

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΟΧΟΥ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗΣ, ΜΕΡΟΣ 2ο

Τσάλεσης Ευάγγελος, ΑΜ: 1779

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκαν, με την βοήθεια του προγράμματος PIN, οι απαραίτητες προσομοιώσεις των λειτουργιών πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης. Συγκεκριμένα προσομοιώθηκε η λειτουργία ενός Branch Target Buffer (BTB) και ενός Return Address Stack (RAS). Οι ιδιότητες των παραπάνω δομών είναι μεταβλητές ώστε να εξεταστεί η επιρροή κάθε μιας ξεχωριστά στο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου, όπως θα δούμε στο 2^ο μέρος της εργασίας.

Οι μεταβλητές αυτές ιδιότητες είναι:

- Για το BTB: Το μέγεθος, η associativity του BTB και ο αριθμός bit κάθε tag.
- Για το RAS: Το μέγεθος του RAS.

Στην περίπτωση του BTB η πολιτική εισαγωγής μιας καταχώρησης σε ένα set είναι η τελευταία καταχώρηση να τοποθετείται στην αρχή της λίστας, ενώ σε περίπτωση γεμάτου set να απομακρύνεται η παλαιότερη καταχώρηση.

Στην περίπτωση του RAS ακολουθείται η πολιτική «LIFO» ενός τυπικού κυκλικού stack, όπου σε περίπτωση γεμίσματος αφαιρείται η παλαιότερη εγγραφή.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας προσομοιώθηκαν οι παραπάνω δομές πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης σε μια σειρά μετροπρογράμματα (SPEC 2000) ώστε να εξαχθούν όσο το δυνατό ασφαλέστερα συμπεράσματα για την επιρροή κάθε ιδιότητας στην αποτελεσματικότητα του μηχανισμού πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης.

2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

2.1 Εισαγωγή

Προσομοιώθηκαν τα μετροπρογράμματα art, gzip και mcf και συγκεκριμένα οι εντολές με τις παρακάτω παραμέτρους:

```
./art  
-scanfile c756hel.in  
-trainfile1 a10.img  
-trainfile2 hc.img  
-stride 2  
-startx 470  
-starty 140  
-endx 520  
-endy 180  
-objects 10  
> ref.out
```

```
./gzip  
input.source 60
```

```
./mcf  
inp.in
```

Για την μαζική εκτέλεση προσομοιώσεων έγινε χρήση αρκετών shell scripts τα οποία αυτοματοποίησαν σε κάποιο βαθμό τις αναλύσεις, παράγοντας αρχεία αποτελεσμάτων με συγκεκριμένη ονομασία ανάλογη των αναλύσεων (πχ. art_sz32_a2_t64_ras16_mpr0.txt, για προσομοίωση του μετροπρόγραμματος art, με μέγεθος btb 32, associativity 2, μέγεθος tag 64bit, μέγεθος ras 16 και miss prediction rate 0%), ώστε να γίνει ευκολότερη η περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Υπόδειγμα των παραπάνω shell scripts παρατίθεται στο παράρτημα Α.

2.2 Επιρροή μεγέθους BTB

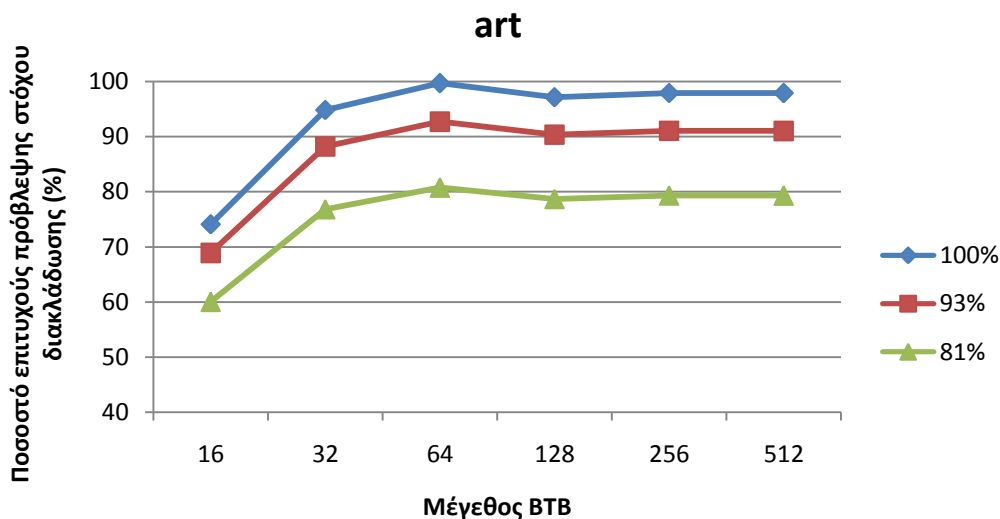
Για την διερεύνηση της επιρροής του μεγέθους του BTB πραγματοποιήθηκε σειρά προσομοιώσεων για κάθε μετροπρόγραμμα κατά τις οποίες δοκιμάστηκε ένας αριθμός διαφορετικών μεγεθών BTB ενώ οι υπόλοιπες ιδιότητες κρατήθηκαν αμετάβλητες.

Συγκεκριμένα, οι ιδιότητες του μηχανισμού πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης πήραν τις παρακάτω τιμές:

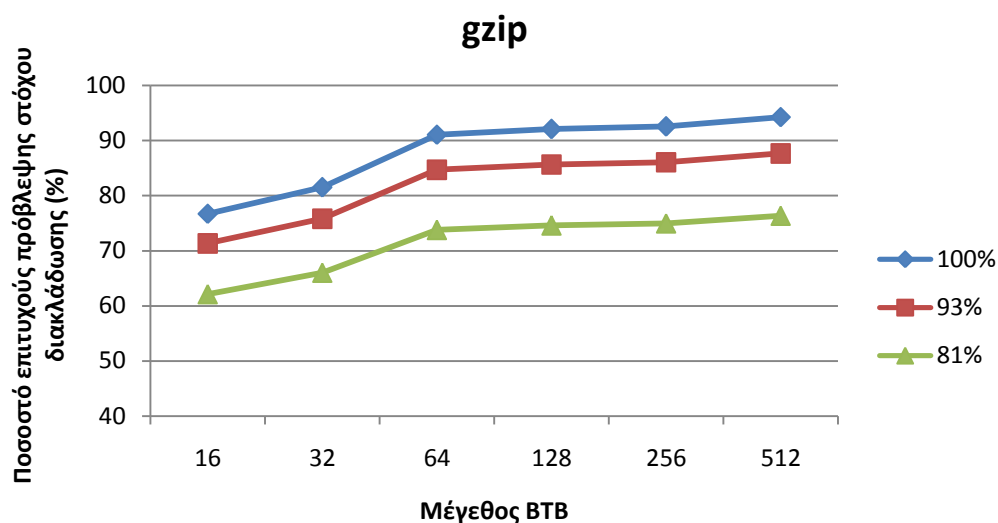
- Μέγεθος BTB: 16, 32, 64, 128, 256, 512
- Associativity BTB: 1 (direct mapped)
- Μέγεθος tag: 64
- Μέγεθος RAS: 16

Όλες οι αναλύσεις έτρεξαν για μεγάλη (100%), μεσαία (93%) και μικρή (81%) τιμή του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης διακλάδωσης.

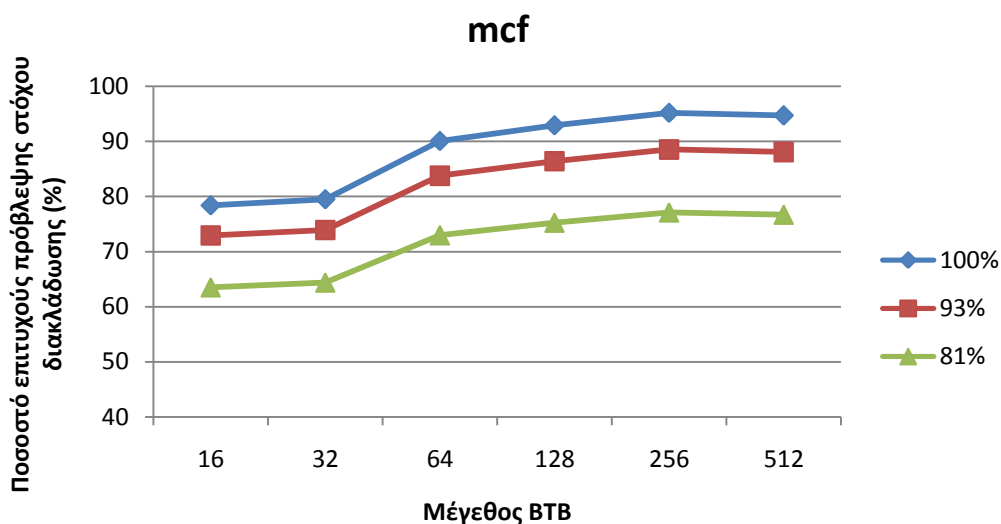
Στα διαγράμματα 1, 2, 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης ως συνάρτηση του μεγέθους του BTB για κάθε τιμή του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης διακλάδωσης (prediction rate, pr) για κάθε μετροπρόγραμμα.



Διάγραμμα 1: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους BTB για διάφορα pr για το μετροπρόγραμμα art



Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους BTB για διάφορα pr για το μετροπρόγραμμα gzip



Διάγραμμα 3: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους BTB για διάφορα pr για το μετροπρόγραμμα mcf

Παρατηρούμε από τα παραπάνω αποτελέσματα μια συνεπή επιρροή του μεγέθους του BTB στο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου, ανεξάρτητα του μετροπρογράμματος ή του ποσοστού πρόβλεψης κατεύθυνσης.

Γενικά, όσο μεγαλώνει το μέγεθος του BTB τόσο λιγότερες συγκρούσεις προκαλούνται και σαν συνέπεια το ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου μεγαλώνει και προσεγγίζει ασυμπτωτικά το ποσοστό πρόβλεψης κατεύθυνσης. Σαν ιδανικό μέγεθος του BTB προτείνεται το 64 αφού μέχρι αυτή την τιμή η αύξηση του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης αυξάνει αρκετά, ενώ για μεγαλύτερο μέγεθος τα οφέλη είναι σχετικά μικρότερα.

2.3 Επιρροή associativity BTB

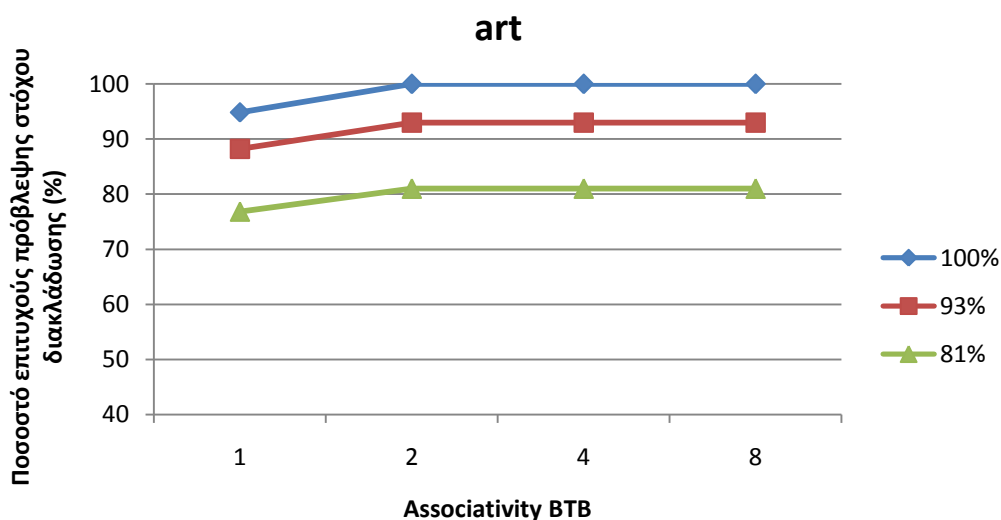
Για την διερεύνηση της επιρροής του associativity του BTB έγιναν ανάλογες προσομοιώσεις για κάθε μετροπρόγραμμα και για κάθε ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης (100%, 93%, 81%), κατά τις οποίες δοκιμάστηκε ένας αριθμός διαφορετικών τιμών associativity της BTB ενώ οι υπόλοιπες ιδιότητες κρατήθηκαν αμετάβλητες.

Επιλέχθηκε μια τιμή μεγέθους BTB που έδωσε ενδιάμεσα αποτελέσματα, όπως διαπιστώθηκαν στην προηγούμενη ανάλυση. Ορίστηκε μεγάλο μέγεθος του tag και μεγάλο μέγεθος του RAS ώστε να μην επηρεαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

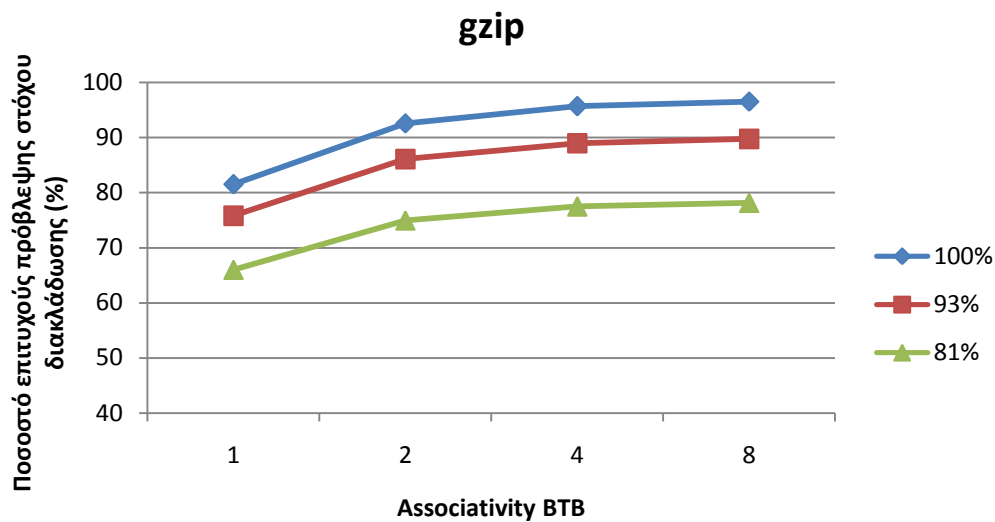
Συγκεκριμένα, οι τιμές των ιδιοτήτων του μηχανισμού πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης πήραν τις παρακάτω τιμές:

- Μέγεθος BTB: 32
- Associativity BTB: 1, 2, 4, 8
- Μέγεθος tag: 64
- Μέγεθος RAS: 16

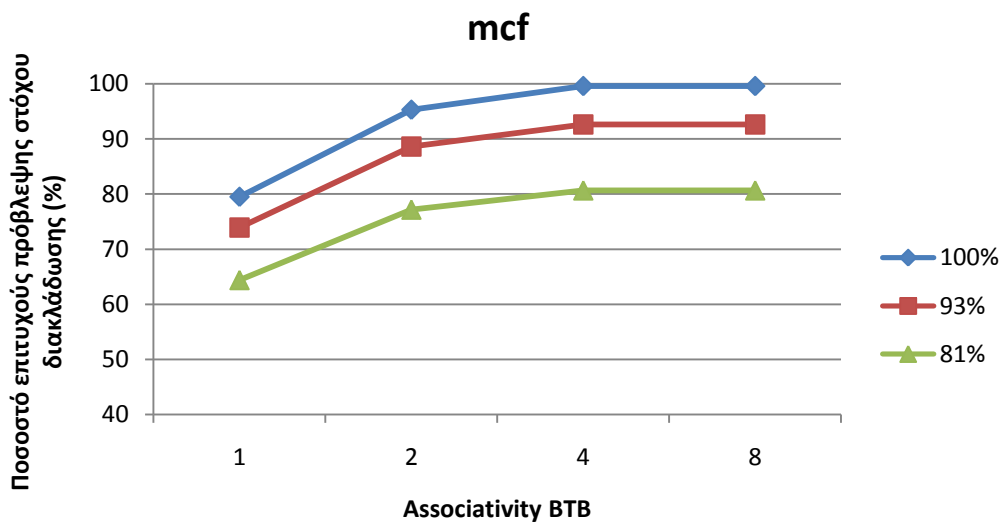
Στα διαγράμματα 4, 5, 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης ως συνάρτηση του associativity του BTB για κάθε τιμή του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης διακλάδωσης (pr) για κάθε μετροπρόγραμμα.



Διάγραμμα 4: Αποτελέσματα επιρροής associativity BTB για διάφορα pr για το μετροπρόγραμμα art



Διάγραμμα 5: Αποτελέσματα επιρροής associativity BTB για διάφορα pr για το μετροπρόγραμμα gzip



Διάγραμμα 6: Αποτελέσματα επιρροής associativity BTB για διάφορα pr για το μετροπρόγραμμα mcf

Και στην περίπτωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης της επιρροής της associativity BTB παρατηρείται ένα συνεπές μοτίβο για κάθε μετροπρόγραμμα και για κάθε ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης. Το ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου αυξάνει με την αύξηση του associativity. Μετά την τιμή 4 τα οφέλη της αύξησης του associativity γίνονται αμελητέα.

Τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα αφού η αύξηση του μεγέθους του κάθε set μειώνει τον αριθμό συγκρούσεων καταχωρήσεων με το ίδιο index.

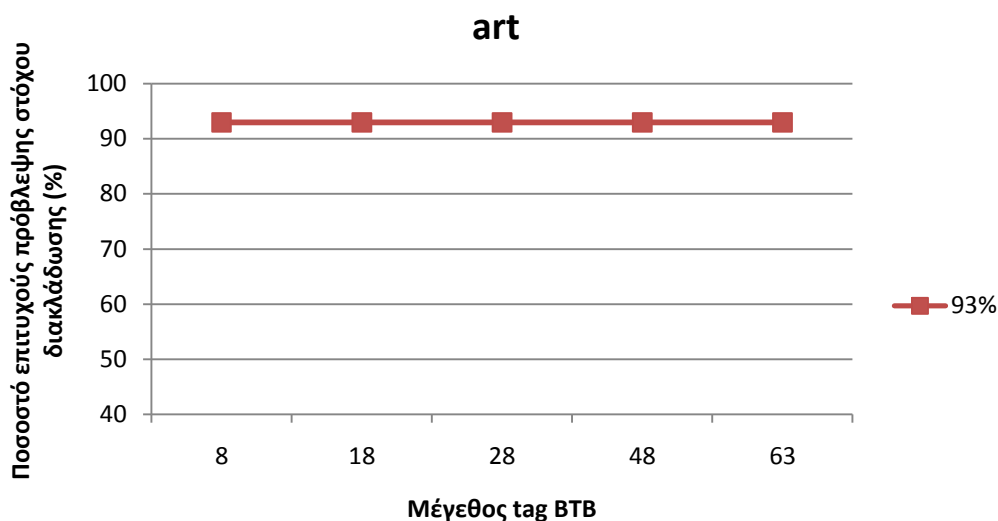
2.4 Επιρροή μεγέθους tag

Στις προσομοιώσεις που αφορούν την διερεύνηση επιρροής του μεγέθους του tag του BTB επιλέχθηκαν σταθερές τιμές μεγέθους και associativity του BTB που έδωσαν ενδιάμεσα αποτελέσματα στις προηγούμενες προσομοιώσεις. Το μέγεθος της RAS επιλέχθηκε πάλι 16. Επίσης αυτή την φορά επιλέχθηκε μόνο το μεσαίο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης, 93%.

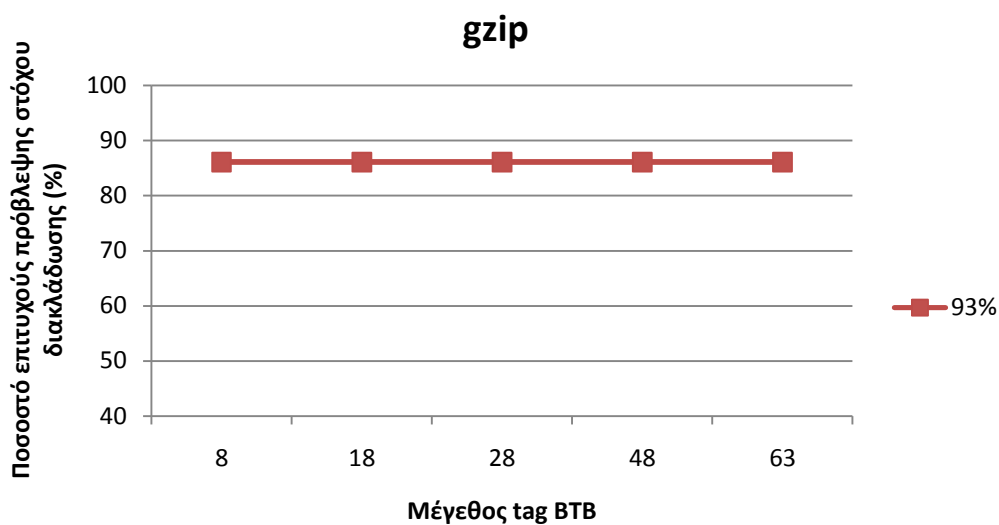
Συγκεκριμένα, οι τιμές των ιδιοτήτων του μηχανισμού πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης πήραν τις παρακάτω τιμές:

- Μέγεθος BTB: 32
- Associativity BTB: 2
- Μέγεθος tag: 8, 18, 28, 48, 63
- Μέγεθος RAS: 16

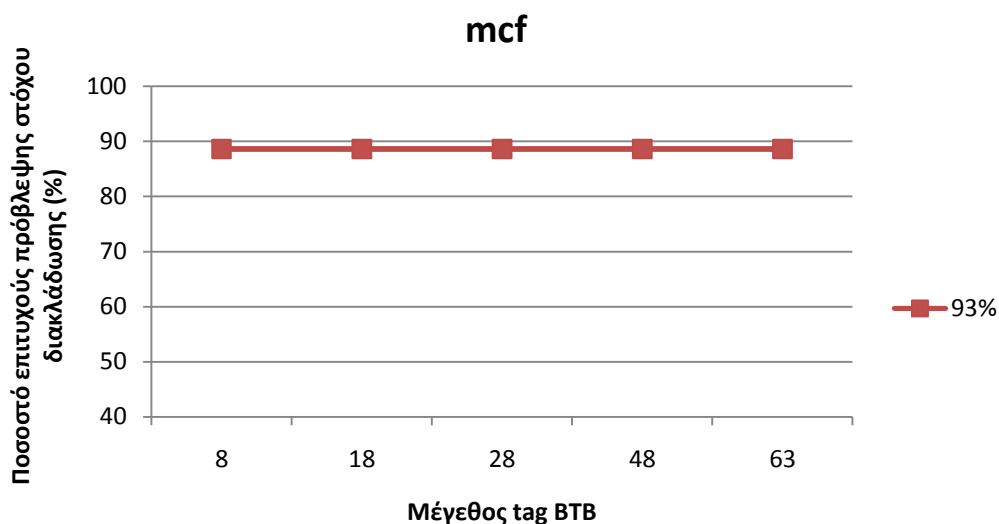
Στα διαγράμματα 7, 8, 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης ως συνάρτηση του μεγέθους tag του BTB για κάθε μετροπρόγραμμα.



Διάγραμμα 7: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους tag BTB για το μετροπρόγραμμα art



Διάγραμμα 8: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους tag BTB για το μετροπρόγραμμα gzip



Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους tag BTB για το μετροπρόγραμμα mcf

Όπως προέκυψε από τις προσομοιώσεις και των τριών μετροπρογραμμάτων, η επιρροή του μεγέθους του tag στο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου είναι μηδενική. Κάποιες ελάχιστες συγκρούσεις παρατηρούνται όταν το μέγεθος του tag είναι 8bit οι οποίες δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα το ποσοστό επιτυχίας.

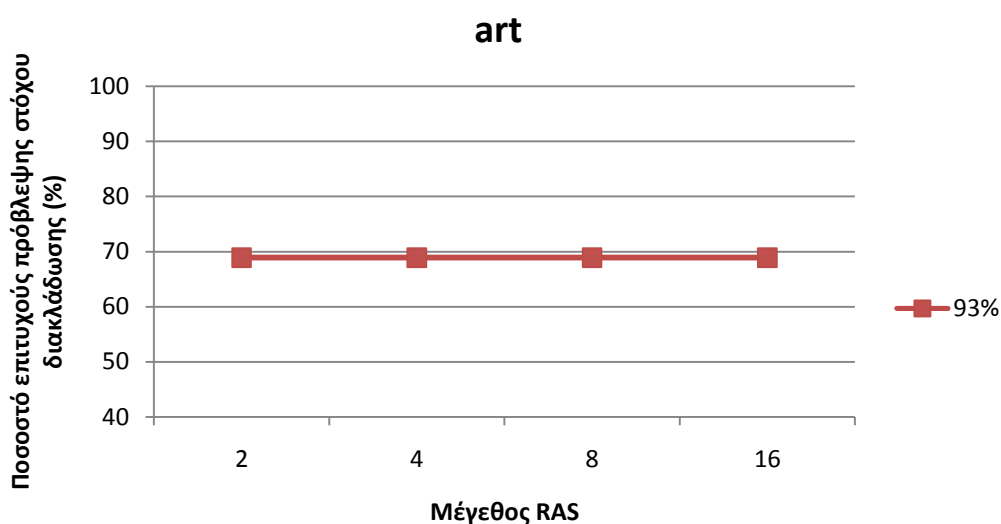
2.5 Επιρροή μεγέθους RAS

Για την εξέταση της επιρροής του μεγέθους του RAS ακολουθήθηκε η μεθοδολογία των προηγούμενων αναλύσεων. Κρατήθηκαν σταθερές όλες οι ιδιότητες του BTB και δοκιμάστηκαν διάφορα μεγέθη της RAS. Και πάλι επιλέχθηκε μόνο το μεσαίο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης κατεύθυνσης 93%.

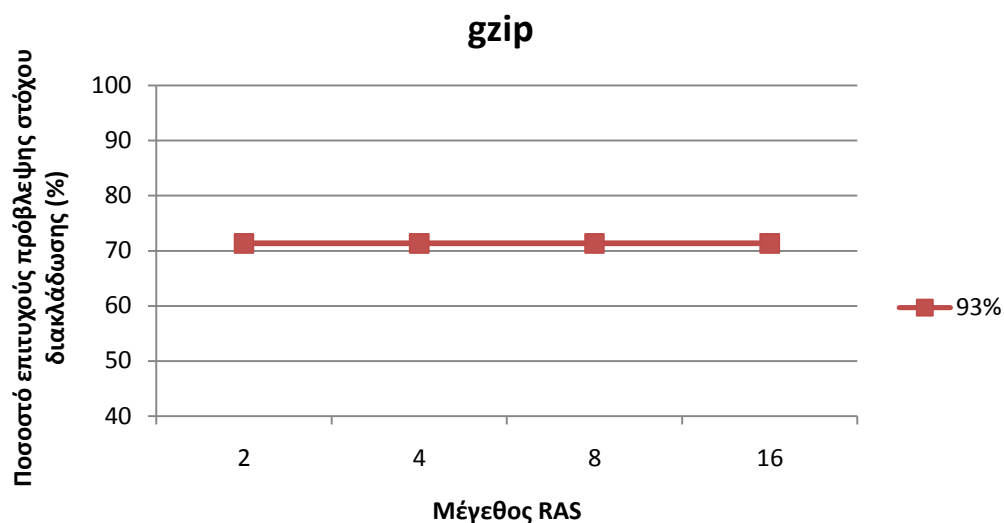
Γενικά, οι τιμές των ιδιοτήτων του μηχανισμού πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης πήραν τις παρακάτω τιμές:

- Μέγεθος BTB: 32
- Associativity BTB: 2
- Μέγεθος tag: 64
- Μέγεθος RAS: 2, 4, 8, 16

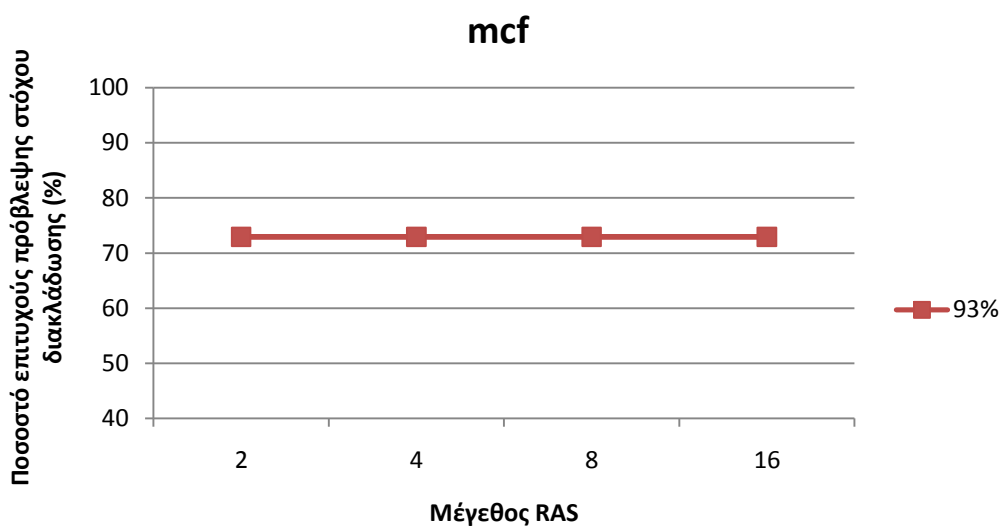
Στα διαγράμματα 10, 11, 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ποσοστού επιτυχούς πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης ως συνάρτηση του μεγέθους του RAS για κάθε μετροπρόγραμμα.



Διάγραμμα 10: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους RAS για το μετροπρόγραμμα art



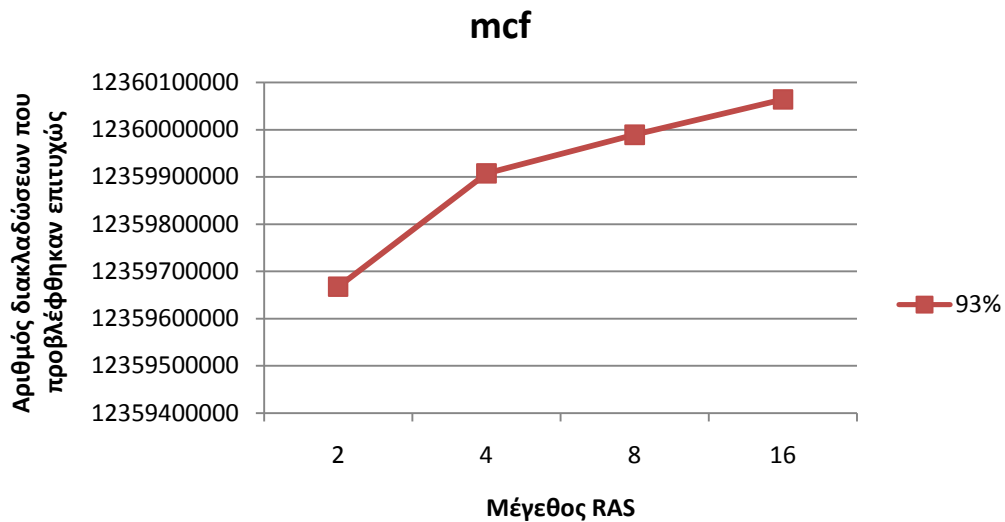
Διάγραμμα 11: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους RAS για το μετροπρόγραμμα gzip



Διάγραμμα 12: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους RAS για το μετροπρόγραμμα mcf

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται πως το μέγεθος του RAS δεν επηρεάζει το ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου. Στην πραγματικότητα το μέγεθος του RAS αφορά τις διακλαδώσεις επιστροφής υπορουτινών, οι οποίες αποτελούν ένα πολύ μικρό μόνο μέρος του συνολικού αριθμού διακλαδώσεων των μετροπρογραμμάτων.

Ενδεικτικά στο διάγραμμα 13 παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα του διαγράμματος 12 όχι ως ποσοστό αλλά σε πραγματικό αριθμό διακλαδώσεων των οποίων προβλέφθηκε σωστά ο στόχος. Όπως φαίνεται ο αριθμός αυτών των διακλαδώσεων αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους του RAS, όπως είναι αναμενόμενο.



Διάγραμμα 13: Αποτελέσματα επιρροής μεγέθους RAS για το μετροπρόγραμμα mcf (απόλυτος αριθμός διακλαδώσεων)

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων επιβεβαιώνουν την θετική επιρροή στο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου διακλαδώσεων της αύξησης του μεγέθους και του associativity του Branch Target Buffer (BTB).

Η επιρροή της μεγέθους του tag κάθε καταχώρησης του BTB βρέθηκε αμελητέα, τουλάχιστον για τα μετροπρογράμματα τα οποία προσομοιώθηκαν, ενώ μικρή είναι η αύξηση του ποσοστού επιτυχίας με την αύξηση του μεγέθους του Return Address Stack (RAS), όταν ο αριθμός επιστροφών από υπορουτίνες είναι πολύ μικρός σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των διακλαδώσεων, όπως συνέβη στα μετροπρογράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις.

Γενικά, για τα μετροπρογράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, οι βέλτιστες τιμές των ιδιοτήτων του μηχανισμού πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης, παρουσιάζονται παρακάτω. Ως βέλτιστες θεωρήθηκαν αυτές πάνω από τις οποίες το ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης στόχου, δεν αυξάνει σημαντικά, ή ακόμα και καθόλου.

- Μέγεθος BTB: 64
- Associativity BTB: 4
- Μέγεθος tag: >8
- Μέγεθος RAS: 16

Όταν οι κλήσεις ρουτινών είναι σχετικά λίγες σε σχέση με τον συνολικό αριθμό διακλαδώσεων τότε η ίδια η ύπαρξη του RAS μπορεί να μην είναι απαραίτητη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Παρατίθεται ενδεικτικά ένα από τα μερικά shell scripts που χρησιμοποιήθηκαν για την σχετική αυτοματοποίηση των προσομοιώσεων.

Πρόκειται για το script των προσομοιώσεων επιρροής του μεγέθους του RAS.

```
#!/bin/sh
```

```
#check ras size
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 2 -o ./results/art_sz32_a2_t64_ras2_mpr8.out --  
./benchmarks/art_fp/art -scanfile ./benchmarks/art_fp/c756hel.in  
-trainfile1 ./benchmarks/art_fp/a10.img -trainfile2  
./benchmarks/art_fp/hc.img -stride 2 -startx 470 -starty 140 -  
endx 520 -endy 180 -objects 10 > ./benchmarks/art_fp/ref.out &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 4 -o ./results/art_sz32_a2_t64_ras4_mpr8.out --  
./benchmarks/art_fp/art -scanfile ./benchmarks/art_fp/c756hel.in  
-trainfile1 ./benchmarks/art_fp/a10.img -trainfile2  
./benchmarks/art_fp/hc.img -stride 2 -startx 470 -starty 140 -  
endx 520 -endy 180 -objects 10 > ./benchmarks/art_fp/ref.out &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 8 -o ./results/art_sz32_a2_t64_ras8_mpr8.out --  
./benchmarks/art_fp/art -scanfile ./benchmarks/art_fp/c756hel.in  
-trainfile1 ./benchmarks/art_fp/a10.img -trainfile2  
./benchmarks/art_fp/hc.img -stride 2 -startx 470 -starty 140 -  
endx 520 -endy 180 -objects 10 > ./benchmarks/art_fp/ref.out &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 16 -o ./results/art_sz32_a2_t64_ras16_mpr8.out --  
./benchmarks/art_fp/art -scanfile ./benchmarks/art_fp/c756hel.in  
-trainfile1 ./benchmarks/art_fp/a10.img -trainfile2  
./benchmarks/art_fp/hc.img -stride 2 -startx 470 -starty 140 -  
endx 520 -endy 180 -objects 10 > ./benchmarks/art_fp/ref.out &
```

```
wait
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 2 -o ./results/gzip_sz32_a2_t64_ras2_mpr8.out --  
./benchmarks/gzip/gzip ./benchmarks/gzip/input.source 60 &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 4 -o ./results/gzip_sz32_a2_t64_ras4_mpr8.out --  
./benchmarks/gzip/gzip ./benchmarks/gzip/input.source 60 &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 8 -o ./results/gzip_sz32_a2_t64_ras8_mpr8.out --  
./benchmarks/gzip/gzip ./benchmarks/gzip/input.source 60 &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 16 -o ./results/gzip_sz32_a2_t64_ras16_mpr8.out --  
./benchmarks/gzip/gzip ./benchmarks/gzip/input.source 60 &
```

wait

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 2 -o ./results/mcf_sz32_a2_t64_ras2_mpr8.out --  
./benchmarks/mcf/mcf ./benchmarks/mcf/inp.in &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 4 -o ./results/mcf_sz32_a2_t64_ras4_mpr8.out --  
./benchmarks/mcf/mcf ./benchmarks/mcf/inp.in &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 8 -o ./results/mcf_sz32_a2_t64_ras8_mpr8.out --  
./benchmarks/mcf/mcf ./benchmarks/mcf/inp.in &
```

```
sudo ./pin/pin -t obj-intel64/bpu.so -mpr 8 -btbs 32 -btba 2 -  
tags 64 -ras 16 -o ./results/mcf_sz32_a2_t64_ras16_mpr8.out --  
./benchmarks/mcf/mcf ./benchmarks/mcf/inp.in &
```