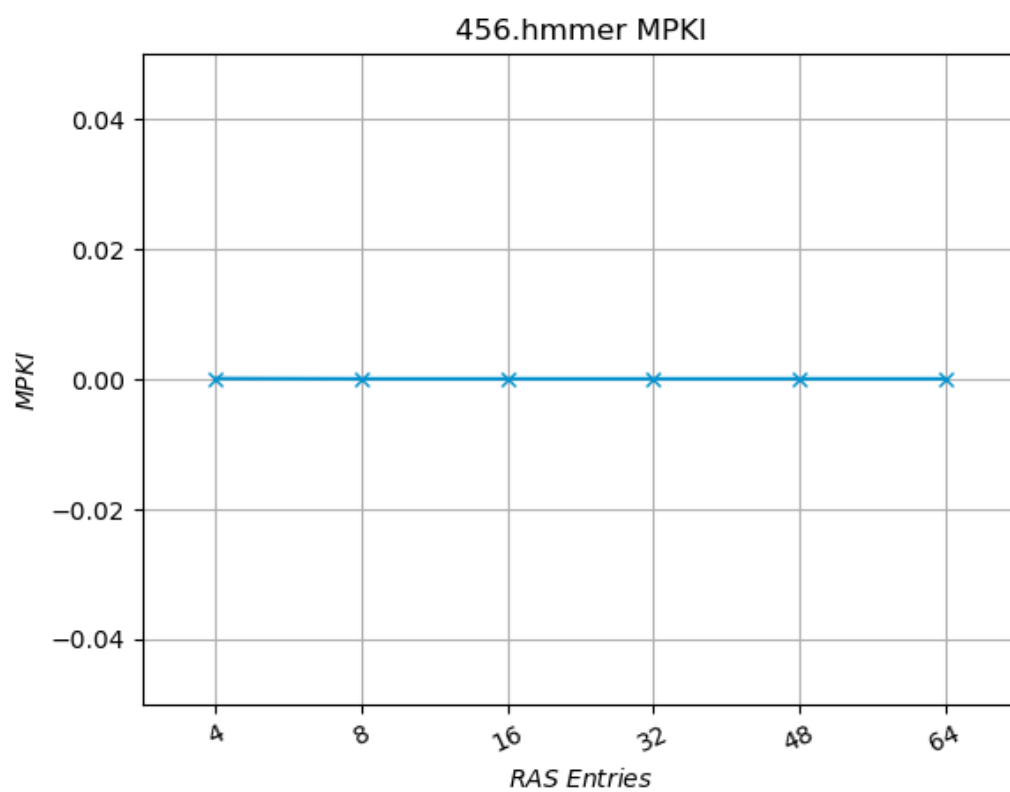
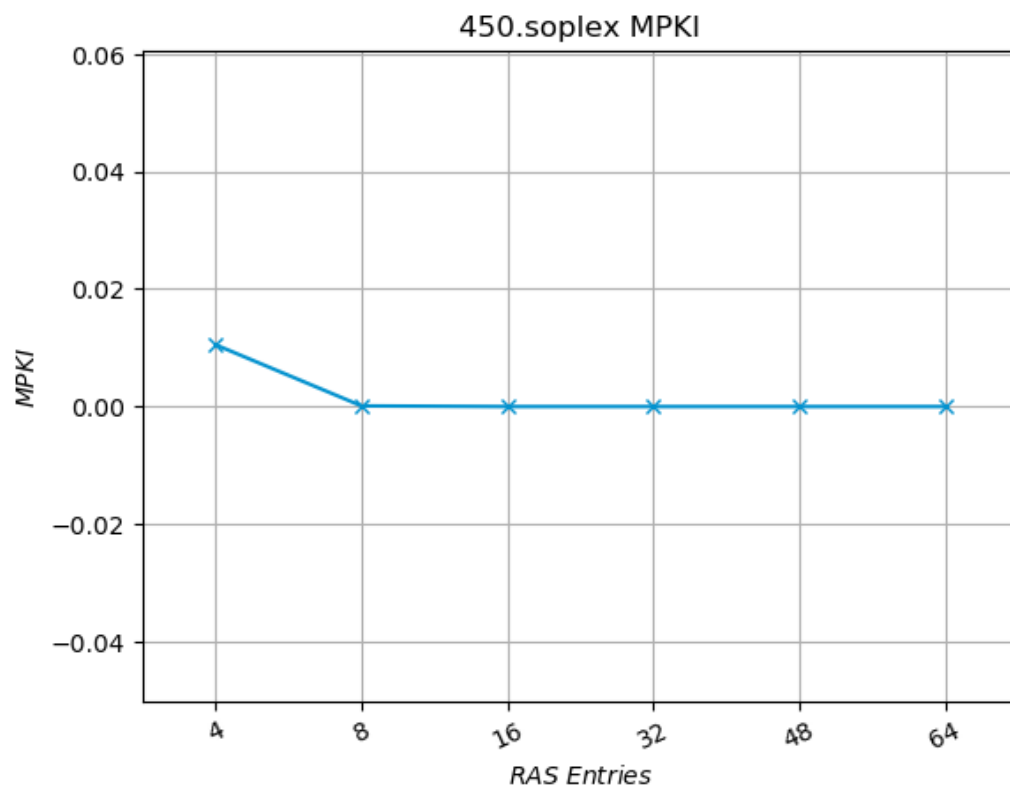
Ακολουθούν τα διαγράμματα σύγκρισης των παραπάνω οργανώσεων για το RAS με μετρικό Mispredictions Per KiloInstruction (MPKI) για κάθε benchmark:

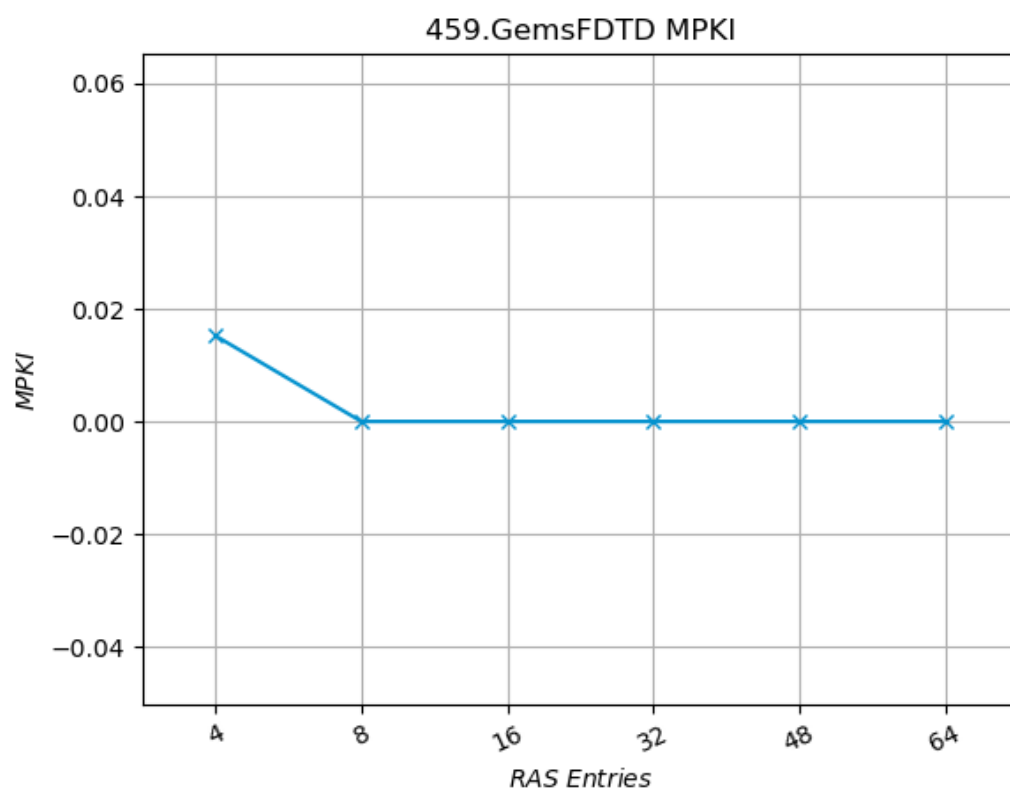
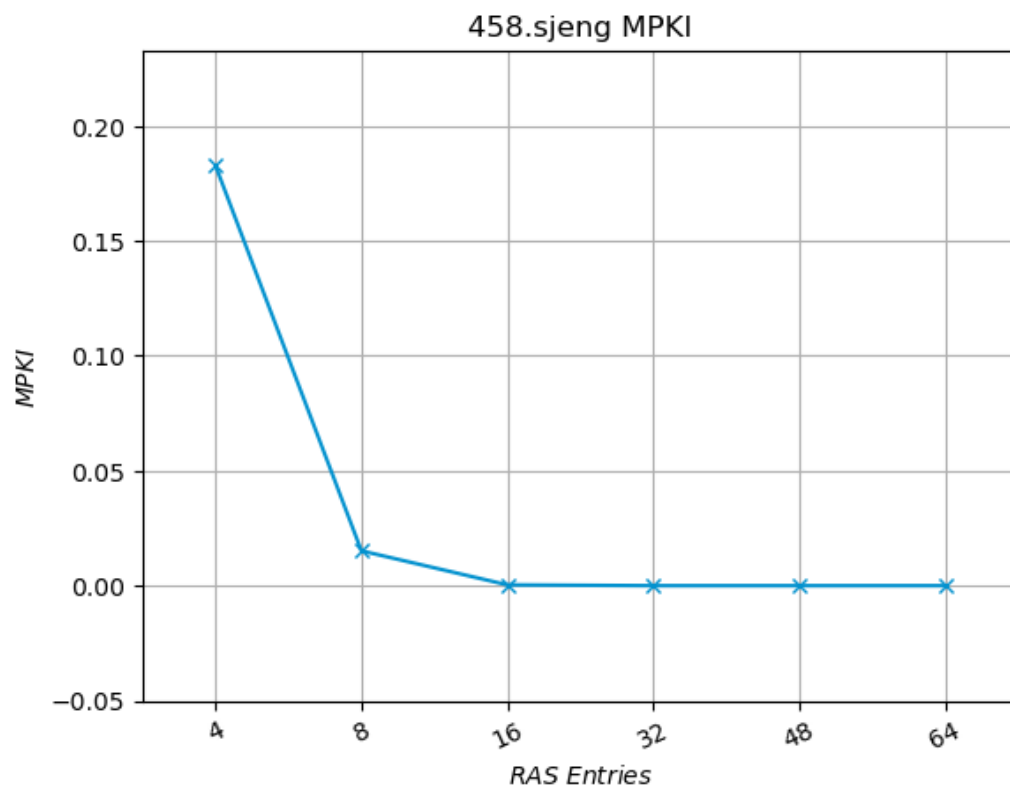


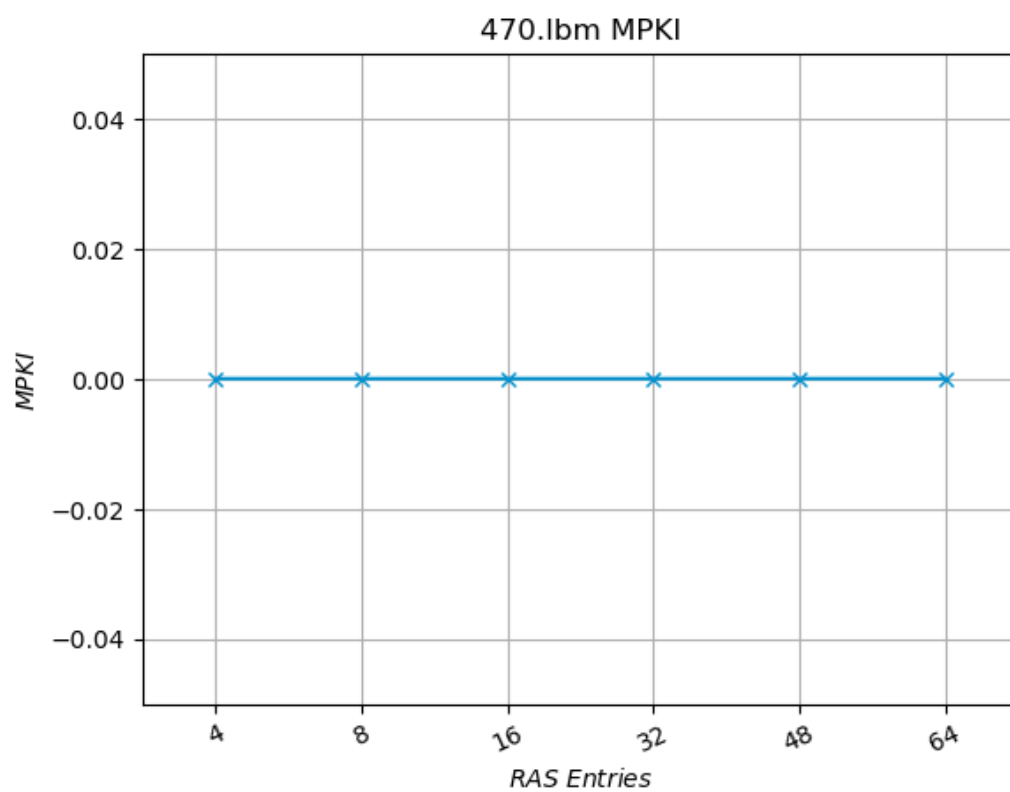
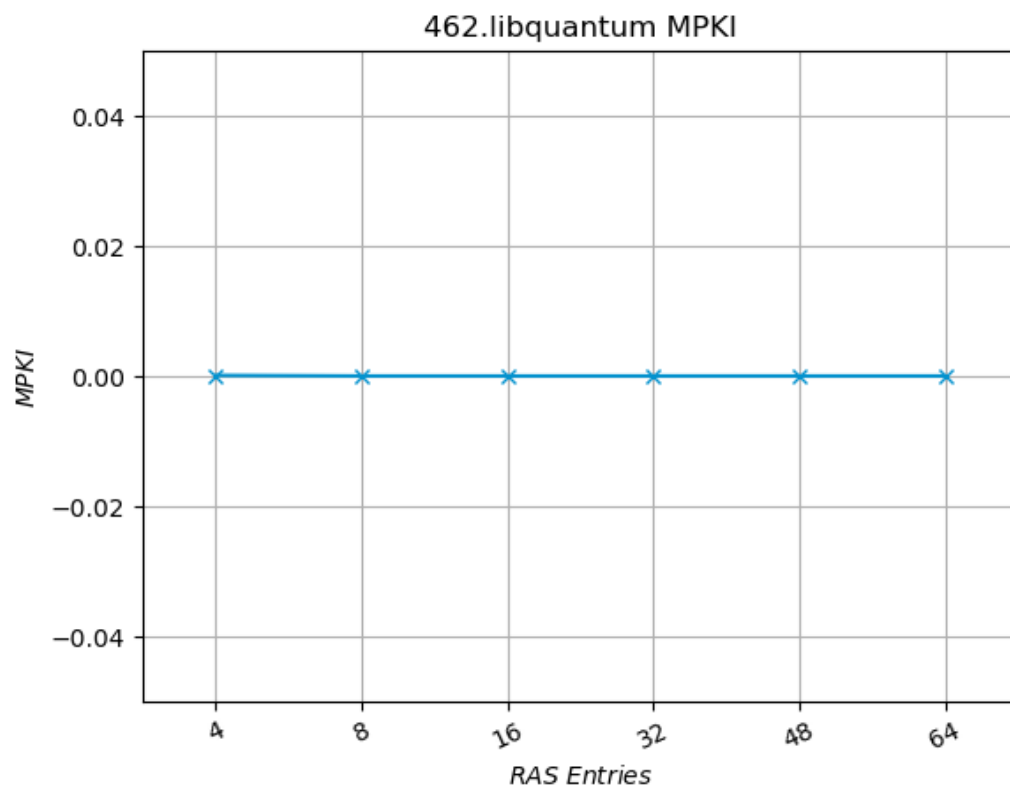


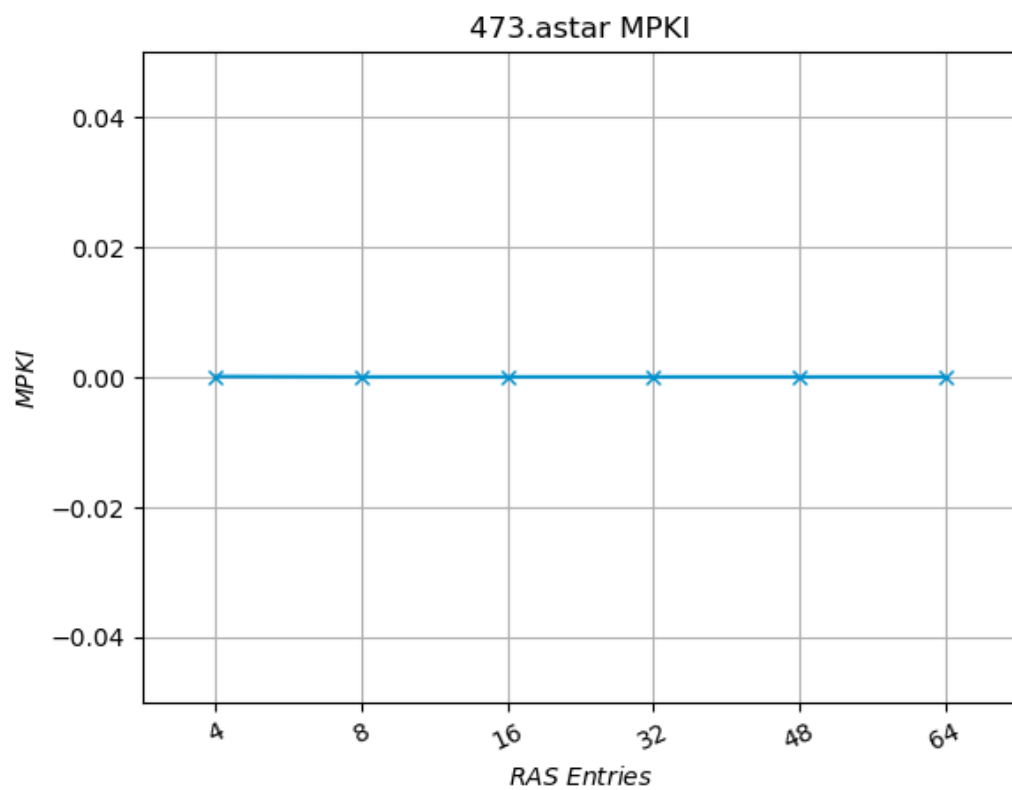
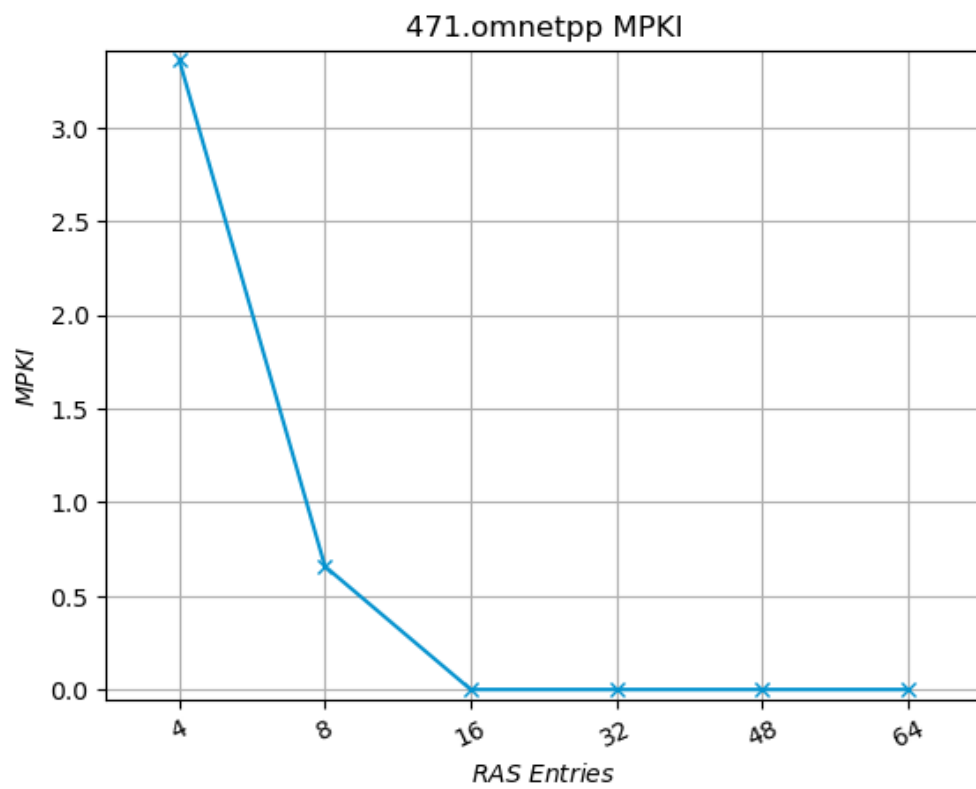


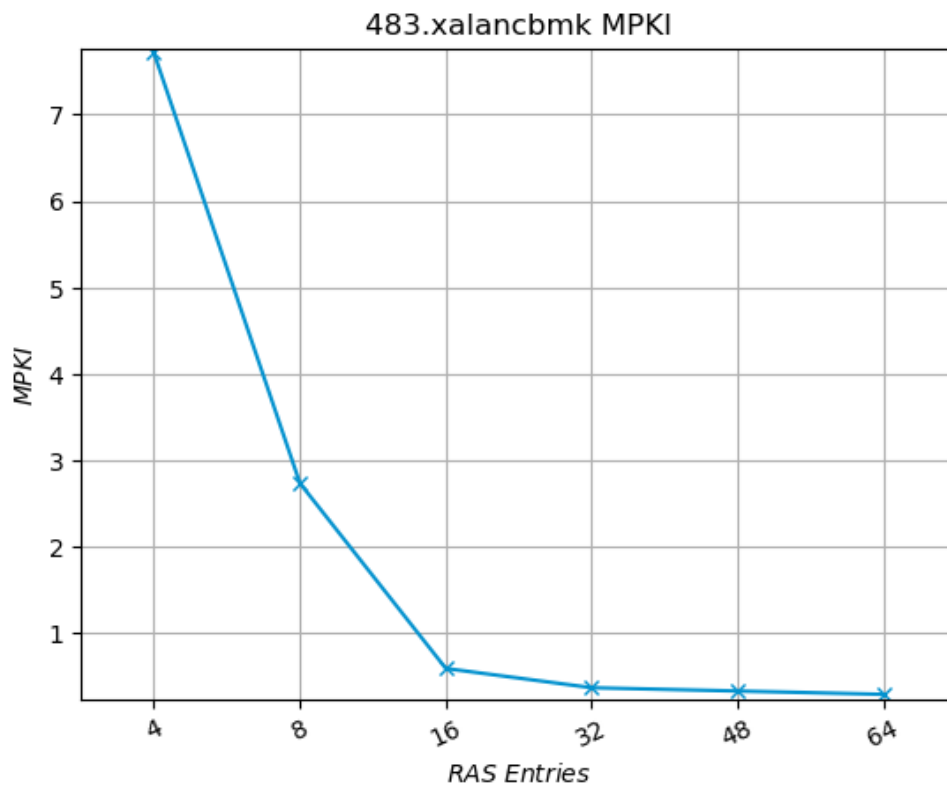












Παρατηρούμε ότι το MPKI των benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 445.gobmk, 450.soplex, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 471.omnetpp και 483.xalancbmk μειώνεται με την αύξηση των RAS entries από 4 σε 8. Στα benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 445.gobmk, 458.sjeng, 471.omnetpp και 483.xalancbmk παρατηρείται μείωση του MPKI με την αύξηση των entries από 8 σε 16 ενώ για αύξηση σε 32, 48 ή 64 entries παρατηρείται μικρή ή καθόλου μείωση του MPKI. Στα 450.soplex και 459.GemsFDTD για αύξηση σε 16, 32, 48 ή 64 entries το MPKI παραμένει σταθερό. Στα 434.zeusmp, 436.cactusADM, 456.hmmmer, 462.libquantum, 470.lbm και 473.astar το MPKI παραμένει σταθερό για όλες τις μεταβολές των entries. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι λαμβάνουμε καλύτερες επιδόσεις για RAS με 64 entries, καθώς όμως η βελτίωση της επίδοσης με αύξηση από 16 σε 32, 48 ή 64 entries είναι πολύ μικρή, και συνεπώς δεν δικαιολογεί το αυξημένο κόστος υλικού, καταλήγουμε στο ότι η καλύτερη επιλογή είναι RAS με 16 entries.

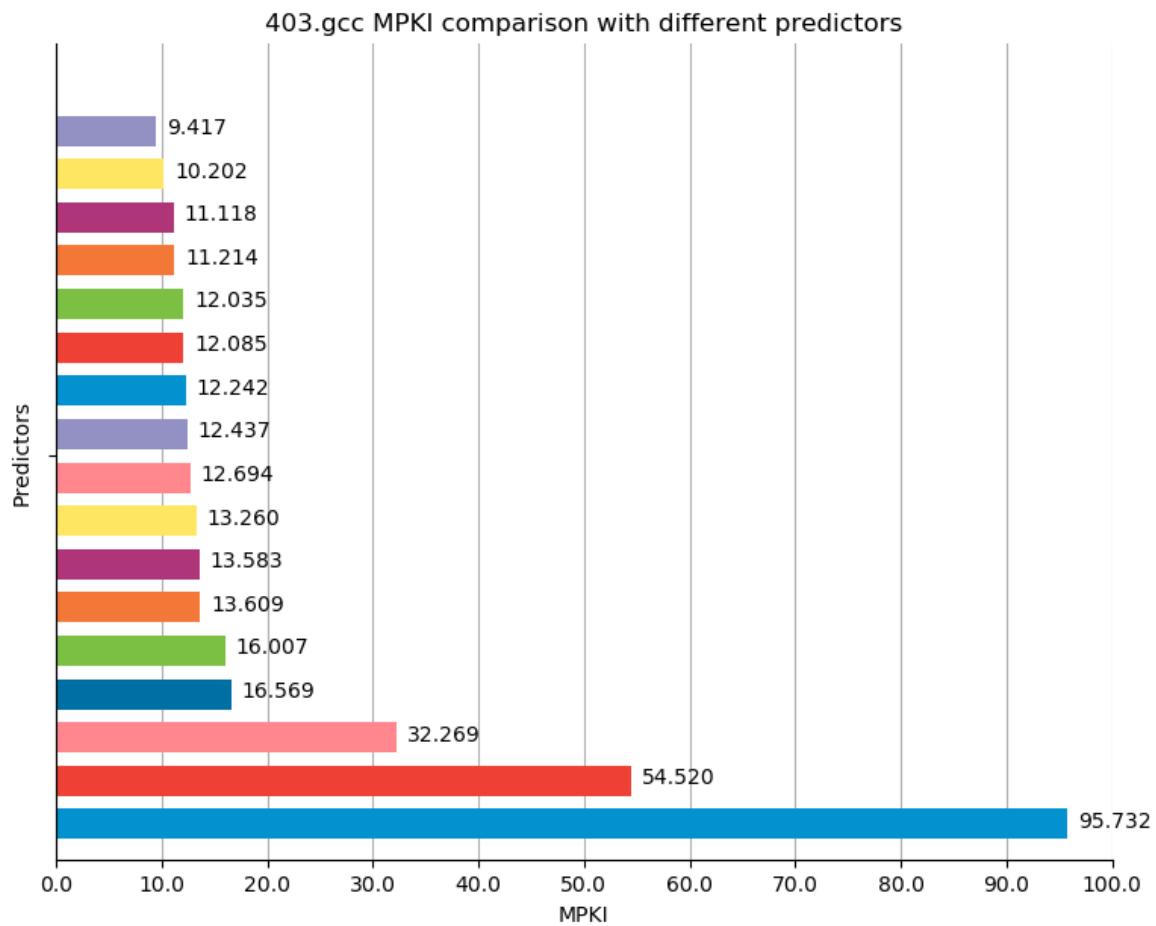
#### **4.5 Σύγκριση διαφορετικών predictors**

Προσμοιώνουμε τους εξής predictors:

- Static AlwaysTaken Predictor
- Static BTFNT (BackwardTaken-ForwardNotTaken) Predictor
- 8K 4-bit Predictor
- Pentium-M Predictor
- Local-History two-level Predictors
  - PHT entries = 8192
  - PHT n-bit counter length = 2
  - BHT entries = 4096, 8192
  - BHT entry length = 4, 2 (το απαιτούμενο hardware είναι σταθερό και ίσο με 32K)
- Global History two-level Predictors
  - PHT entries = 16384, 8192 (το απαιτούμενο hardware είναι σταθερό και ίσο με 32K)
  - PHT n-bit counter length = 2, 4
  - BHR length = 4, 8
- Alpha 21264 predictor
- 1K entries Tournament Hybrid Predictor
  - $P_0$  : 8K 2-bit Predictor
  - $P_1$  : 4K 4-bit Predictor
- 2K entries Tournament Hybrid Predictor
  - $P_0$  : Global History Predictor-PHT(4K, 4-bit)-BHR(2-bit)
  - $P_1$  : 8K 2-bit Predictor
- 1K entries Tournament Hybrid Predictor
  - $P_0$  : Global History Predictor-PHT(8K, 2-bit)-BHR(2-bit)
  - $P_1$  : Local-History Predictor-PHT(2K, 4-bit)-BHR(4K, 2-bit)
- 1K entries Tournament Hybrid Predictor
  - $P_0$  : 8K 2-bit Predictor
  - $P_1$  : Global History Predictor-PHT(8K, 2-bit)-BHR(5-bit)
- 2K entries Tournament Hybrid Predictor
  - $P_0$  : 8K 2-bit Predictor
  - $P_1$  : Global History Predictor-PHT(8K, 2-bit)-BHR(5-bit)
- 1K entries Tournament Hybrid Predictor
  - $P_0$  : 2K 8-bit Predictor
  - $P_1$  : Local-History Predictor-PHT(2K, 4-bit)-BHR(4K, 2-bit)

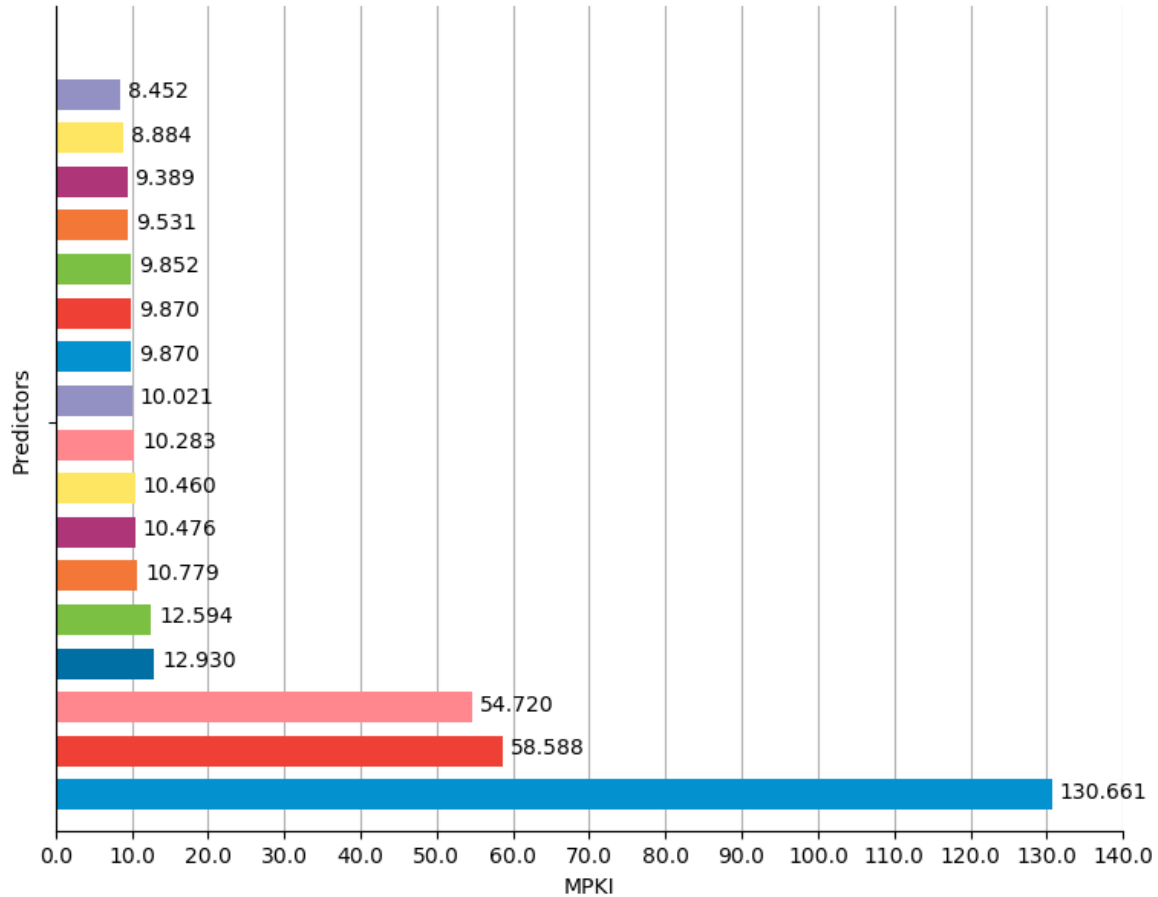
Ακολουθούν τα διαγράμματα σύγκρισης των παραπάνω predictors με μετρικό Mispredictions Per KiloInstruction (MPKI) για κάθε benchmark:





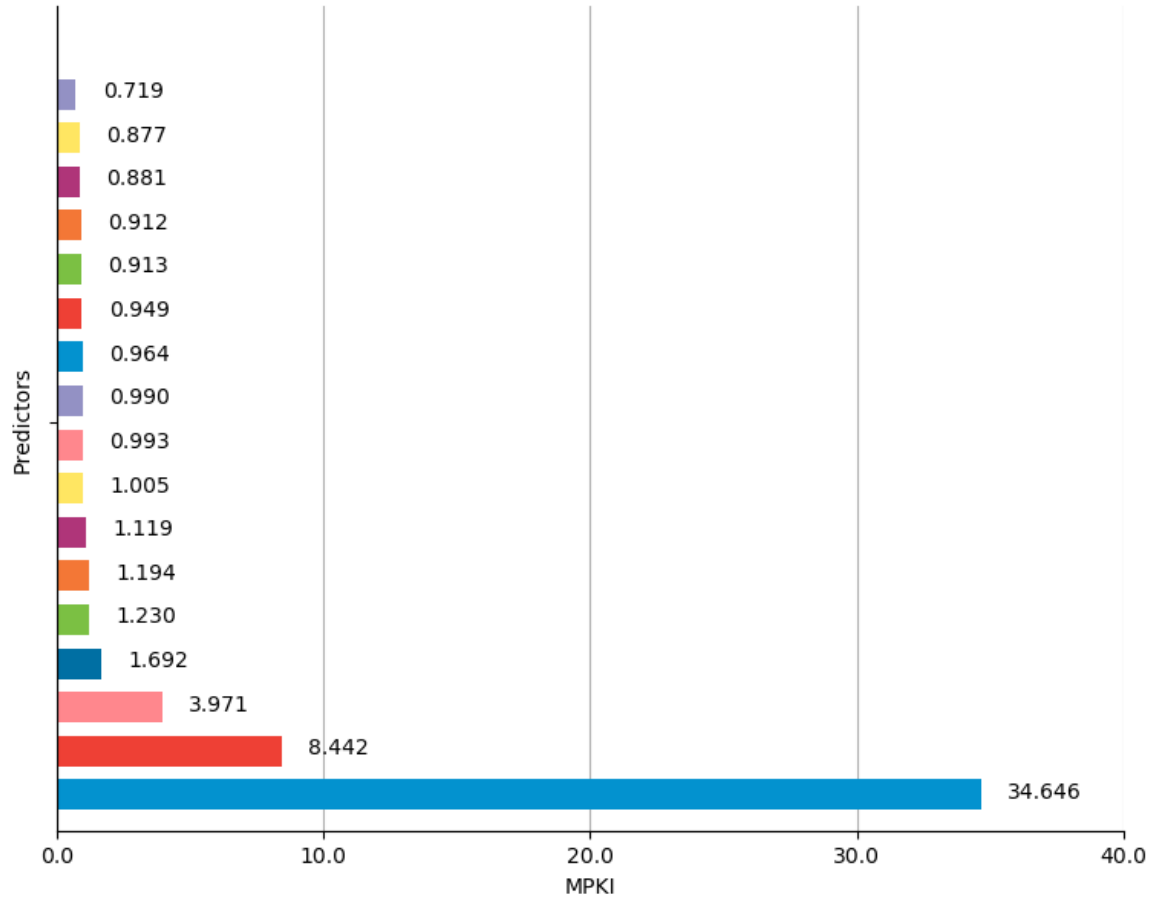
- [ MPKI: 9.417 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 10.202 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 11.118 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 11.214 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 12.035 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 12.085 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 12.242 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 12.437 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 12.694 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 13.260 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 13.583 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 13.609 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 16.007 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 16.569 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 32.269 ] Pentium-M
- [ MPKI: 54.520 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 95.732 ] StaticTakenPredictor

429.mcf MPKI comparison with different predictors



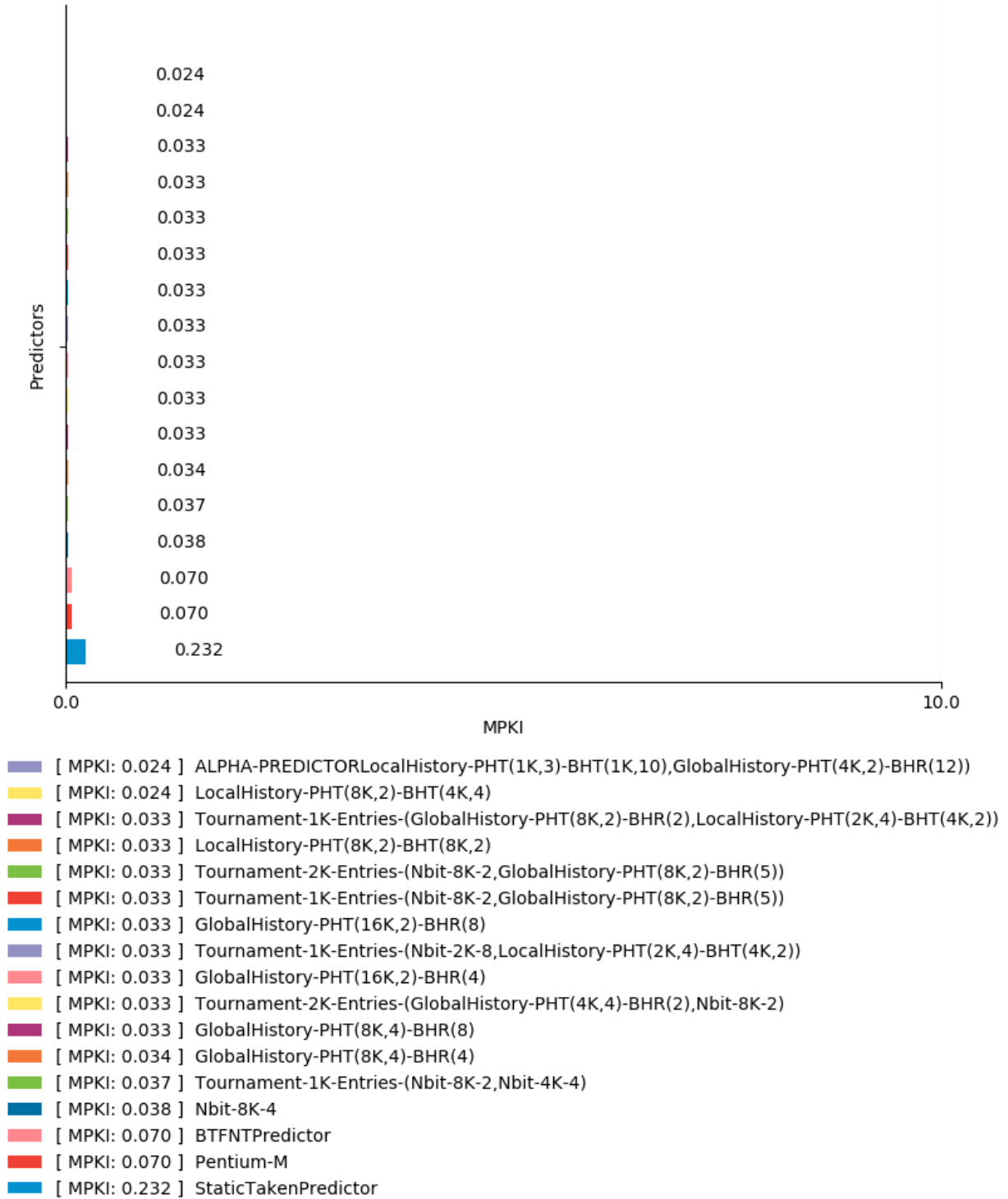
- [ MPKI: 8.452 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 8.884 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 9.389 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 9.531 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 9.852 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 9.870 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 9.870 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 10.021 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 10.283 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 10.460 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 10.476 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 10.779 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 12.594 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 12.930 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 54.720 ] Pentium-M
- [ MPKI: 58.588 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 130.661 ] StaticTakenPredictor

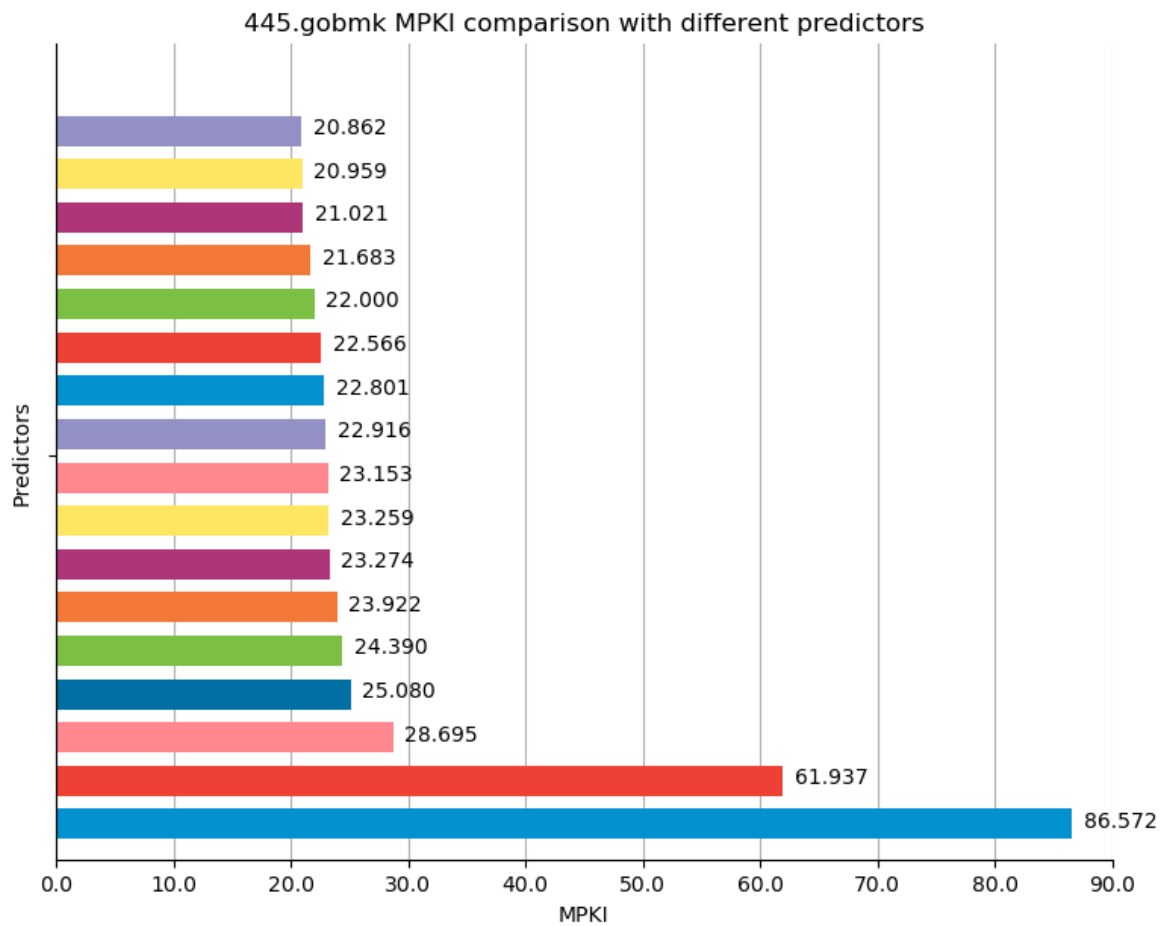
434.zeusmp MPKI comparison with different predictors



- [ MPKI: 0.719 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 0.877 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 0.881 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 0.912 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 0.913 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 0.949 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 0.964 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 0.990 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 0.993 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 1.005 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 1.119 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 1.194 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 1.230 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 1.692 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 3.971 ] Pentium-M
- [ MPKI: 8.442 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 34.646 ] StaticTakenPredictor

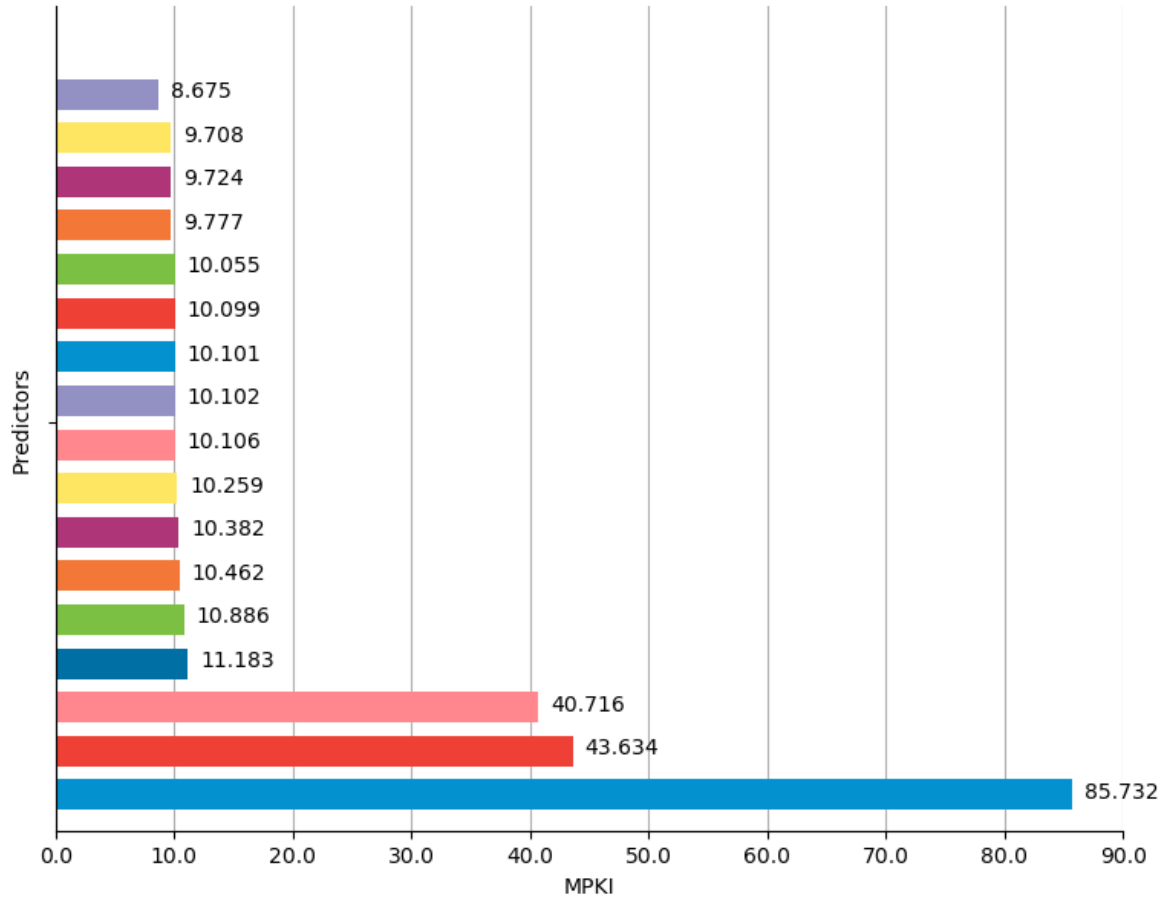
436.cactusADM MPKI comparison with different predictors





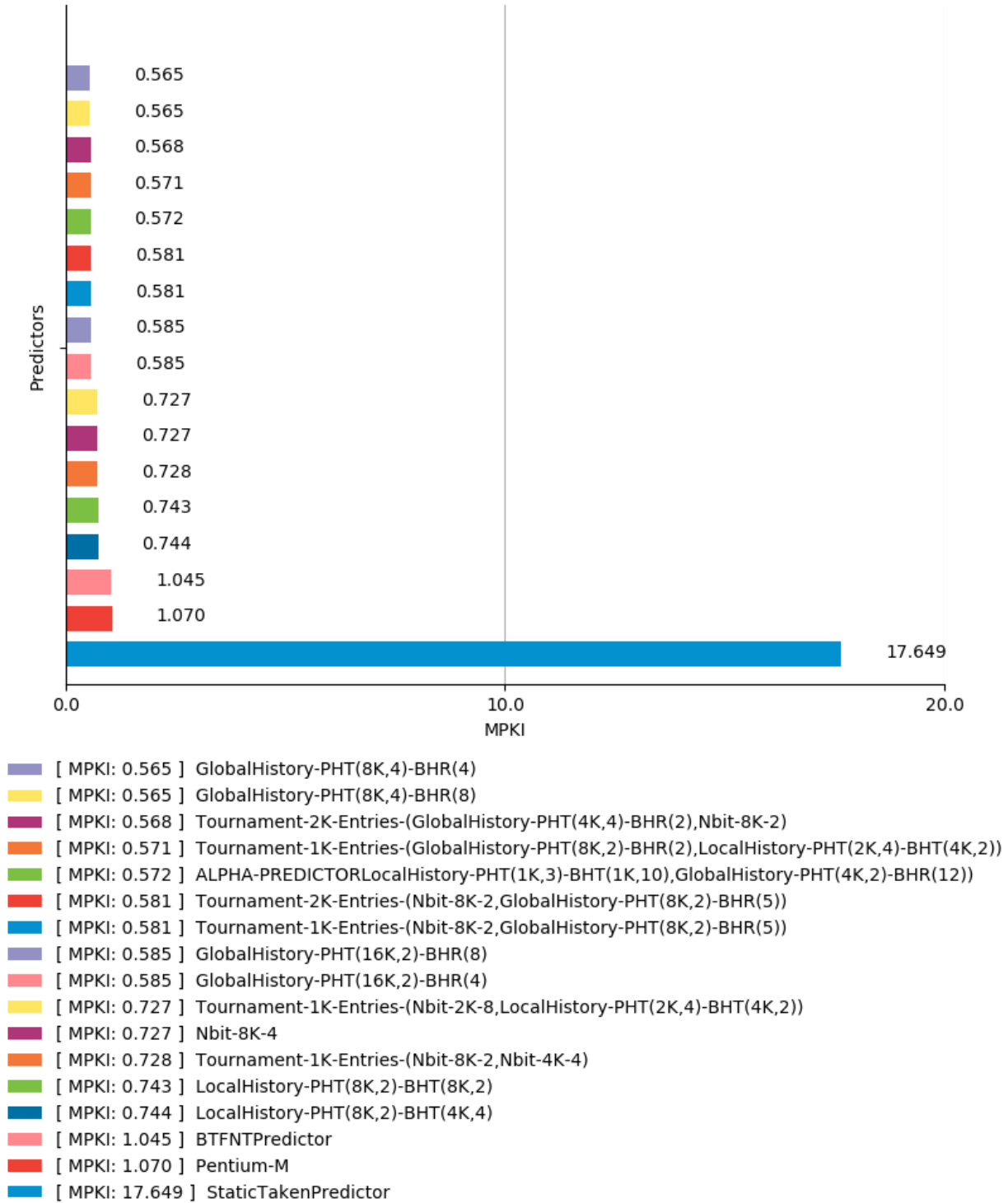
- [ MPKI: 20.862 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 20.959 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 21.021 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 21.683 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 22.000 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 22.566 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ 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: 23.274 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 23.922 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 24.390 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 25.080 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 28.695 ] Pentium-M
- [ MPKI: 61.937 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 86.572 ] StaticTakenPredictor

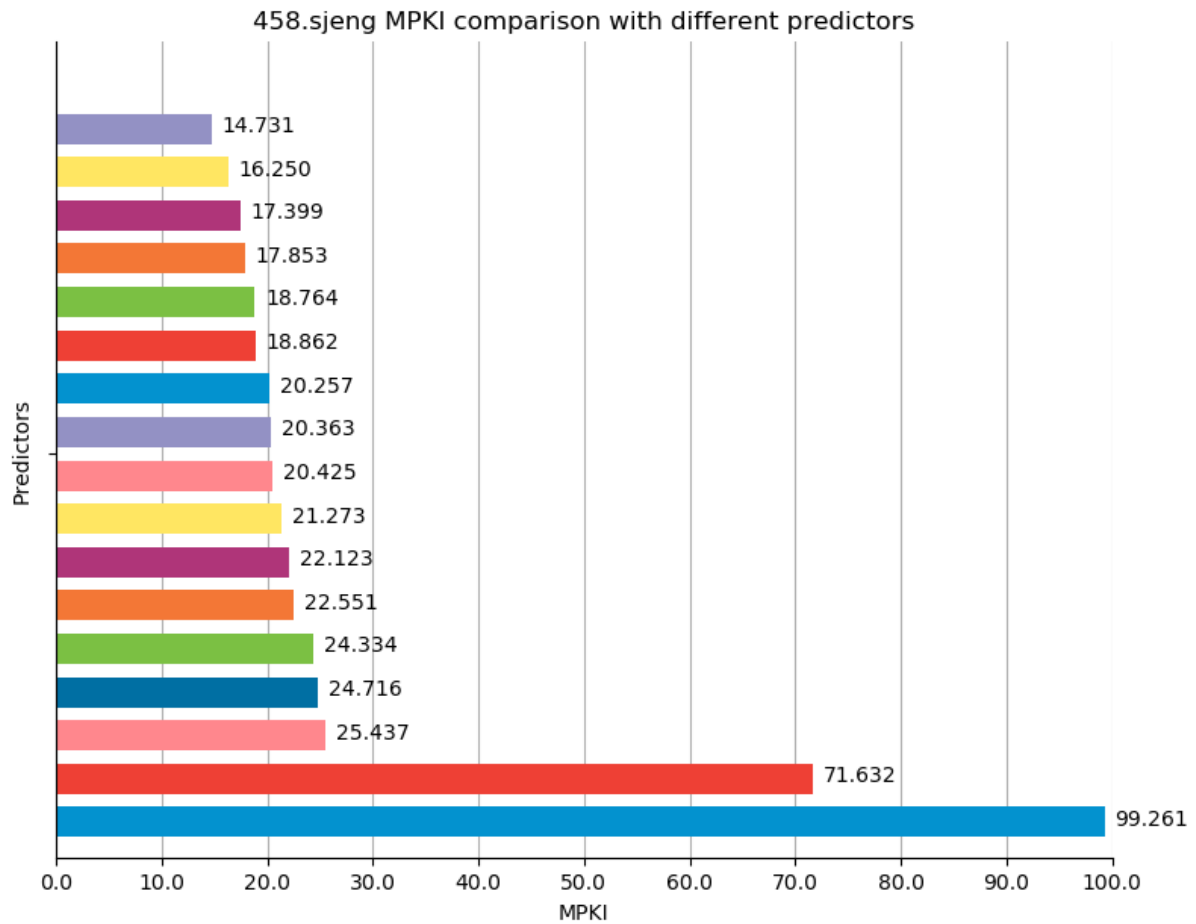
450.soplex MPKI comparison with different predictors



- [ MPKI: 8.675 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 9.708 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 9.724 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 9.777 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 10.055 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 10.099 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 10.101 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 10.102 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 10.106 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 10.259 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 10.382 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 10.462 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 10.886 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 11.183 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 40.716 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 43.634 ] Pentium-M
- [ MPKI: 85.732 ] StaticTakenPredictor

456.hmmr MPKI comparison with different predictors

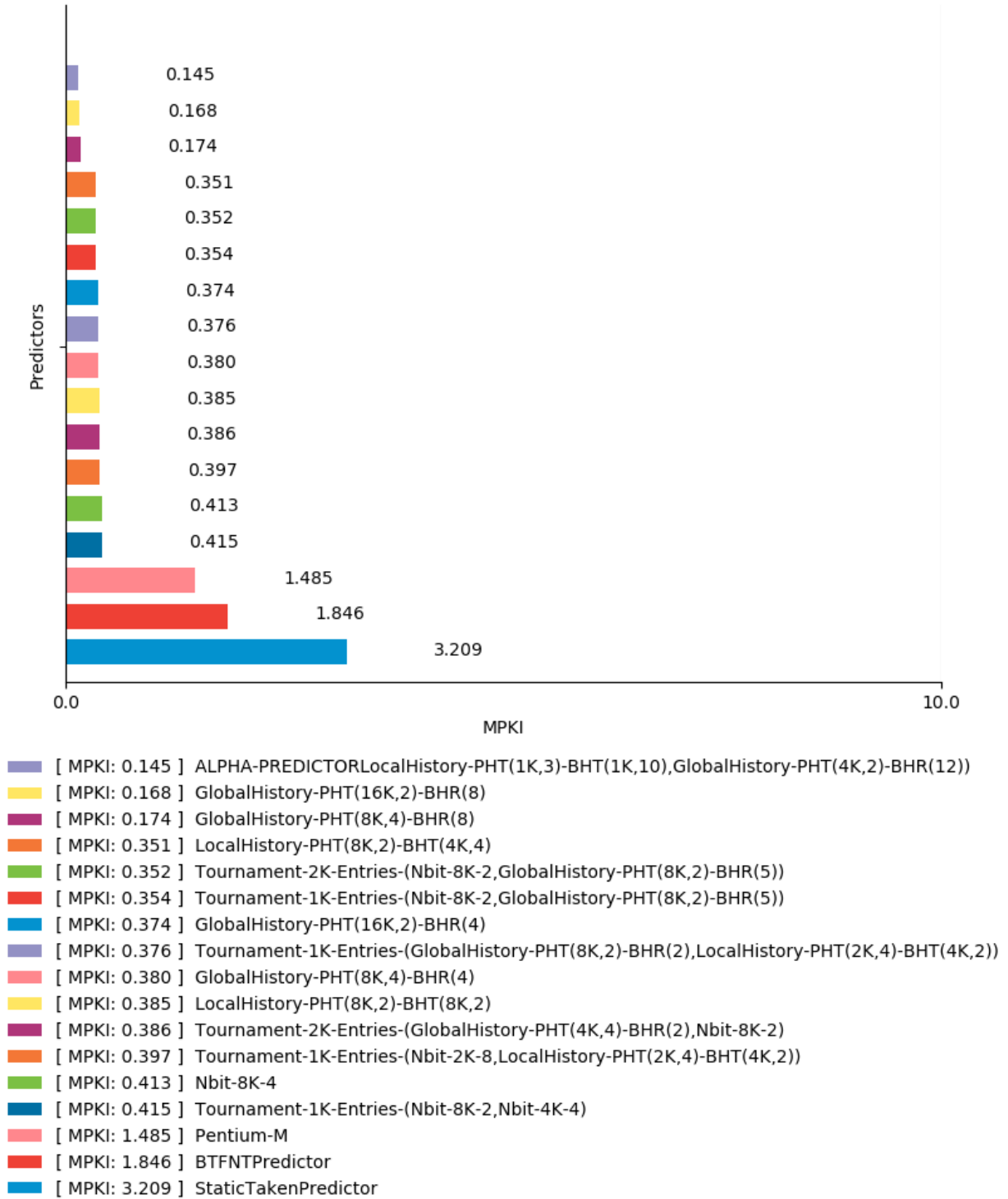




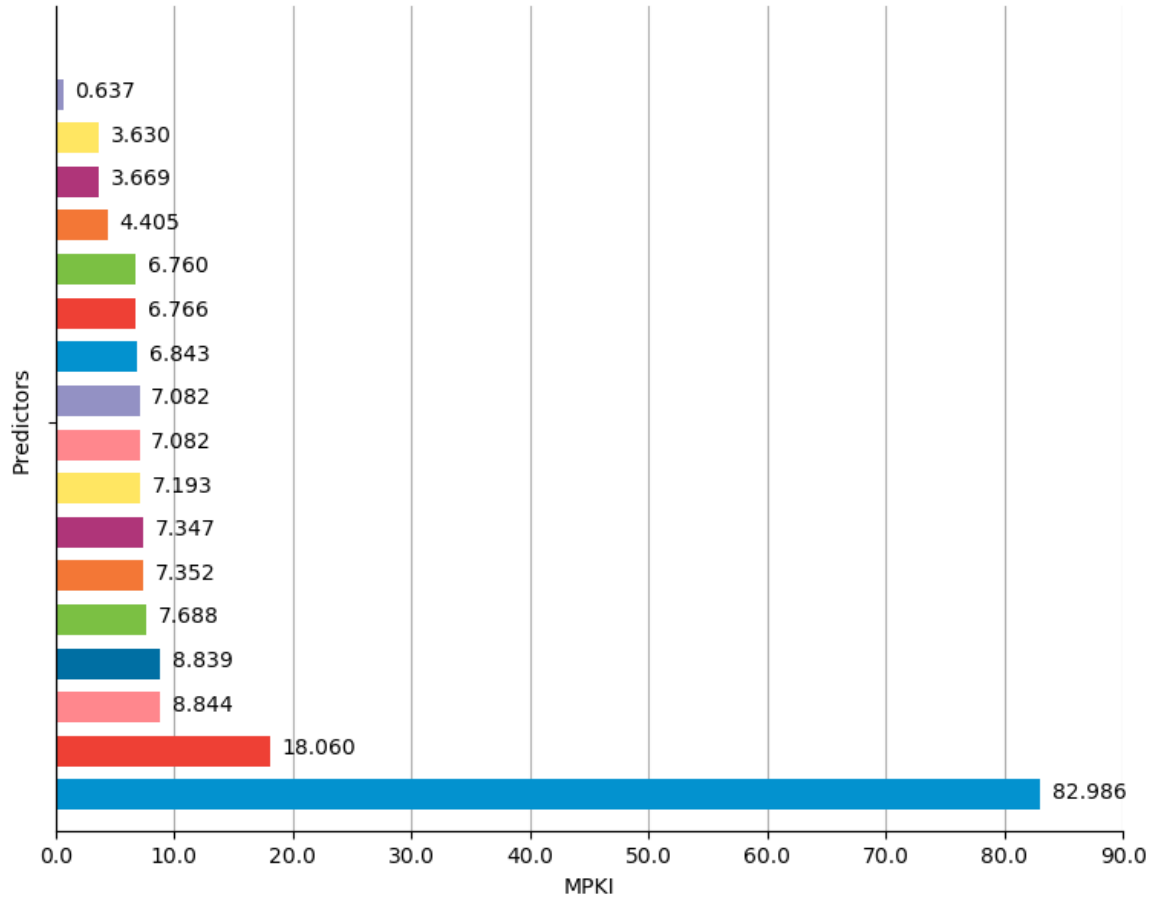
- [ MPKI: 14.731 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 16.250 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 17.399 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 17.853 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 18.764 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 18.862 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 20.257 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 20.363 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 20.425 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 21.273 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 22.123 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 22.551 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 24.334 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 24.716 ] Pentium-M
- [ MPKI: 25.437 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 71.632 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 99.261 ] StaticTakenPredictor



459.GemsFDTD MPKI comparison with different predictors

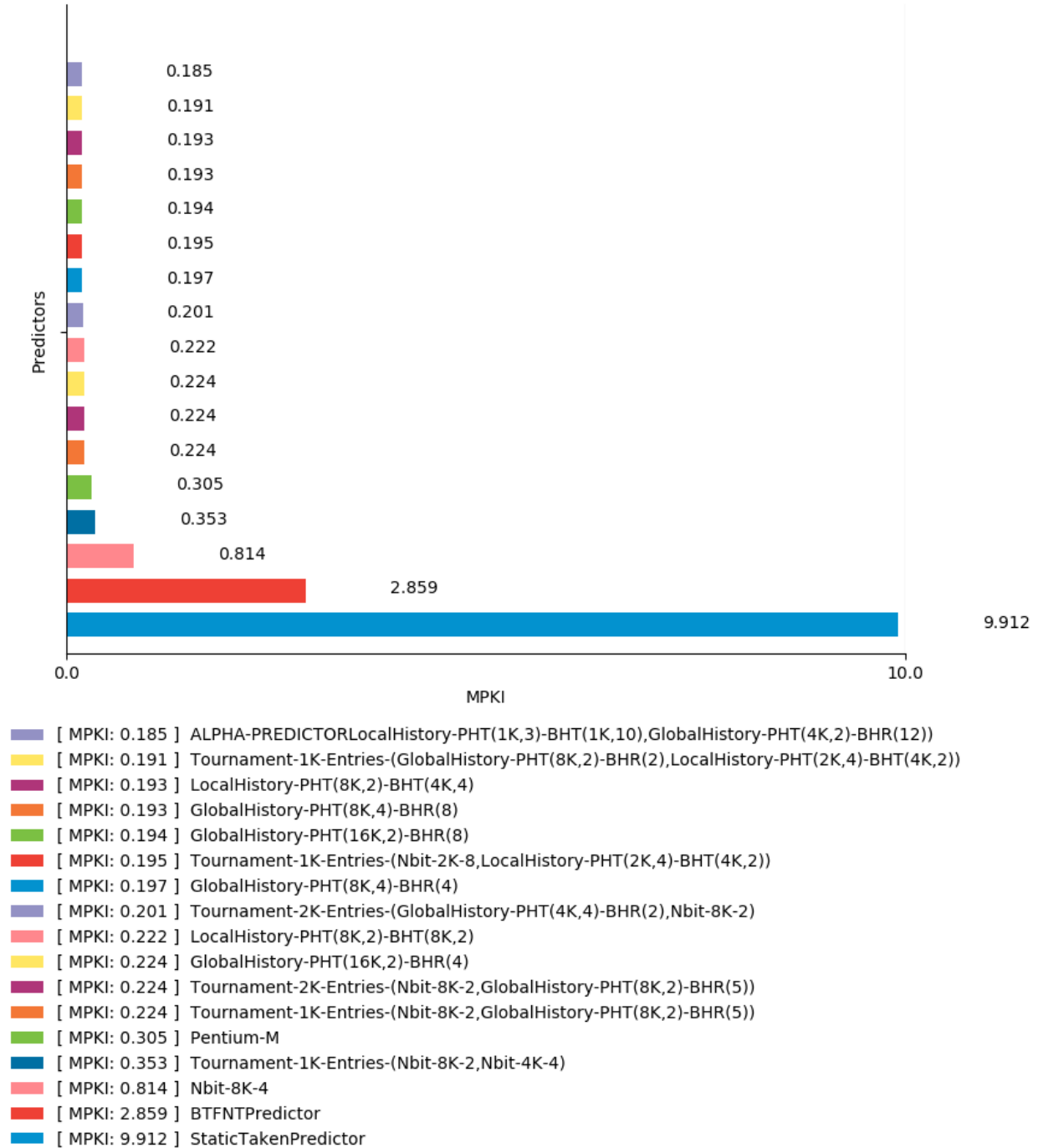


462.libquantum MPKI comparison with different predictors

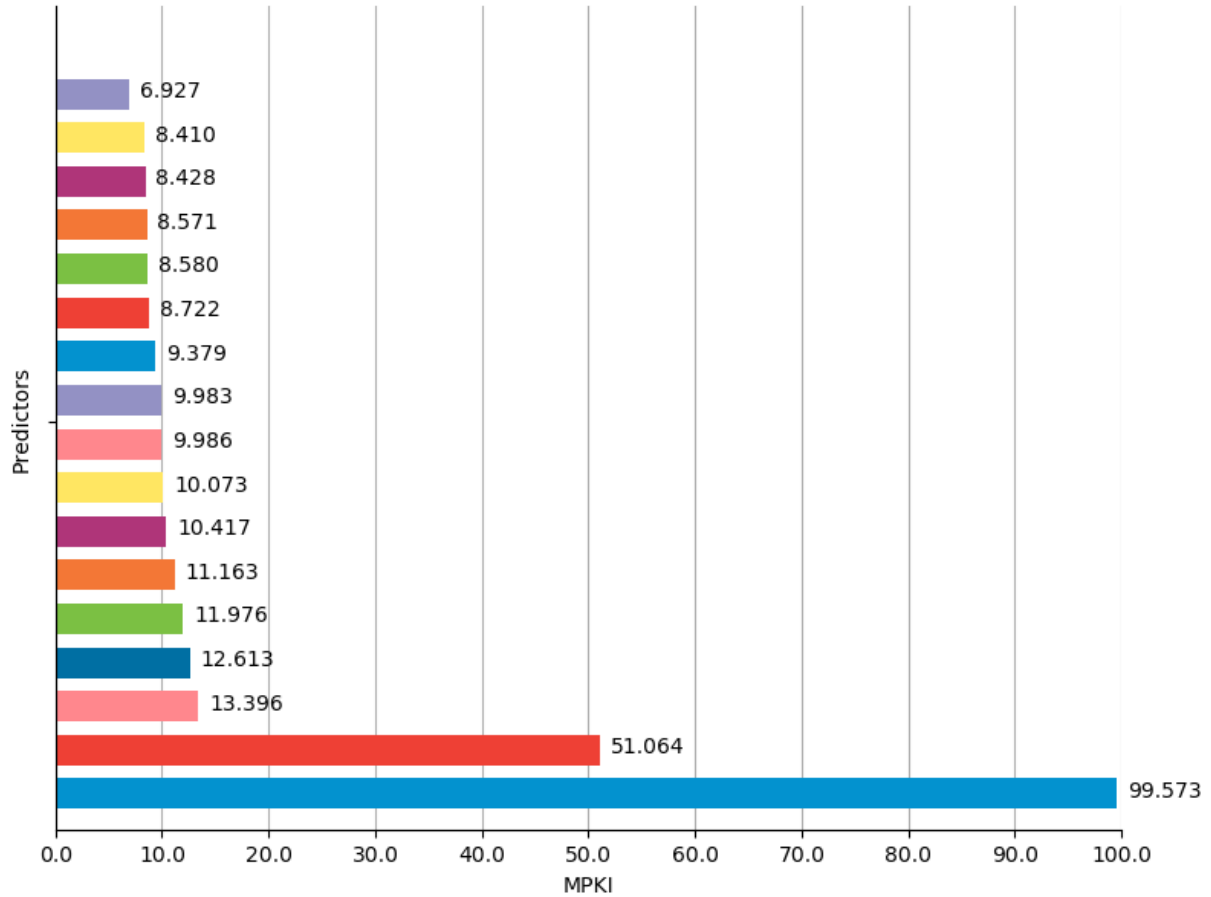


- [ MPKI: 0.637 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 3.630 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 3.669 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 4.405 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 6.760 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 6.766 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 6.843 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 7.082 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 7.082 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ 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: 7.688 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 8.839 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 8.844 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 18.060 ] StaticTakenPredictor
- [ MPKI: 82.986 ] BTFNTPredictor

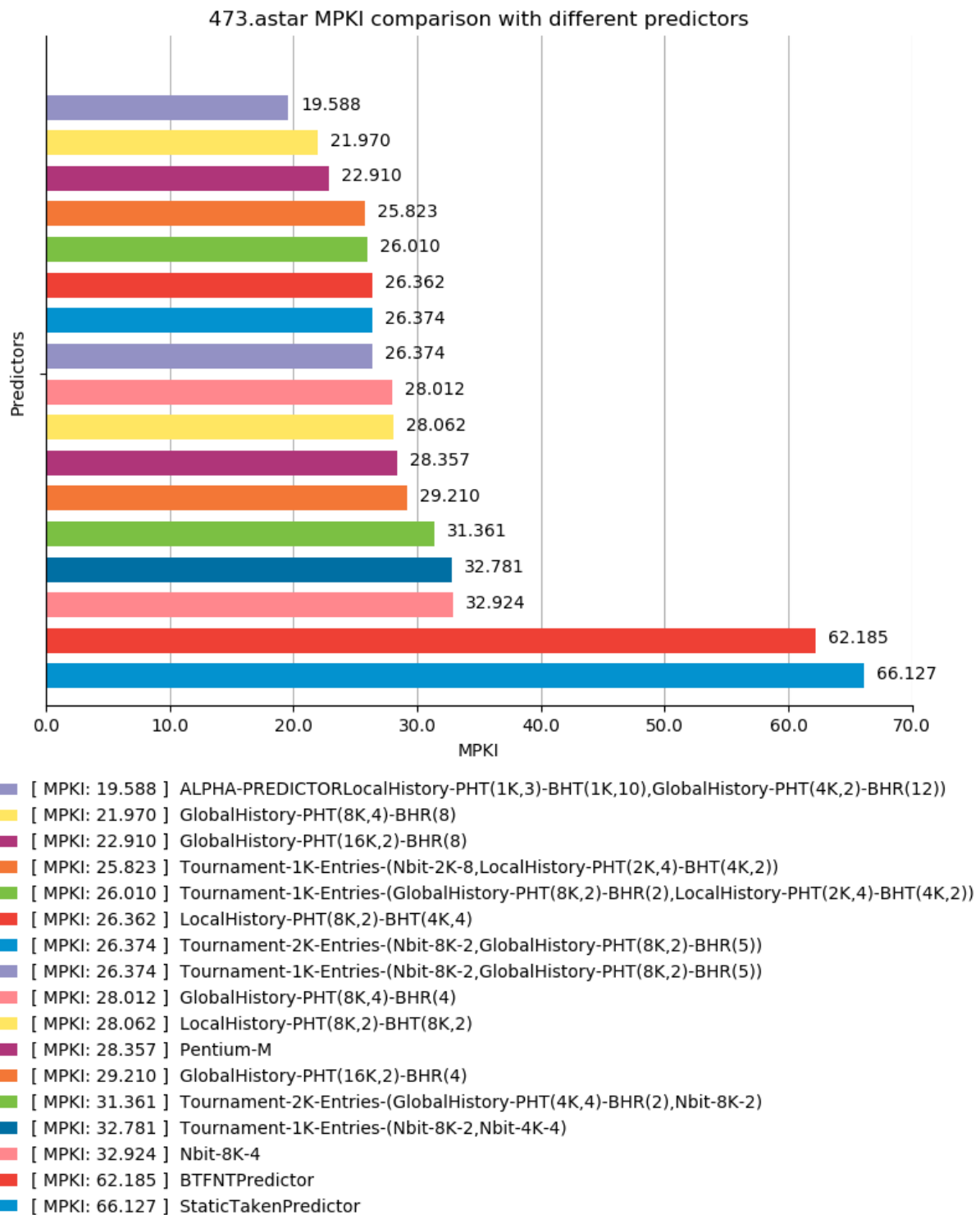
470.lbm MPKI comparison with different predictors



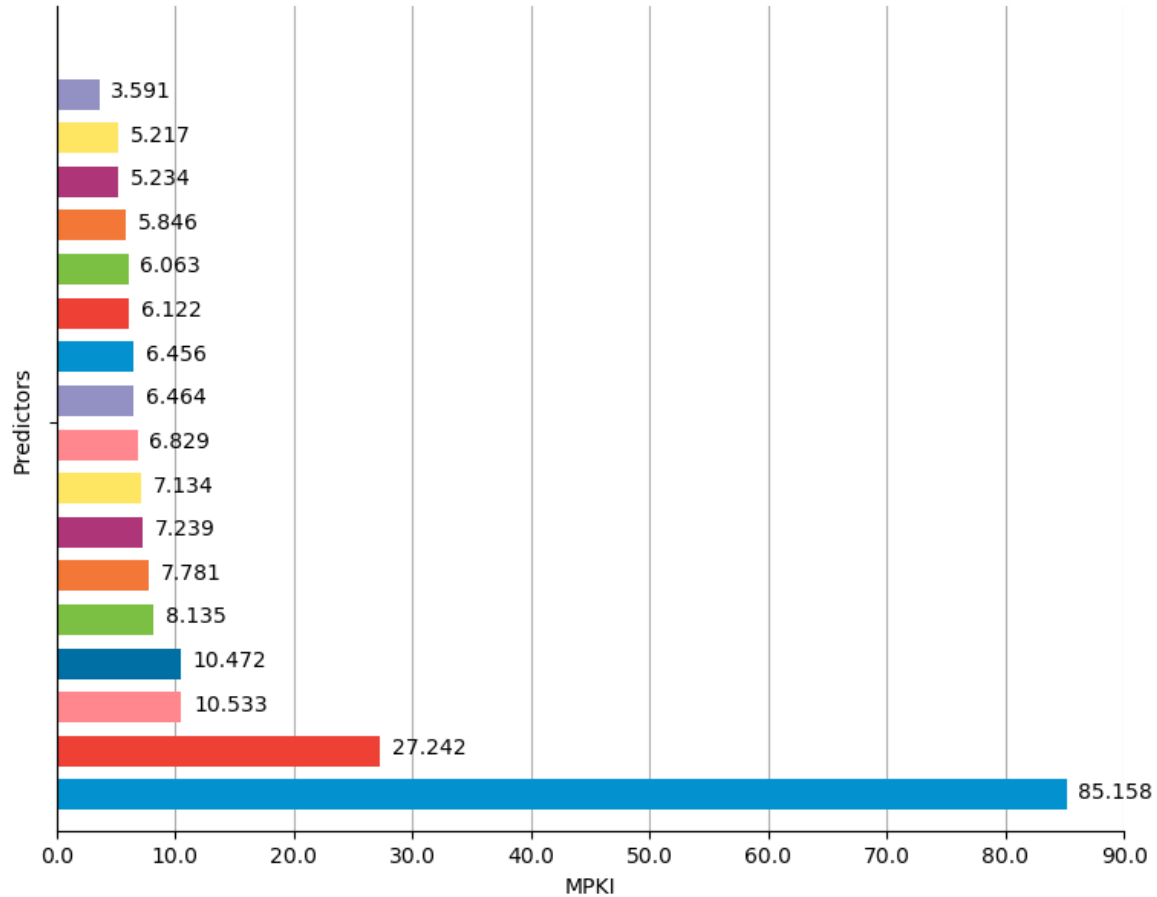
471.omnetpp MPKI comparison with different predictors



- [ MPKI: 6.927 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 8.410 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 8.428 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 8.571 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 8.580 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 8.722 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 9.379 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 9.983 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 9.986 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 10.073 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 10.417 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 11.163 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 11.976 ] Pentium-M
- [ MPKI: 12.613 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 13.396 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 51.064 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 99.573 ] StaticTakenPredictor



483.xalancbmk MPKI comparison with different predictors



- [ MPKI: 3.591 ] ALPHA-PREDICTORLocalHistory-PHT(1K,3)-BHT(1K,10),GlobalHistory-PHT(4K,2)-BHR(12))
- [ MPKI: 5.217 ] Tournament-2K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 5.234 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(5))
- [ MPKI: 5.846 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(8)
- [ MPKI: 6.063 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(4)
- [ MPKI: 6.122 ] GlobalHistory-PHT(16K,2)-BHR(4)
- [ MPKI: 6.456 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(4K,4)
- [ MPKI: 6.464 ] Tournament-1K-Entries-(GlobalHistory-PHT(8K,2)-BHR(2),LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 6.829 ] GlobalHistory-PHT(8K,4)-BHR(8)
- [ MPKI: 7.134 ] LocalHistory-PHT(8K,2)-BHT(8K,2)
- [ MPKI: 7.239 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-2K-8,LocalHistory-PHT(2K,4)-BHT(4K,2))
- [ MPKI: 7.781 ] Pentium-M
- [ MPKI: 8.135 ] Tournament-2K-Entries-(GlobalHistory-PHT(4K,4)-BHR(2),Nbit-8K-2)
- [ MPKI: 10.472 ] Tournament-1K-Entries-(Nbit-8K-2,Nbit-4K-4)
- [ MPKI: 10.533 ] Nbit-8K-4
- [ MPKI: 27.242 ] BTFNTPredictor
- [ MPKI: 85.158 ] StaticTakenPredictor

Παρατηρούμε ότι τα benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 434.zeusmp, 436.cactusADM, 445.gobmk, 450.soplex, 456.hmmcr, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 470.lbm, 471.omnetpp, 473.astar και 483.xalancbmk σημειώνουν το υψηλότερο MPKI με τον Static AlwaysTaken predictor ενώ το 462.libquantum με τον Static BTFNT (BackwardTaken-ForwardNotTaken) predictor. Το παραπάνω είναι αναμενόμενο αφού οι δύο αυτοί predictors είναι στατικοί και συνεπώς δεν προσαρμόζονται στην εκτέλεση του προγράμματος. Στα benchmarks 403.gcc, 429.mcf, 434.zeusmp, 436.cactusADM, 450.soplex, 458.sjeng, 459.GemsFDTD, 462.libquantum, 470.lbm, 471.omnetpp, 473.astar και 483.xalancbmk σημειώνεται το χαμηλότερο MPKI με τον Alpha 21264 predictor. Στο 445.gobmk παρατηρείται το χαμηλότερο MPKI με τον 2K entries Tournament Hybrid predictor με  $P_0$  : 8K 2-bit predictor και  $P_1$  : Global History predictor-PHT(8K, 2-bit)-BHR(5-bit), ενώ στο 456.hmmcr παρατηρείται με τον Global History predictor-PHT(8K, 4-bit)-BHR(4-bit). Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι λαμβάνουμε καλύτερες επιδόσεις με τον Alpha 21264 predictor.