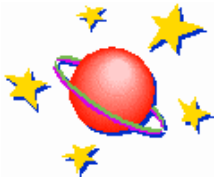


Ενότητα 6η: *Μείωση των ποινών διακλάδωσης με δυναμική πρόβλεψη του υλικού*

Σκοπός **Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να παρουσιάσει σχήματα που προβλέπουν δυναμικά το αποτέλεσμα μιας διακλάδωσης και τα οποία υλοποιούνται με τη χρήση του υλικού υπολογιστή.**

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα **Όταν θα έχετε μελετήσει την ενότητα, θα είστε σε θέση:**

<u>να αναγνωρίζετε τα δυναμικά σχήματα πρόβλεψης τα οποία βασίζονται στην ιδέα των προσωρινών καταχωρητών πρόβλεψης διακλάδωσης,</u>

<u>να χρησιμοποιείτε τους προσωρινούς καταχωρητές πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης για περαιτέρω μείωση των ποινών διακλάδωσης.</u>

προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων, συσχετισμένα σχήματα πρόβλεψης, bit συσχέτισης, προσωρινός καταχωρητής στόχου διακλάδωσης

Δυναμικά σχήματα πρόβλεψης για το αποτέλεσμα διακλάδωσης.

Στα δυναμικά σχήματα πρόβλεψης διακλάδωσης το αποτέλεσμα μιας διακλάδωσης προβλέπεται δυναμικά, με την χρήση του υλικού υπολογιστή. Η πρόβλεψη μπορεί να αλλάξει, στην περίπτωση που κατά την εκτέλεση του προγράμματος η διακλάδωση αλλάξει συμπεριφορά.

Στόχος των σχημάτων πρόβλεψης διακλάδωσης είναι να επιτρέψουν στον επεξεργαστή να αποφασίσει έγκαιρα για το αποτέλεσμα μιας διακλάδωσης, εμποδίζοντας έτσι τις εξαρτήσεις ελέγχου να προκαλέσουν καθυστερήσεις.

Η αποτελεσματικότητα ενός σχήματος πρόβλεψης διακλάδωσης εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια πρόβλεψης αλλά και από το κόστος μιας διακλάδωσης, όταν η πρόβλεψη είναι σωστή και όταν είναι λάθος.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Θυμάστε τι είναι η ποινή διακλάδωσης; Να αναφέρετε τι είναι οι ποινές διακλάδωσης και από τι εξαρτώνται. Για περισσότερες λεπτομέρειες καλό θα ήταν να ανατρέξετε στο 1ο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην 6η ενότητα: «Κίνδυνοι Ελέγχου».

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 1

Οι καθυστερήσεις που παρουσιάζονται στην σωλήνωση και που οφείλονται σε καθυστερήσεις διακλάδωσης ονομάζονται ποινές διακλάδωσης. Αυτές εξαρτώνται από τη δομή της σωλήνωσης, από το σχήμα πρόβλεψης και από τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση της λάθος πρόβλεψης. Μάλιστα όσο πιο βαθιά είναι η σωλήνωση, τόσο χειρότερη είναι η ποινή διακλάδωσης σε κύκλους ρολογιού.

Το πιο απλό σχήμα πρόβλεψης διακλάδωσης είναι ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων ή πίνακας ιστορικού των διακλαδώσεων.

Ο **προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων** είναι μία μικρή μνήμη που διευθυνσιοδοτείται από το λιγότερο σημαντικό τμήμα της διεύθυνσης της εντολής

διακλάδωσης. Η μνήμη περιέχει ένα bit που δηλώνει αν η διακλάδωση ακολουθήθηκε πρόσφατα ή όχι.
Ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων είναι το απλούστερο σχήμα πρόβλεψης και χρησιμοποιείται μόνο για να μειώνει την καθυστέρηση της διακλάδωσης, όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από τον χρόνο που απαιτείται για να υπολογιστούν οι πιθανοί στόχοι της διακλάδωσης.

Στην πράξη δεν γνωρίζουμε αν η πρόβλεψη είναι σωστή, γιατί μπορεί να έχει τοποθετηθεί εκεί από άλλη εντολή διακλάδωσης που έχει το ίδιο λιγότερο σημαντικό τμήμα διεύθυνσης. Αυτό όμως δεν μας απασχολεί. Η πρόβλεψη υποτίθεται ότι είναι σωστή και ξεκινάει η ανάκληση κατά την κατεύθυνση της πρόβλεψης. Αν η πρόβλεψη αποδειχτεί λάθος, τότε το bit πρόβλεψης αντιστρέφεται και επανατοποθετείται.

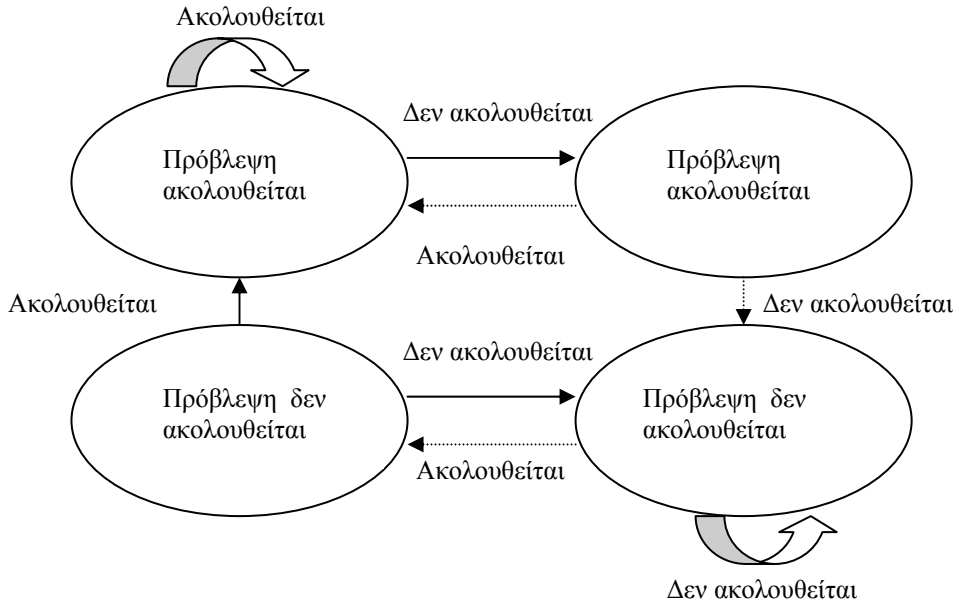
Παράδειγμα

Έστω μία εντολή διακλάδωσης μέσα σε ένα βρόχο, η οποία ακολουθείται εννέα φορές στη σειρά, ενώ τη δέκατη δεν ακολουθείται. Ποια είναι η ακρίβεια πρόβλεψης για αυτή τη διακλάδωση, αν υποθέσουμε ότι το bit πρόβλεψης παραμένει στον προσωρινό καταχωρητή πρόβλεψης;

Απάντηση:

Σε αυτή την περίπτωση θα προκύψει λανθασμένη πρόβλεψη κατά την πρώτη και τη δέκατη επανάληψη του βρόχου. Η λανθασμένη πρόβλεψη κατά την πρώτη επανάληψη συμβαίνει, διότι το bit είναι ανάποδα από την προηγούμενη εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης του βρόχου, η οποία δεν είχε ακολουθηθεί (ήταν η δέκατη στην σειρά). Η πρόβλεψη κατά τη δέκατη επανάληψη θα είναι σίγουρα λάθος, αφού το bit πρόβλεψης θα δείχνει ότι η διακλάδωση ακολουθείται, ενώ είναι γνωστό ότι τη δέκατη φορά δεν ακολουθείται. Ακόμα και αν μία διακλάδωση ακολουθείται σχεδόν πάντα, όταν μία φορά δεν ακολουθηθεί, τότε κάνουμε δύο φορές λανθασμένη πρόβλεψη αντί για μία. Έτσι, μία διακλάδωση η οποία ακολουθείται με συχνότητα 90%, έχει ακρίβεια πρόβλεψης μόνο 80% (δύο λάθος προβλέψεις και οκτώ σωστές). Γενικά, για τις διακλαδώσεις που χρησιμοποιούνται σε βρόχους, δηλαδή που ακολουθούνται πολλές φορές στη σειρά, ενώ δεν ακολουθούνται μία, το σχήμα πρόβλεψης του ενός bit θα κάνει λάθος δύο φορές ότι η διακλάδωση δεν ακολουθείται. Θεωρητικά, η ακρίβεια του σχήματος πρόβλεψης θα ήταν ίση με τη συχνότητα με την οποία ακολουθείται η διακλάδωση.

Το σχήμα πρόβλεψης των δύο bit, αποτελεί μία βελτιωμένη μορφή σχήματος πρόβλεψης. Σε ένα τέτοιο σχήμα, μία πρόβλεψη θα πρέπει να αποτύχει δύο φορές πριν αλλαχθεί. Το σχήμα πρόβλεψης των δύο bit είναι μια εξειδικευμένη μορφή ενός πιο γενικού σχήματος πρόβλεψης των n-bit.
Το σχήμα πρόβλεψης των n-bit έχει έναν μετρητή n-bit για κάθε καταχώρηση στον προσωρινό καταχωρητή πρόβλεψης διακλαδώσεων. Όταν ο μετρητής είναι μεγαλύτερος ή ίσος από το μισό της μέγιστης τιμής (2^{n-1}), προβλέπεται ότι η διακλάδωση ακολουθείται, διαφορετικά ότι δεν ακολουθείται. Στο σχήμα πρόβλεψης των n-bit (συνεπώς και των 2-bit) ο μετρητής αυξάνει όταν η διακλάδωση ακολουθείται, ενώ μειώνεται όταν η διακλάδωση δεν ακολουθείται. Στην πράξη, τα σχήματα πρόβλεψης των δύο bit λειτουργούν εξίσου καλά με αυτά των n-bit και για αυτό και χρησιμοποιούνται στα περισσότερα συστήματα.
Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι καταστάσεις ενός σχήματος πρόβλεψης των δύο bit. Χρησιμοποιώντας δύο bit αντί για ένα, η διακλάδωση του προηγούμενου παραδείγματος θα προβλεφθεί λάθος μόνο μία φορά. Τα δύο bit χρησιμοποιούνται για να κωδικοποιήσουν τις τέσσερις καταστάσεις ενός συστήματος.



Σχήμα 2.6.1 - Οι καταστάσεις ενός σχήματος πρόβλεψης των δύο bit.

Παράδειγμα

Τι ακρίβεια μπορούμε να περιμένουμε από έναν προσωρινό καταχωρητή πρόβλεψης διακλαδώσεων ο οποίος χρησιμοποιεί δύο bit για κάθε καταχώρηση;

Απάντηση:

Για το πρόγραμμα δοκιμής με όνομα SPEC89 ένας προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων με 4096 καταχωρήσεις μπορεί να επιτύχει ακρίβεια πρόβλεψης από 82% έως και πάνω από 99% ή ρυθμό λάθος πρόβλεψης από 1% ως 18%.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Θεωρείτε πως η ακρίβεια πρόβλεψης των εντολών διακλάδωσης με συνθήκη είναι αρκετή για να καθοριστεί η απόδοση των εντολών αυτών; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 2

Γνωρίζοντας μόνο την ακρίβεια πρόβλεψης δεν είναι αρκετό για να καθορίσουμε την απόδοση των εντολών διακλάδωσης, ακόμα και όταν είναι γνωστό το κόστος των διακλαδώσεων και οι ποινές για την περίπτωση που η πρόβλεψη είναι λανθασμένη. Πρέπει να είναι γνωστή και η συχνότητα των διακλαδώσεων, αφού η σπουδαιότητα της ακριβούς πρόβλεψης είναι μεγαλύτερη στα προγράμματα με μεγάλη συχνότητα διακλαδώσεων.

Τα σχήματα πρόβλεψης των δύο bit χρησιμοποιούν μόνο την πρόσφατη συμπεριφορά της διακλάδωσης προκειμένου να προβλέψουν τη μελλοντική συμπεριφορά της. Η ακρίβεια πρόβλεψης μπορεί να βελτιωθεί αν εξετάσουμε και την πρόσφατη συμπεριφορά των υπολοίπων διακλαδώσεων.

Παράδειγμα

Δίνεται το παρακάτω τμήμα κώδικα:

```
        SUBI R3, R1,#2
        BNEZ R3, L1 ;          Διακλάδωση b1
        ADD R1, R0, R0 ;
L1:     SUBI R3, R2,#2
        BNEZ R3, L2 ;          Διακλάδωση b2
        ADD R2, R0, R0 ;
L2:     SUB R3, R1, R2 ;
        BEQZ R3, L3 ;          Διακλάδωση b3
```

Απάντηση:

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα υπάρχουν τρεις διακλαδώσεις, b1, b2 και b3. Η βασική παρατήρηση είναι ότι η συμπεριφορά της διακλάδωσης b3 εξαρτάται από τις συμπεριφορές των άλλων δύο διακλαδώσεων. Συγκεκριμένα αν καμιά από τις διακλαδώσεις b1 και b2 δεν ακολουθείται, τότε η διακλάδωση b3 ακολουθείται. Ένα σχήμα πρόβλεψης που χρησιμοποιεί αποκλειστικά και μόνο τη συμπεριφορά μιας διακλάδωσης για να προβλέψει το αποτέλεσμά της, δεν μπορεί ποτέ να αποκτήσει αυτή τη συμπεριφορά.

Σχήματα πρόβλεψης διακλαδώσεων που χρησιμοποιούν την συμπεριφορά και άλλων διακλαδώσεων για να κάνουν προβλέψεις, ονομάζονται συσχετισμένα σχήματα πρόβλεψης ή σχήματα πρόβλεψης δύο επιπέδων.

Παράδειγμα

Θεωρούμε το παρακάτω τμήμα κώδικα:

```
if (d = = 0)
        d=1;
if (d = = 1)
```

Απάντηση:

Εάν θεωρήσουμε ότι το d κρατείται στον καταχωρητή R1, τότε ο αντίστοιχος κώδικας που εκτελείται σε μία DLX σωλήνωση θα είναι ο παρακάτω:

```
        BNEZ R1, L1 ; Διακλάδωση b1 (d!=0)
        ADDI R1, R0,#1;        d = = 0, άρα d=1
L1:     SUBI R3, R1,#1;
        BNEZ R3, L2 ; Διακλάδωση b2 (d!=1)
        …
L2:
```

Έστω b1 η πρώτη διακλάδωση και b2 η δεύτερη. Οι πιθανές ακολουθίες εκτέλεσης, για μία εκτέλεση του παραπάνω τμήματος του κώδικα, για τιμές d=0,1,2 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Τιμή του d	d = 0 ?	b1	Τιμή του d πριν τη b2	d = 1 ?	b2
0	Ναι	Δεν ακολουθείται	1	Ναι	Δεν ακολουθείται
1	Όχι	Ακολουθείται	1	Ναι	Δεν ακολουθείται
2	Όχι	Ακολουθείται	2	Όχι	Ακολουθείται

Πίνακας 1

Από τον πίνακα βλέπουμε ότι αν η διακλάδωση b1 δεν ακολουθείται, τότε και η διακλάδωση b2 δεν ακολουθείται. Αυτό, ένας συσχετισμένος προγνώστης μπορεί να το εκμεταλλευτεί, αλλά όχι ο τυπικός προγνώστης. Αντί να εξετάσουμε όλα τα πιθανά μονοπάτια διακλαδώσεων, θεωρούμε μια ακολουθία όπου το d μεταβάλλεται μεταξύ 2 και 0. 'Ενας προγνώστης ενός bit που ξεκινάει με την κατάσταση ότι δεν ακολουθείται, έχει τη συμπεριφορά του παρακάτω πίνακα.

d =?	Πρόβλεψη για το b1	b1?	Νέα πρόβλεψη για το b1	Πρόβλεψη Για το b2	b2?	Νέα πρόβλεψη για το b1
2	NT	T	T	NT	T	T
0	T	NT	NT	T	NT	NT
2	NT	T	T	NT	T	T
	T	NT	NT	T	NT	NT

Πίνακας 2- Το T σημαίνει ότι η διακλάδωση ακολουθείται, ενώ το NT σημαίνει ότι δεν ακολουθείται.

Όλες οι προβλέψεις των παραπάνω διακλαδώσεων είναι λάθος.

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας προγνώστης ο οποίος διαθέτει ένα bit συσχέτισης. Σε αυτόν τον προγνώστη θεωρούμε ότι κάθε διακλάδωση έχει δύο ξεχωριστά bit πρόβλεψης**:** Η πρώτη πρόβλεψη υποθέτει ότι η τελευταία διακλάδωση που εκτελέστηκε, δεν ακολουθήθηκε. Αντίθετα, η δεύτερη πρόβλεψη υποθέτει ότι η τελευταία διακλάδωση που εκτελέστηκε, ακολουθήθηκε.
Έτσι λοιπόν έχουμε τα δύο bits μαζί ως ζευγάρι, με το πρώτο bit να είναι η πρόβλεψη όταν η τελευταία διακλάδωση δεν ακολουθήθηκε και το δεύτερο bit να είναι η πρόβλεψη όταν η τελευταία διακλάδωση ακολουθήθηκε. Οι τέσσερις δυνατοί συνδυασμοί φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Bit πρόβλεψης	Πρόβλεψη αν η τελευταία διακλάδωση δεν ακολουθήθηκε	Πρόβλεψη αν η τελευταία διακλάδωση ακολουθήθηκε
NT/NT	Not Taken	Not Taken
NT/T	Not Taken	Taken
T/NT	Taken	Not Taken
T/T	Taken	Taken

Πίνακας 3- Συνδυασμοί και σημασία των δύο bit πρόβλεψης ακολουθούμενης και μη ακολουθούμενης διακλάδωσης. Το T σημαίνει ακολουθούμενη, ενώ το NT σημαίνει μη ακολουθούμενη διακλάδωση.

Η δράση του προγνώστη ενός bit με ένα bit συσχέτισης, όταν εισάγεται το NT/NT παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα.

d = ?	**Πρόβλεψη για το b1**	**b1?**	**Νέα πρόβλεψη για το b1**	**πρόβλεψη για το b2**	**B2?**	**Νέα πρόβλεψη για το b1**
2	NT/NT	T	T/NT	NT/NT	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T
2	T/NT	T	T/NT	NT/T	T	NT/T
0	T/NT	NT	T/NT	NT/T	NT	NT/T

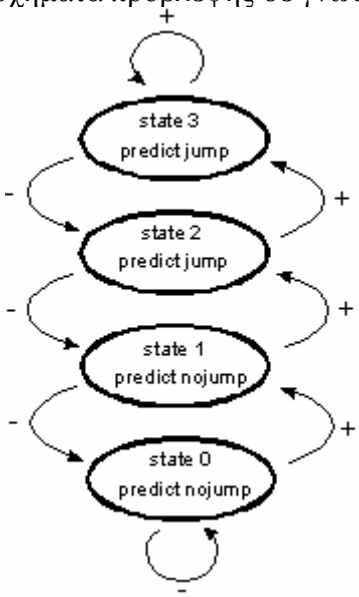
Πίνακας 4- Η δράση του προγνώστη ενός bit με ένα bit συσχέτισης, όταν εισάγεται το NT/NT.

Σε αυτή την περίπτωση, η μόνη λάθος πρόβλεψη είναι στην πρώτη επανάληψη όταν d=2. Η σωστή πρόβλεψη του b1 γίνεται λόγω της επιλογής των τιμών για το d, μια και το b1 δεν είναι φανερά συσχετισμένο με την προηγούμενη πρόβλεψη του b2. Ωστόσο, η σωστή πρόβλεψη του b2 δείχνει το πλεονέκτημα των συσχετισμένων προγνωστών. Ακόμα και αν είχαμε επιλέξει διαφορετικές τιμές για το d, ο προγνώστης για το b2 θα προέβλεπε σωστά την περίπτωση που το b1 δεν ακολουθείται σε κάθε εκτέλεση του b2, μετά από μία αρχική αποτυχημένη πρόβλεψη.

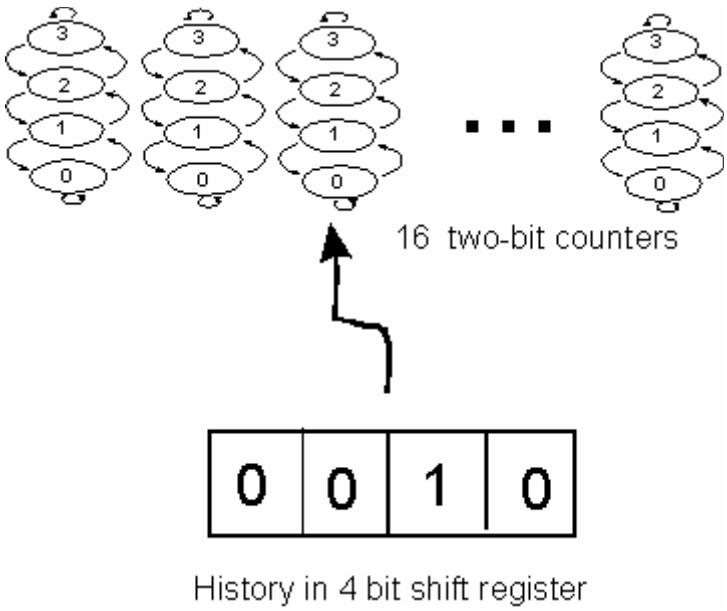
Ο προγνώστης, που αφορά τους δύο τελευταίους πίνακες ονομάζεται προγνώστης (1,1), επειδή χρησιμοποιεί τη συμπεριφορά της τελευταίας διακλάδωσης για να επιλέξει ανάμεσα σε ένα ζευγάρι προγνωστών διακλαδώσεων του ενός bit. Στη γενική περίπτωση ένας προγνώστης (m, n), χρησιμοποιεί τη συμπεριφορά των τελευταίων m διακλαδώσεων για να επιλέξει ανάμεσα σε 2^m προγνώστες διακλαδώσεων, ο καθένας από τους οποίους είναι ένας προγνώστης διακλάδωσης με n-bit.
Η μεγάλη σπουδαιότητα αυτού του είδους προγνώστη, είναι ότι μπορεί να επιτύχει πιο μεγάλη ακρίβεια πρόβλεψης, από ότι ένα σχήμα των δύο bit, ενώ απαιτεί μόνο ένα ασήμαντο επιπλέον ποσό υλικού.

Παράδειγμα

Παρακάτω παρουσιάζονται σχήματα πρόβλεψης σε γνωστούς επεξεργαστές.



Σχήμα πρόβλεψης στον Pentium I.
Είναι φανερό ότι πρέπει να αποτύχει 2 φορές προκειμένου να αλλάξει το bit πρόβλεψης.

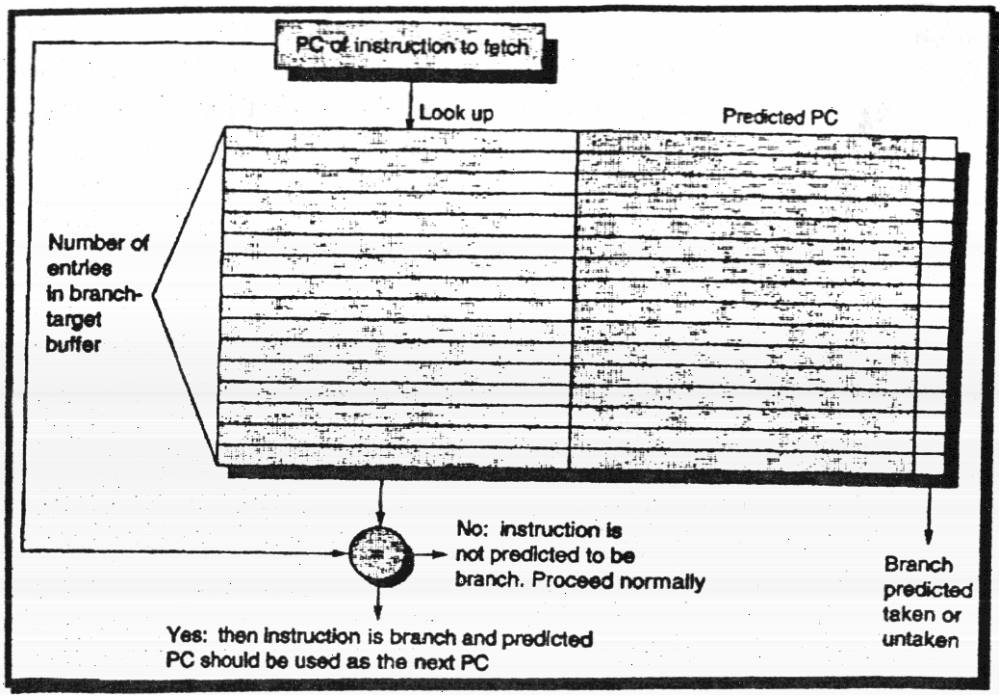


Σχήμα πρόβλεψης στον Pentium Pro, II,III.
Υπάρχουν 16 μετρητές των 2-bit και η ιστορικότητα κρατείται σε έναν καταχωρητή ολίσθησης των 4 bit. Ανάλογα την τιμή του συγκεκριμένου καταχωρητή, ανατρέχουμε στον αντίστοιχο μετρητή πρόβλεψης ο οποίος θα προβλέψει την συμπεριφορά της διακλάδωσης.

Επιπλέον μείωση των καθυστερήσεων ελέγχου.

Προκειμένου να μειωθούν οι ποινές των διακλαδώσεων σε μία απλή DLX σωλήνωση, απαιτείται να είναι γνωστή η διεύθυνση από την οποία πρόκειται να ανακληθεί η επόμενη εντολή, κατά το τέλος του σταδίου IF. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να είναι γνωστά αν η μέχρι τώρα μη αποκωδικοποιημένη εντολή είναι εντολή διακλάδωσης με συνθήκη και αν ναι, ποια θα έπρεπε να είναι η επόμενη τιμή του PC. Γνωρίζοντας αυτά τα δύο στοιχεία, μπορούμε να έχουμε μία ποινή διακλάδωσης ίση με το μηδέν.
Μία μνήμη (cache) πρόβλεψης διακλάδωσης, στην οποία αποθηκεύεται η προβλεπόμενη διεύθυνση της εντολής που έπεται μιας εντολής διακλάδωσης, ονομάζεται **προσωρινός καταχωρητής στόχου διακλάδωσης** (branch target buffer).

Σε μία DLX σωλήνωση η πρόσβαση στον προσωρινό καταχωρητή πρόβλεψης γίνεται κατά την διάρκεια του σταδίου ID, ώστε στο τέλος αυτού του σταδίου να είναι γνωστή η διεύθυνση του στόχου διακλάδωσης (μια και υπολογίζεται στην διάρκεια του σταδίου ID), η λάθος διεύθυνση (που υπολογίζεται στην διάρκεια του σταδίου IF), καθώς και η πρόβλεψη. 'Ετσι λοιπόν στο τέλος του σταδίου ID έχουμε αρκετές πληροφορίες ώστε να ανακληθεί η επόμενη προβλεπόμενη εντολή. Επίσης, επειδή προβλέπουμε την διεύθυνση της επόμενης εντολής θα πρέπει να γνωρίζουμε αν η εντολή που έχουμε ήδη ανακαλέσει προβλέπεται ως ακολουθούμενη διακλάδωση. Η λειτουργία του προσωρινού καταχωρητή στόχου διακλάδωσης περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα **:**



Σχήμα 2.6.2 - Προσωρινός καταχωρητής στόχου διακλάδωσης.

Ο PC της εντολής που ανακαλούμε συγκρίνεται με ένα σύνολο διευθύνσεων εντολών, που είναι αποθηκευμένες στην πρώτη στήλη. Αυτές αναπαριστούν τις διευθύνσεις γνωστών διακλαδώσεων. Αν ο PC ταιριάζει με μία από αυτές τις καταχωρήσεις τότε η εντολή που καλείται είναι μία ακολουθούμενη διακλάδωση. Το δεύτερο πεδίο περιέχει την πρόβλεψη για την επόμενη τιμή του PC, μετά την διακλάδωση. Η ανάκληση αρχίζει αμέσως σε αυτή την διεύθυνση. Το τρίτο πεδίο είναι προαιρετικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επιπλέον bit πρόβλεψης κατάστασης. Από τον πίνακα του σχήματος προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα **:**

- Η επόμενη εντολή είναι γνωστή στο τέλος του σταδίου IF, δηλαδή ένα κύκλο νωρίτερα από ότι με το προσωρινό καταχωρητή πρόβλεψης διακλαδώσεων.

- Στον πίνακα αποθηκεύονται μόνο οι εντολές διακλάδωσης που ακολουθούνται. Οι διακλαδώσεις που δεν ακολουθούνται δεν καταχωρούνται, αφού η ροή του προγράμματος συνεχίζεται κανονικά.

- Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται και bit πρόβλεψης, αποθηκεύονται όλες οι διακλαδώσεις, είτε ακολουθούνται είτε όχι.

Παράδειγμα

Να καθορίσετε τη συνολική ποινή διακλάδωσης για ένα προσωρινό καταχωρητή στόχου διακλάδωσης θεωρώντας τους κύκλους ποινής για μεμονωμένες λάθος προβλέψεις, από τον παρακάτω πίνακα. Θεωρήστε ότι η ακρίβεια πρόβλεψης είναι 90% και ο ρυθμός επιτυχίας είναι 90%, ενώ η συχνότητα με την οποία η διακλάδωση ακολουθείται είναι 60%.

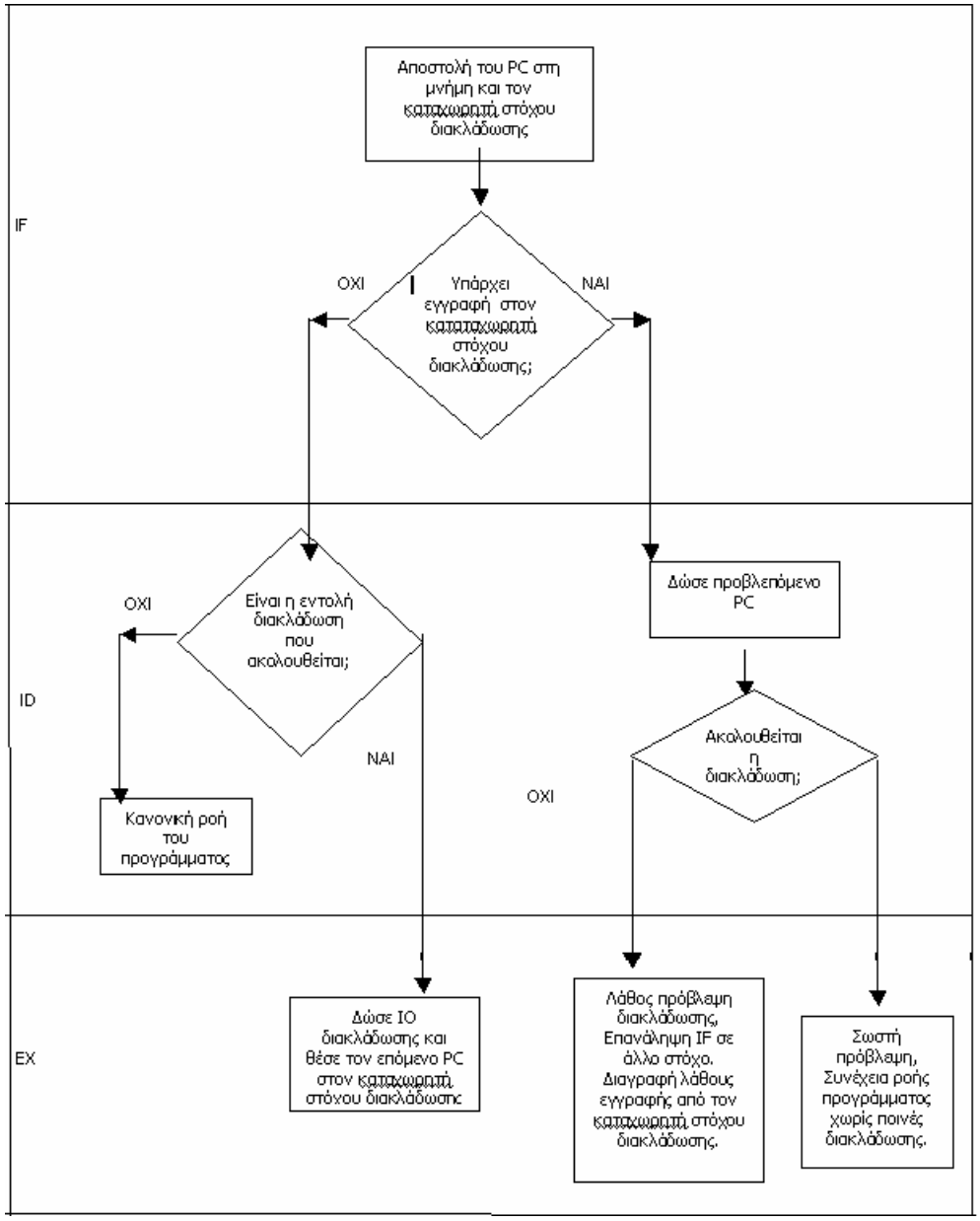
Απάντηση:

Ποινή διακλάδωσης = ποσοστό ρυθμού επιτυχίας* ποσοστό λάθους πρόβλεψης*2+(1-ποσοστό ρυθμού επιτυχίας)* ακολουθούμενες διακλαδώσεις*2
Ποινή διακλάδωσης = (90%*10%*2) + (10%*60%*2)
Ποινή διακλάδωσης = 0,18 + 0,12=0,30 κύκλοι ρολογιού.

Υπάρχει η εντολή στον προσωρινό καταχωρητή?	**Πρόβλεψη**	**Πραγματική συμπεριφορά διακλάδωσης**	**Ποινή σε Κύκλους ρολογιού**
Ναι	Ακολουθείται	Ακολουθείται	0
Ναι	Ακολουθείται	Δεν ακολουθείται	2
'Οχι		Ακολουθείται	2

Πίνακας 5 -Ποινές για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς του αν η διακλάδωση είναι στον προσωρινό καταχωρητή πρόβλεψης και τι πραγματικά κάνει. Δεν υπάρχει ποινή διακλάδωσης αν όλα έχουν προβλεφθεί σωστά και η διακλάδωση βρίσκεται στον καταχωρητή πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης. Αν η διακλάδωση δεν έχει προβλεφθεί σωστά τότε η ποινή είναι δύο κύκλοι ρολογιού. Η ίδια ποινή ισχύει αν η διακλάδωση δεν έχει βρεθεί καθόλου στον καταχωρητή πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα βήματα που ακολουθούνται όταν χρησιμοποιείται προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης, καθώς και το πότε αυτά συμβαίνουν μέσα στη σωλήνωση.



Σχήμα 2.6.3 - Αν μία διακλάδωση βρεθεί στον καταχωρητή πρόβλεψης στόχου διακλάδωσης και ακολουθείται, τότε δεν έχουμε καμία καθυστέρηση. Αν όμως δεν υπάρχει στον πίνακα, ή υπάρχει αλλά τελικά δεν ακολουθηθεί, θα έχουμε μια ποινή τουλάχιστον δύο κύκλων.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Να περιγράψετε τι είναι ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων και να εξηγήσετε το λόγο για τον οποίο χρησιμοποιείται για τη μείωση των ποινών διακλάδωσης.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 3

Το πιο απλό σχήμα πρόβλεψης διακλάδωσης είναι ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων. Ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων είναι μία μικρή μνήμη που διευθυνσιοδοτείται από το λιγότερο σημαντικό τμήμα της διεύθυνσης της εντολής διακλάδωσης. Η μνήμη περιέχει ένα bit που δηλώνει αν η διακλάδωση ακολουθήθηκε πρόσφατα ή όχι.

Ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων χρησιμοποιείται μόνο για να μειώνει την καθυστέρηση της διακλάδωσης, όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από τον χρόνο που απαιτείται για να υπολογιστούν οι πιθανοί στόχοι της διακλάδωσης.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν…

Στα δυναμικά σχήματα πρόβλεψης, το αποτέλεσμα μιας διακλάδωσης προβλέπεται δυναμικά, με την χρήση του υλικού υπολογιστή. Η πρόβλεψη μπορεί να αλλάξει, αν κατά την εκτέλεση του προγράμματος, η διακλάδωση αλλάξει συμπεριφορά. Στόχος των σχημάτων πρόβλεψης, είναι να επιτρέψουν στον επεξεργαστή να αποφασίσει έγκαιρα για το αποτέλεσμα μιας διακλάδωσης, εμποδίζοντας έτσι τις εξαρτήσεις ελέγχου να προκαλέσουν καθυστερήσεις.

Ο προσωρινός καταχωρητής πρόβλεψης διακλαδώσεων είναι μία μικρή μνήμη που διευθυνσιοδοτείται από το λιγότερο σημαντικό τμήμα της διεύθυνσης της εντολής διακλάδωσης. Η μνήμη περιέχει ένα bit που δηλώνει αν η διακλάδωση ακολουθήθηκε πρόσφατα ή όχι.

Το σχήμα πρόβλεψης των δύο bit, αποτελεί μια βελτιωμένη μορφή προγνώστη. Σε ένα τέτοιο σχήμα, μια πρόβλεψη θα πρέπει να αποτύχει δύο φορές πριν αλλαχθεί.

Προγνώστες διακλαδώσεων που χρησιμοποιούν την συμπεριφορά και άλλων διακλαδώσεων για να κάνουν προβλέψεις, ονομάζονται συσχετισμένοι προγνώστες ή προγνώστες δύο επιπέδων

Στη γενική περίπτωση ένας προγνώστης (m, n), χρησιμοποιεί τη συμπεριφορά των τελευταίων m διακλαδώσεων για να επιλέξει ανάμεσα σε 2^m προγνώστες διακλαδώσεων, ο καθένας από τους οποίους είναι ένας προγνώστης διακλάδωσης με n-bit.

Μία μνήμη (cache), πρόβλεψης διακλάδωσης στην οποία αποθηκεύεται η προβλεπόμενη διεύθυνση της εντολής, που έπεται μιας εντολής διακλάδωσης, ονομάζεται προσωρινός καταχωρητής στόχου διακλάδωσης (branch target buffer). Με τη χρήση αυτού του καταχωρητή επιτυγχάνεται επιπλέον μείωση των ποινών διακλάδωσης.