



Ενότητα 10^η: Σχεδιάζοντας ένα σύστημα Εισόδου/Εξόδου.

Σκοπός Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να περιγράψει τη διαδικασία σχεδίασης ενός υπολογιστικού συστήματος εισόδου/εξόδου όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες απαιτήσεις που θέτουμε στην αρχή.

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



αναφέρετε τους παράγοντες τους οποίους υπολογίζουμε στο σχεδιασμό ενός υπολογιστικού συστήματος εισόδου/εξόδου,



απαριθμείτε τα βήματα τα οποία ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος εισόδου/εξόδου.



Σχεδιασμός συστημάτων Εισόδου/Εξόδου

Μία μεγάλη πρόκληση που αφορά στο σχεδιασμό των συστημάτων Εισόδου/Εξόδου (I/O) είναι να προσπαθήσουμε να ικανοποιήσουμε τα παρακάτω:

- να επιτύχουμε όσο το δυνατόν **χαμηλότερο κόστος**,
- να υπάρχει η δυνατότητα **σύνδεσης μεγάλης ποικιλίας συσκευών**, και
- να **αποφεύγεται η εμφάνιση δυσχερειών** στην λειτουργία των συσκευών.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει μια **ισορροπημένη κατάσταση** μεταξύ των διαφόρων τμημάτων που βρίσκονται ανάμεσα στην κύρια μνήμη και στις συσκευές I/O και αυτό διότι, **ο λόγος κόστος/επίδοση του συστήματος I/O – και άρα και η απόδοση του – μπορεί να είναι τόσο υψηλός όσο και είναι και στον ασθενέστερο κρίκο της αλυσίδα του.**

Ο σχεδιαστής πρέπει επίσης να φροντίσει και για τη **δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης του συστήματος**, έτσι ώστε οι πελάτες να μπορούν να το προσαρμόζουν στις εφαρμογές τους.

Αυτή η δυνατότητα επέκτασης - τόσο σε αριθμό όσο και σε τύπους συσκευών I/O - έχει **συνέπειες στο κόστος** λόγω της ανάγκης ύπαρξης μακρύτερων αρτηριών I/O, μεγαλύτερης παροχής ισχύος για την υποστήριξη των συσκευών, και μεγαλύτερων κουτιών.

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός συστήματος I/O, γίνεται ανάλυση της απόδοσης, του κόστους και της χωρητικότητας του συστήματος, χρησιμοποιώντας για τη μέτρηση ποικίλα σχήματα σύνδεσης και διαφορετικό κάθε φορά αριθμό συσκευών I/O παντός τύπου.

Βήματα που ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό

Παρουσιάζονται έξι βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στο σχεδιασμό ενός συστήματος I/O. Οι λύσεις σε κάθε βήμα μπορούν να καθοριστούν από τις απαιτήσεις της αγοράς, ή απλώς από το τι επιδίωξη έχουμε για το λόγο κόστος/απόδοση.

1. Απαρίθμησε τους **διαφορετικούς τύπους συσκευών I/O** που πρόκειται να συνδεθούν στη μηχανή, ή τους διάφορους τύπους κοινών αρτηριών τους οποίους θα υποστηρίξει η μηχανή.

2. Απαρίθμησε τις **φυσικές απαιτήσεις κάθε συσκευής I/O**, συμπεριλαμβάνοντας την ποσότητα, την ισχύ, τις συνδέσεις, τις υποδοχές αρτηρίας και τα κουτιά επέκτασης που χρειάζεται κάθε μία.

3. Απαρίθμησε το **κόστος κάθε συσκευής I/O**, συμπεριλαμβάνοντας και το κόστος του ελεγκτή που τυχόν να χρειάζεται γι' αυτή τη συσκευή.

4. Κατέγραψε για κάθε συσκευή I/O τις **απαιτήσεις των πόρων** που θα πρέπει να διαθέσει ο **επεξεργαστής**, οι οποίοι μεταξύ των άλλων είναι:

- Κύκλοι ρολογιού για εντολές που θα χρησιμοποιηθούν για να αρχικοποιήσουν μια διαδικασία εισόδου/εξόδου (όπως ο χειρισμός των

διακοπών), για να υποστηρίξουν τη λειτουργία μιας συσκευής I/O και για να ολοκληρώσουν τη διαδικασία I/O.

- Καθυστέρηση του ρολογιού του επεξεργαστή, οφειλόμενη σε αναμονή για να ολοκληρώσει το σύστημα I/O τη χρήση της μνήμης, της αρτηρίας ή της κρυφής μνήμης.
- Κύκλοι ρολογιού του επεξεργαστή για την ανάκαμψη από μια δραστηριότητα I/O, όπως την εκκένωση (flushing) της κρυφής μνήμης.

5. Κατέγραψε για κάθε συσκευή I/O τις **απαιτήσεις των πόρων** που θα πρέπει να διαθέσει η **μνήμη** και η **αρτηρία** I/O. Ακόμη και αν ο επεξεργαστής δε χρησιμοποιεί τη μνήμη, το εύρος ζώνης της κύριας μνήμης και της αρτηρίας I/O είναι περιορισμένο.

6. Το τελικό βήμα είναι η **εκτίμηση της απόδοσης** όλων των διαφορετικών τρόπων οργάνωσης των συσκευών I/O. Η απόδοση μπορεί να αξιολογηθεί σωστά μόνο με προσομοίωση (simulation), αν και μπορεί πιθανόν να εκτιμηθεί με τη χρήση της θεωρίας ουρών.

Στη συνέχεια επιλέγεται η καλύτερη οργάνωση ανάλογα με τις επιδιώξεις κόστους και απόδοσης που έχουν τεθεί.

Τρόποι μέτρησης απόδοσης. Οι επιδιώξεις κόστους και απόδοσης επηρεάζουν την επιλογή του σχήματος I/O και τον φυσικό σχεδιασμό. Η απόδοση μπορεί να μετρηθεί είτε σε Mb (megabytes) ανά δευτερόλεπτο είτε σε αριθμό λειτουργιών εισόδου/εξόδου ανά δευτερόλεπτο (IOPS), ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής.



Αν απαιτούμε υψηλή απόδοση, οι μόνοι περιορισμοί μας θα είναι η **ταχύτητα των συσκευών I/O**, ο **αριθμός των συσκευών I/O** και η **ταχύτητα της μνήμης και της CPU**. Αντίθετα, αν θέλουμε χαμηλότερο κόστος, μπορούμε να **δαπανήσουμε μόνο για την αγορά των συσκευών I/O και τα καλώδια σύνδεσης με τον επεξεργαστή**. Φυσικά, συνήθως προσπαθούμε να **εξισορροπήσουμε τη σχέση απόδοσης προς κόστος και να επιτύχουμε την κατασκευή ενός συστήματος με υψηλή απόδοση και σχετικά χαμηλό κόστος**.

Για να κάνουμε αυτές τις ιδέες πιο σαφείς, ας τις δούμε μέσα από μερικά παραδείγματα.



Παράδειγμα 1ο

Πρώτα, ας δούμε την επίδραση στον επεξεργαστή που έχει η ανάγνωση μιας σελίδας δίσκου κατευθείαν στην κρυφή μνήμη. Ας κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις:

- Κάθε σελίδα έχει μέγεθος 16 Kb και το μέγεθος του μπλοκ της κρυφής μνήμης είναι 64 bytes.
- Οι διευθύνσεις που αντιστοιχούν στη νέα σελίδα δεν είναι στην κρυφή μνήμη.
- Η CPU δεν θα προσπελάσει κανένα από τα δεδομένα της νέας σελίδας.

- Το 95% των μπλοκ που είχαν μετατοπισθεί από την κρυφή μνήμη θα διαβασθούν για εισαγωγή πάλι, και κάθε το καθ' ένα θα προκαλέσει ένα σφάλμα κρυφής μνήμης (cache miss).
- Η κρυφή μνήμη είναι τύπου υστεροεγγραφής (write-back) και κατά μέσο όρο το 50% των μπλοκ είναι χαλασμένα (εννοούμε δηλαδή ότι περιέχουν δεδομένα που έχουν μεταβληθεί και είναι πλέον χωρίς σημασία).
- Το σύστημα I/O τοποθετεί σε ενδιάμεση μνήμη ένα γεμάτο μπλοκ κρυφής μνήμης πριν να γράψει στη κρυφή μνήμη (διαδικασία που καλείται παρεμβολή ταχείας σύγκρισης – speed-matching buffer -, η οποία συντονίζει το εύρος ζώνης μετάδοσης μεταξύ του συστήματος I/O και της μνήμης).
- Οι προσπελάσεις και τα σφάλματα είναι απλωμένα ομοιόμορφα σε όλα τα μπλοκ της κρυφής μνήμης.
- Δεν υπάρχει άλλη παρεμβολή μεταξύ της CPU και των I/O για τις υποδοχές της κρυφής μνήμης.
- Υπάρχουν 15.000 σφάλματα κρυφής μνήμης για κάθε εκατομμύριο κύκλους ρολογιού, όταν δεν υπάρχουν λειτουργίες I/O.
- Η ποινή για το σφάλμα κρυφής μνήμης είναι 30 κύκλοι ρολογιού, και άλλοι 30 κύκλοι για την εγγραφή του μπλοκ, εάν αυτό ήταν χαλασμένο.

Εάν υποθέσουμε ότι μια σελίδα έρχεται κάθε εκατομμύριο κύκλους ρολογιού, ποία είναι η επίδραση στην απόδοση;

Απάντηση:

Κάθε σελίδα γεμίζει 16384/64, δηλαδή 256 μπλοκ. Οι συναλλαγές I/O δεν προκαλούν σφάλμα κρυφής μνήμης από μόνες τους διότι μεταφέρονται ολόκληρα μπλοκ κρυφής μνήμης. Παρ' όλα αυτά, μετατοπίζουν μπλοκ που υπήρχαν ήδη στην κρυφή μνήμη. Εάν τα μισά από τα μετατοπισμένα μπλοκ είναι χαλασμένα χρειάζονται 128*30 κύκλοι ρολογιού για να ξαναγραφούν στην μνήμη. Υπάρχουν επίσης λάθη από το 95% των μετατοπισμένων από την κρυφή μνήμη μπλοκ επειδή προσπελούνται αργότερα, έτσι προστίθενται ακόμη 95%*256, δηλαδή 244 απώλειες. Αφού αυτά τα δεδομένα ήταν τοποθετημένα στην κρυφή μνήμη από το σύστημα I/O, όλα αυτά τα μπλοκ είναι χαλασμένα και θα χρειασθεί να ξαναγραφούν όταν αντικατασταθούν. Έτσι, το σύνολο είναι κατά μέσο όρο 128*30 + 244*60 περισσότεροι κύκλοι ρολογιού από το αρχικό 1.000.000 + 7500*30 + 7500*60. Αυτό προκαλεί μια μείωση στην απόδοση κατά 1%:

$$\frac{128*30 + 244*60}{1.000.000 + 7500*30 + 7500*60} = \frac{18.480}{1.675.000} = 0,011$$



Τώρα ας δούμε τη σχέση κόστους / απόδοσης σε διάφορες οργανώσεις I/O. Ενας απλός τρόπος για να πραγματοποιηθεί αυτή η ανάλυση είναι να παρατηρήσουμε το μέγιστο ρυθμό διαμεταγωγής, δεχόμενοι ότι οι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά 100% χωρίς παρενέργειες από παρεμβολές.



Παράδειγμα 2ο

Δίδονται οι ακόλουθες πληροφορίες επίδοσης και κόστους:

- μία CPU των 500-MIPS που κοστίζει \$30.000.
- μια μνήμη εύρους 16-byte με κύκλο ρολογιού 100-ns .
- αρτηρία I/O των 200 MB/sec με δυνατότητα να χωρέσει 20 αρτηρίες και ελεγκτές τύπου SCSI-2.
- αρτηρίες SCSI-2 που μπορούν να μεταφέρουν 20 Mb/sec και να υποστηρίξουν μέχρι και 15 δίσκους ανά αρτηρία (αυτοί ονομάζονται και συστοιχίες SCSI).
- ένας ελεγκτής SCSI-2 που κοστίζει \$1500 και προσθέτει 1 ms επιβάρυνση για να εκτελέσει μια λειτουργία I/O δίσκου.
- ένα λειτουργικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί 10.000 εντολές επεξεργαστή για μια λειτουργία I/O δίσκου.
- μια επιλογή μεταξύ ενός μεγάλου δίσκου που περιέχει 8 Gb ή ενός μικρού δίσκου που περιέχει 2 GB, με κόστος \$0,25 ανά Mb ο καθένας.
- και οι δύο δίσκοι περιστρέφονται με ταχύτητα ίση με 7200 περιστροφές το λεπτό , έχουν μέσο χρόνο αναζήτησης 8-ms, και μπορούν να μεταφέρουν 6 MB/sec.
- η χωρητικότητα αποθήκευσης πρέπει να είναι 200 Gb, και
- το μέσο μέγεθος μιας μεταφοράς I/O είναι 16 Kb.

Εκτιμείστε το κόστος ανά λειτουργία I/O ανά δευτερόλεπτο (IOPS) που επιφέρει η χρησιμοποίηση μικρών ή μεγάλων οδηγών. Υποθέστε ότι κάθε λειτουργία I/O δίσκου επιφέρει μια μέση καθυστέρηση λόγω αναζήτησης και περιστροφής. Χρησιμοποιείστε την αισιόδοξη υπόθεση ότι όλες οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το 100% της χωρητικότητάς τους και ότι ο φόρτος εργασίας είναι ισοκατανεμημένος μεταξύ των δίσκων.

Απάντηση:

Οι επιδόσεις της εισόδου/εξόδου περιορίζονται από τον ασθενέστερο κρίκο της αλυσίδας, έτσι θα εκτιμήσουμε την μέγιστη απόδοση του κάθε κρίκου στην αλυσίδα I/O για κάθε οργάνωση, ώστε με αυτό τον τρόπο να προσδιορίσουμε συνολικά τη μέγιστη απόδοση της. Ας αρχίσουμε υπολογίζοντας τον μέγιστο αριθμό των IOPS για τον επεξεργαστή, την κύρια μνήμη, και την αρτηρία I/O. Η επίδοση του επεξεργαστή σε σχέση με την είσοδο/έξοδο καθορίζεται από την ταχύτητα του καθώς και από τον αριθμό των εντολών που χρειάζονται για να εκτελεσθεί μία λειτουργία I/O δίσκου:

$$\text{Μέγιστο IOPS για την CPU} = \frac{500 \text{ MIPS}}{10000 \text{ εντολές ανα I/O}} = 50000$$

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών Ι

Η μέγιστη απόδοση του συστήματος μνήμης καθορίζεται από τον κύκλο ρολογιού της μνήμης, το εύρος λέξεων της μνήμης και το μέγεθος των δεδομένων I/O που μεταφέρονται:

$$\text{Μέγιστο IOPS για την κυρίως μνήμη} = \frac{(1/100\text{ns}) * 16}{16 \text{ KB ανά I/O}} \approx 10000$$

Η μέγιστη απόδοση της αρτηρίας I/O περιορίζεται από το εύρος ζώνης της αρτηρίας και το μέγεθος των δεδομένων I/O:

$$\text{Μέγιστο IOPS για την αρτηρία I/O} = \frac{200 \text{ MB/sec}}{16 \text{ KB ανά I/O}} \approx 12500$$



Συνεπώς, δεν έχει σημασία ποιος δίσκος επιλέγεται, ο επεξεργαστής και η κυρίως μνήμη περιορίζουν την μέγιστη απόδοση να είναι όχι μεγαλύτερη από 10000 εντολές εισόδου/εξόδου το λεπτό.

Τώρα είναι ώρα να κοιτάξουμε τις επιδόσεις του επόμενου συνδέσμου της αλυσίδας I/O, τους ελεγκτές SCSI-2. Ο χρόνος που απαιτείται για να μεταφερθούν 16 Kb στην αρτηρία SCSI-2 είναι

$$\text{Χρόνος μεταφοράς αρτηρίας SCSI-2} = \frac{16 \text{ KB ανά I/O}}{20 \text{ MB/sec}} = 0.8 \text{ ms}$$

Προσθέτοντας την επιβάρυνση (overhead) του 1 ms του ελεγκτή SCSI-2 ο παραπάνω χρόνος γίνεται 1,8 ms ανά λειτουργία I/O, και έτσι ο μέγιστος ρυθμός ανά ελεγκτή γίνεται

$$\text{Μέγιστο IOPS ανά ελεγκτή SCSI-2} = \frac{1}{1.8 \text{ ms}} = 556 \text{ IOPS}$$

Όλες οι οργανώσεις θα χρησιμοποιούν πολλούς ελεγκτές, άρα το 556 IOPS δεν είναι το όριο και για όλο το σύστημα.

Ο τελευταίος κρίκος στην αλυσίδα είναι οι ίδιοι οι δίσκοι. Ο χρόνος για μία μέση λειτουργία δίσκου είναι:

$$\text{Χρόνος I/O} = 8\text{ms} + \frac{0.5}{7200 \text{ RPM}} + \frac{16 \text{ KB}}{6 \text{ MB/sec}} = 8 + 4.2 + 2.7 = 14.9 \text{ ms}$$

άρα η απόδοση του δίσκου είναι

$$\text{Μέγιστο IOPS (χρησιμοποιώντας μέση αναζήτηση) ανά δίσκο} = \frac{1}{14.9 \text{ ms}} = 67 \text{ IOPS}$$

Ο αριθμός των δίσκων σε κάθε οργάνωση καθορίζεται από το μέγεθος κάθε δίσκου: 200 Gb μπορούν να είναι είτε 25 δίσκοι των 8 Gb είτε 100 δίσκοι των 2 Gb. Ο μέγιστος αριθμός των λειτουργιών I/O για όλους τους δίσκους είναι:

Μέγιστο IOPS για 25 δίσκους των 8 Gb = $25 * 67 = 1675$

Μέγιστο IOPS για 100 δίσκους των 2 Gb = $100 * 67 = 6700$

Συνεπώς, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν αρκετές συστοιχίες SCSI-2, οι δίσκοι γίνονται το νέο όριο για τη μέγιστη απόδοση: 1675 IOPS για τους δίσκους των 8 Gb και 6700 για τους δίσκους των 2 Gb.

Παρόλο που έχουμε προσδιορίσει την επίδοση του κάθε κρίκου της αλυσίδας I/O, έχουμε ακόμη να προσδιορίσουμε πόσες αρτηρίες και ελεγκτές SCSI-2 θα χρησιμοποιήσουμε και πόσους δίσκους θα συνδέσουμε σε κάθε ελεγκτή, καθώς αυτός είναι παράγοντας που μπορεί να περιορίσει την μέγιστη επίδοση. Η αρτηρία I/O περιορίζεται σε 20 ελεγκτές SCSI-2 και το πρότυπο SCSI-2 περιορίζει τον αριθμό των δίσκων σε 15 ανά συστοιχία. Ο ελάχιστος αριθμός ελεγκτών για τους δίσκους των 8 Gb είναι:

$$\text{Ελάχιστος αριθμός συστοιχιών SCSI-2 για 100 δίσκους των 2 Gb} = \frac{100}{15} \text{ δηλαδή } 7$$

(εξυπακούεται ότι παίρνουμε το ακέραιο μέρος του κλάσματος)
και για δίσκους των 2 Gb

$$\text{Ελάχιστος αριθμός συστοιχιών SCSI-2 για 100 δίσκους των 2 Gb} = \frac{100}{15} \text{ δηλαδή } 7$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο IOPS για κάθε σχηματισμό:
Μέγιστο IOPS για 2 SCSI strings = $2 * 556 = 1112 \text{ IOPS}$
Μέγιστο IOPS για 7 SCSI strings = $7 * 556 = 3892 \text{ IOPS}$

Η μέγιστη απόδοση αυτού του αριθμού ελεγκτών είναι ελάχιστα χαμηλότερη από το ρυθμό διαμεταγωγής των δίσκων. Ας υπολογίσουμε λοιπόν τον αριθμό των ελεγκτών έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στενωπού (bottleneck). Ένας τρόπος είναι να βρούμε τον αριθμό των δίσκων που μπορούν να υποστηρίξουν ανά συστοιχία:

$$\text{Αριθμός δίσκων ανά συστοιχία SCSI-2 σε πλήρες εύρος ζώνης} = \frac{556}{67} = 8.3 \text{ δηλαδή } 8$$

και στη συνέχεια υπολογίζουμε τον αριθμό των συστοιχιών:

$$\text{Αριθμός συστοιχιών SCSI-2 για πλήρες εύρος ζώνης με δίσκους των 8 GB} = \frac{25}{8} = 3.1 \text{ ή } 4$$

$$\text{Αριθμός συστοιχιών SCSI-2 για πλήρες εύρος ζώνης με δίσκους των 2 GB} = \frac{100}{8} = 12.5 \text{ ή } 13$$

Όλα αυτά καθορίζουν τις επιδόσεις τεσσάρων οργανώσεων: 25 δίσκοι των 8 Gb με 2 ή 4 συστοιχίες SCSI-2 και 100 δίσκοι των 2 Gb με 7 έως 13 συστοιχίες SCSI. Η μέγιστη απόδοση κάθε επιλογής περιορίζεται από τον κρίκο της αλυσίδας I/O με τη μικρότερη απόδοση (με έντονα γράμματα):

Δίσκοι 8 GB, 2 συστοιχίες = Min(50000,10000,12500,1675,**1112**) = 1112 IOPS

Δίσκοι 8 GB, 4 συστοιχίες = Min(50000,10000,12500,**1675**,2224) = 1675 IOPS

Δίσκοι 2 GB, 7 συστοιχίες = Min(50000,10000,12500,6700,**3892**) = 3892 IOPS

Δίσκοι 2 GB, 13 συστοιχίες = Min(50000,10000,12500,**6700**,7228) = 6700 IOPS

Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος κάθε οργάνωσης:

Δίσκοι 8 GB, 2 συστοιχίες = \$30.000 + 2*\$1.500 + 25 * (8192*\$0.25) = \$84.200

Δίσκοι 8 GB, 4 συστοιχίες = \$30.000 + 4*\$1.500 + 25 * (8192*\$0.25) = \$87.200

Δίσκοι 2 GB, 7 συστοιχίες = \$30.000 + 7*\$1.500 + 100 * (2048*\$0.25) = \$91.700

Δίσκοι 2 GB,13 συστοιχίες=\$30.000 + 13*\$1.500 + 100*(2048*\$0.25) = \$100.700



Εν τέλει, το κόστος ανά IOPS για κάθε μία από τις τέσσερις οργανώσεις είναι \$76, \$52, \$24 και \$15 αντίστοιχα. Υπολογίζοντας τον μέγιστο αριθμό μέσων λειτουργιών I/Os ανά δευτερόλεπτο και κάνοντας την υπόθεση ότι οι κύριοι πόροι χρησιμοποιούνται κατά 100% , η οργάνωση που μας δίνει το βέλτιστο λόγο κόστους/επίδοση είναι αυτή με τους μικρούς δίσκους και τον μεγαλύτερο αριθμό ελεγκτών. Οι μικροί δίσκοι έχουν περίπου 3,5 φορές καλύτερο λόγο κόστους/επίδοση από τους μεγάλους δίσκους σ' αυτό το παράδειγμα. Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι ο μεγαλύτερος αριθμός δίσκων θα επηρεάσει αρνητικά τη διαθεσιμότητα του συστήματος, εκτός και αν προστεθεί κάποια μορφή πλεονασμού (redundancy). 🚦

Κατά τη διάρκεια του παραπάνω παραδείγματος υποθέσαμε ότι οι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά 100%. Είναι χρήσιμο να διαπιστωθεί ο στενωπός σε κάθε οργάνωση.



Παράδειγμα 3ο

Για τις οργανώσεις του τελευταίου παραδείγματος, υπολογίστε το ποσοστό εκμετάλλευσης κάθε πηγής στο υπολογιστικό σύστημα.

Απάντηση:

Το σχήμα 5.10.1 δίνει την απάντηση.

Πόρος	Δίσκοι 8 GB,2 συστοιχίες	Δίσκοι 8 GB,4 συστοιχίες	Δίσκοι 2 GB,7 συστοιχίες	Δίσκοι 2 GB,13 συστοιχίες
Επεξεργαστής	2%	3%	8%	13%
Μνήμη	11%	17%	39%	67%
Αρτηρία I/O	9%	13%	31%	54%
Αρτηρίες SCSI-2	100%	75%	100%	93%
Δίσκοι	66%	100%	58%	100%
IOPS	1112	1675	3892	6700

Σχήμα 5.10.1 - Το ποσοστό εκμετάλλευσης για κάθε πόρο και μέγιστες τιμές IOPS όσον αφορά στις τέσσερις οργανώσεις του προηγούμενου παραδείγματος. Ο αγωγός SCSI-2 ή οι δίσκοι είναι οι στενωποί κάθε φορά.



Στην πραγματικότητα κανένας πόρος δε μπορεί να λειτουργήσει κοντά στο 100% του εύρους ζώνης του χωρίς να έχουμε σημαντική αύξηση στην καθυστέρηση και μείωση στο ρυθμό διαμεταγωγής λόγω συγκρούσεων. 🌈

📐 Εμπειρικοί κανόνες

Μια ποικιλία εμπειρικών κανόνων έχουν εξελιχθεί για να καθοδηγούν τον σχεδιασμό I/O:

- Καμία αρτηρία I/O δεν πρέπει να αξιοποιείται περισσότερο από 75%
- Καμία συστοιχία δίσκων δεν πρέπει να αξιοποιείται περισσότερο από 40%
- Κανένας βραχίονας δίσκου δεν πρέπει να εκτελεί αναζήτηση για περισσότερο από το 60% του χρόνου.

- Κανένας δίσκος δεν πρέπει να χρησιμοποιείται περισσότερο από το 80% του χρόνου.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Έχουμε 2 διαφορετικά συστήματα I/O που σκοπεύεται να χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία συναλλαγών. Το σύστημα A μπορεί να υποστηρίξει 1000 λειτουργίες I/O το δευτερόλεπτο. Το σύστημα B μπορεί να υποστηρίξει 750 λειτουργίες I/O το δευτερόλεπτο. Τα συστήματα χρησιμοποιούν τον ίδιο επεξεργαστή, που εκτελεί 50 εκατομμύρια εντολές το δευτερόλεπτο. Υποθέστε ότι κάθε συναλλαγή απαιτεί 5 λειτουργίες I/O και ότι κάθε λειτουργία I/O απαιτεί 10,000 εντολές. Αγνοώντας τον χρόνο απόκρισης και θεωρώντας ότι οι συναλλαγές μπορούν αυθαίρετα να επικαλυφθούν, να βρείτε το μέγιστο ρυθμό συναλλαγών ανά δευτερόλεπτο που κάθε συσκευή μπορεί να υποστηρίξει.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 1

Σύστημα A:

5 λειτουργίες I/O εκτελούν 1 συναλλαγή

Αρα, 1000 λειτουργίες I/O 200 συναλλαγές

Δηλαδή υποστηρίζονται μέχρι 200 συναλλαγές / sec.

Σύστημα B:

5 λειτουργίες I/O εκτελούν 1 συναλλαγή

Αρα, 750 λειτουργίες I/O 150 συναλλαγές

Δηλαδή υποστηρίζονται μέχρι 150 συναλλαγές / sec.

Παρατηρήσεις:

Ο επεξεργαστής που χρησιμοποιείται από τα 2 συστήματα μπορεί να υποστηρίξει έως 1000 συναλλαγές / sec.

5*10.000 εντολές εκτελούν 1 συναλλαγή

50.000.000 εντολές εκτελούν 1000 συναλλαγές

Δηλαδή, η ισχύς του επεξεργαστή δεν αξιοποιείται επαρκώς από τα 2 συστήματα, εφόσον αυτά χρησιμοποιούν συνολικά το 35% της μέγιστης απόδοσης του επεξεργαστή.

Ωστόσο, τα παραπάνω αποτελέσματα δεν μπορεί να είναι ρεαλιστικά, καθώς αγνοούνται σημαντικά χαρακτηριστικά των συναλλαγών όπως η αναμονή για είσοδο/έξοδο ή η ταυτόχρονη εκτέλεση διεργασιών από διαφορετικά συστήματα.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Ο χρόνος αναμονής μιας λειτουργίας I/O για τα 2 συστήματα της προηγούμενης δραστηριότητας (1) διαφέρει. Ο χρόνος αναμονής μιας I/O στο σύστημα A είναι ίση με 20 ms, ενώ για το σύστημα B, η καθυστέρηση είναι 18 ms για τις πρώτες 500 I/Os το δευτερόλεπτο και 25 ms ανά I/O για κάθε I/O μεταξύ 500 και 750 I/O το δευτερόλεπτο. Σε φόρτο εργασίας, κάθε δέκατη συναλλαγή εξαρτάται από την άμεσα εκτελούμενη συναλλαγή και πρέπει να περιμένει για την ολοκλήρωσή της. Ποιος είναι ο μέγιστος ρυθμός συναλλαγών που ακόμα επιτρέπουν κάθε συναλλαγή να ολοκληρωθεί σε ένα δευτερόλεπτο και δεν υπερβαίνει το I/O εύρος ζώνης της μηχανής; (Για απλότητα, θεωρείστε ότι όλες οι αιτήσεις συναλλαγών φτάνουν στην αρχή του διαστήματος του 1ου-δευτερολέπτου.)



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 2

Για να εκτελεστεί μια συναλλαγή χρειάζεται 5 I/O ή 50.000 εντολές. Λόγω των χρόνων αναμονής για I/O, ο συνολικός χρόνος για να εκτελεστεί μια συναλλαγή είναι: 100 ms στο σύστημα A,

90 ms στο σύστημα B (για τις πρώτες 500 I/Os το δευτερόλεπτο) και

125 ms (για κάθε I/O μεταξύ 500 και 750 I/O το δευτερόλεπτο)

Ο επεξεργαστής είναι αρκετά ισχυρός ώστε να εξυπηρετεί συναλλαγές και από τα 2 συστήματα παράλληλα. Όλες οι 9 πρώτες συναλλαγές ολοκληρώνονται κανονικά μέσα στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα για κάθε σύστημα. Η δέκατη συναλλαγή που καταφθάνει είναι η 5η του A συστήματος, μετά από 400 ms. Αλλά αυτή δεν μπορεί να εκτελεστεί γιατί πρέπει να περιμένει την 5η εντολή του B συστήματος που ολοκληρώνεται 450 ms. Σε αυτό το χρονικό σημείο έχουν εκτελεστεί 5 συναλλαγές από το σύστημα B και 4 από το πρώτο. Τα ίδια συμβαίνουν για τα υπόλοιπα 450 ms. Άρα στα 900 πρώτα ms έχουν εκτελεστεί 10 συναλλαγές από το σύστημα B και 8 από το A.

Τελικά στη διάρκεια του 1ου sec εκτελούνται συνολικά 11 συναλλαγές για το σύστημα B και 9 από το A. Δηλαδή στη διάρκεια του πρώτου δευτερολέπτου έχουμε: Σύστημα A (IOPS)_{max} = 9 συναλλαγές/sec

Σύστημα B (IOPS)_{max} = 11 συναλλαγές/sec

Ο ρυθμός αυτός παραμένει σχεδόν σταθερός για το A σύστημα με δυνατότητα βελτίωσης κατά μια συναλλαγή το sec, αν δεν χρειάζεται καμία συναλλαγή του να περιμένει για ολοκλήρωση άλλης. Ωστόσο, ο ρυθμός μειώνεται σημαντικά για το δεύτερο σύστημα μετά από 500 συναλλαγές, όπου έχει αυξηθεί ο χρόνος αναμονής κατά 35% (από 18 ms σε 25 ms). Ο μέγιστος ρυθμός συναλλαγών του B συστήματος θα διαμορφωθεί τότε στις 8 συναλλαγές/sec.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Υποθέστε ότι έχουμε ένα σύστημα μνήμης που χρησιμοποιεί ένα ρολόι 50MHz. Η μνήμη μεταδίδει αιτήσεις 8-λέξεων με ρυθμό 1 λέξη ανά κύκλο. Για αναγνώσεις από τη μνήμη, οι προσπελάσεις συμβαίνουν ως εξής:

1. 1 κύκλος να δεχτεί τη διεύθυνση,
2. 3 κύκλους για καθυστέρηση, και
3. 8 κύκλους ρολογιού να μεταδώσει τις 8 λέξεις.

Για εγγραφές στη μνήμη, οι προσπελάσεις συμβαίνουν ως εξής:

1. 1 κύκλος να δεχτεί τη διεύθυνση,
2. 2 κύκλους για καθυστέρηση,
3. 8 κύκλους ρολογιού να μεταδώσει τις 8 λέξεις, και
4. 3 κύκλους να επανορθώσει και να γράψει τον κώδικα διόρθωσης λάθους.

Βρείτε το μέγιστο εύρος ζώνης σε megabytes ανά second για ένα σχέδιο προσπέλασης αποτελούμενο από:

- a. Όλες αναγνώσεις από τη μνήμη.
- b. Όλες εγγραφές στη μνήμη.
- c. Ένα μείγμα από 65% αναγνώσεις από τη μνήμη και 35% εγγραφές στη μνήμη.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 3

Κύκλος ρολογιού = $1 / 50 \text{ MHz} = 0.02 \cdot 10^{-3} \text{ seconds} = 20 \text{ ns}$

a.

Οι χρόνοι για τα αντίστοιχα βήματα ανάγνωσης φαίνονται παρακάτω:

1. 20 ns
2. $3 \cdot 20 \text{ ns}$
3. $8 \cdot 20 \text{ ns}$

Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος είναι 240ns. Αυτό καταλήγει σε ένα μέγιστο εύρος ζώνης των 8 λέξεων για κάθε 240ns, ή $32 \text{ bytes} / 240 \text{ ns} = 32 \text{ MB} / 0.24 \text{ seconds} = 133.3 \text{ MB} / \text{second}$.

b.

Οι χρόνοι για τα αντίστοιχα βήματα εγγραφών φαίνονται παρακάτω:

1. 20 ns
2. $2 \cdot 20 \text{ ns}$
3. $8 \cdot 20 \text{ ns}$
4. $3 \cdot 20$



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 3 (συνέχεια)

Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος είναι 280ns. Αυτό καταλήγει σε ένα μέγιστο εύρος ζώνης των 8 λέξεων για κάθε 280ns, ή $32 \text{ bytes} / 280 \text{ ns} = 32 \text{ MB} / 0.28 \text{ seconds} = 114.28 \text{ MB} / \text{second}$.

(Οι εγγραφές απαιτούν περισσότερα βήματα, άρα ολοκληρώνονται βραδύτερα από τις εγγραφές.)

c.

Αν οι προσβάσεις αποτελούνται τόσο από αναγνώσεις όσο και από εγγραφές με συγκεκριμένες συχνότητες, το μέγιστο εύρος ζώνης θα είναι:

$$(133.3 \text{ MB} / \text{second}) * 65\% + (114.28 \text{ MB} / \text{second}) * 35\% = 126.643 \text{ MB} / \text{second}.$$



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

Θεωρήστε δύο διαφορετικά συστήματα αρτηριών:

Αρτηρία 1 είναι μια αρτηρία πλάτους 64 bits με πολύπλεξη διευθύνσεων και δεδομένων. Για την μετάδοση μιας διεύθυνσης ή ενός αντικειμένου 64 bits χρειάζεται 1 κύκλο αρτηρίας. Η εγγραφή/ανάγνωση μνήμης περιλαμβάνει καθυστέρηση 3 κύκλων. Αρχίζοντας από τον 4ο κύκλο το σύστημα μπορεί να δεχθεί ή να αποστείλει μέχρι 8 λέξεις με ρυθμό 2 λέξεων/κύκλο αρτηρίας.

Αρτηρία 2 είναι μια αρτηρία με ξεχωριστά 32 bits δεδομένων και 32 bits διευθύνσεων. Κάθε μετάδοση χρειάζεται έναν κύκλο αρτηρίας. Η ανάγνωση από τη μνήμη έχει 3 κύκλους καθυστέρηση, και αρχίζοντας από τον 4ο κύκλο, το σύστημα μνήμης μπορεί να αποστείλει μέχρι 8 λέξεις με ρυθμό 1 λέξη/κύκλο αρτηρίας.

α) Να αξιολογήσετε αυτές τις αρτηρίες υποθέτοντας ότι έχουμε αιτήσεις 1 λέξης και το 60% είναι αιτήσεις ανάγνωσης και το 40% είναι αιτήσεις εγγραφής. Στη συνέχεια να υπολογίσετε το μέγιστο εύρος ζώνης που η κάθε αρτηρία μπορεί να παρέχει σε λέξεις/κύκλο αρτηρίας.

β) Αν οι αιτήσεις μνήμης έχουν μήκος 8 λέξεων να υπολογίσετε το μέγιστο πλάτος που κάθε αρτηρία και σύστημα μνήμης μπορεί να παρέχει στον επεξεργαστή, σε λέξεις/κύκλο αρτηρίας.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 4

α)

Αρτηρία 1:

1 λέξη = 32 bit = 4 byte

Για να μεταδοθούν δύο λέξεις απαιτούνται 1αποστολή διεύθυνσης+3 καθυστέρηση+1 μετάδοση= 5 κύκλοι.

Οι διαδικασίες read και write πραγματοποιούνται στους ίδιους κύκλους οπότε το μέγιστο εύρος ζώνης είναι:

8 bytes/5 κύκλους =

2 λέξη/ 5 κύκλους=

0,4 λέξεις/κύκλο

Αρτηρία 2:

Για τη διαδικασία read απαιτούνται 1 αποστολή διεύθυνσης+3 καθυστέρηση+1 μετάδοση = 5 κύκλοι. Άρα μεταδίδονται $1/5=0,2$ (λέξεις/κύκλους).

Για τη διαδικασία write απαιτούνται 1αποστολή διεύθυνσης&μετάδοση + 3καθυστέρηση = 4 κύκλοι. Άρα μεταδίδονται $1/4 =0,25$ (λέξεις/κύκλους).

Κατά μέσο όρο (εύρος ζώνης) και για τις δύο διαδικασίες απαιτούνται $0,6*(1/5) + 0,4*(1/4) = 0,22$ (λέξεις/κύκλο).

β)

Αρτηρία 1

1 λέξη = 32 bit = 4 byte

Για να μεταδοθούν οκτώ λέξεις απαιτούνται 1αποστολή διεύθυνσης+3 καθυστέρηση+4 μετάδοση= 8 κύκλοι.

Οι διαδικασίες read και write πραγματοποιούνται στους ίδιους κύκλους οπότε το μέγιστο εύρος ζώνης είναι: $32 \text{ bytes}/8 \text{ κύκλους} = 8 \text{ λέξεις}/ 8 \text{ κύκλους} = 1 \text{ λέξη}/\text{κύκλο}$

Αρτηρία 2

Για τη διαδικασία read απαιτούνται 1 αποστολή διεύθυνσης+3 καθυστέρηση+8 μετάδοση = 12κύκλοι.

Άρα μεταδίδονται $8/12$ (λέξεις/κύκλους).

Για τη διαδικασία write απαιτούνται 1 αποστολή διεύθυνσης & μετάδοση+3καθυστέρηση+7μετάδοση = 11 κύκλοι. Άρα μεταδίδονται $8/11$ (λέξεις/κύκλους).

Κατά μέσο όρο (εύρος ζώνης) μεταδίδονται $0,6(3/4) + 0,4(8/11)=0,74$ λέξεις/κύκλο.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν...



Μία μεγάλη πρόκληση που αφορά στο σχεδιασμό των συστημάτων Εισόδου/Εξόδου (I/O) είναι να προσπαθήσουμε να ικανοποιήσουμε τα παρακάτω:

- να επιτύχουμε όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος,
- να υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης μεγάλης ποικιλίας συσκευών, και
- να αποφεύγεται η εμφάνιση δυσχερειών στην λειτουργία των συσκευών.



Εξι βήματα πρέπει να ακολουθηθούν στο σχεδιασμό ενός συστήματος I/O.

1. Απαρίθμησε τους διαφορετικούς τύπους συσκευών I/O που πρόκειται να συνδεθούν στη μηχανή, ή τους διάφορους τύπους κοινών αρτηριών τους οποίους θα υποστηρίξει η μηχανή.
2. Απαρίθμησε τις φυσικές απαιτήσεις κάθε συσκευής I/O, συμπεριλαμβάνοντας την ποσότητα, την ισχύ, τις συνδέσεις, τις υποδοχές αρτηρίας και τα κουτιά επέκτασης που χρειάζεται κάθε μία.
3. Απαρίθμησε το κόστος κάθε συσκευής I/O, συμπεριλαμβάνοντας και το κόστος του ελεγκτή που τυχόν να χρειάζεται γι' αυτή τη συσκευή.
4. Κατέγραψε για κάθε συσκευή I/O τις απαιτήσεις των πόρων που θα πρέπει να διαθέσει ο επεξεργαστής
5. Κατέγραψε για κάθε συσκευή I/O τις απαιτήσεις των πόρων που θα πρέπει να διαθέσει η μνήμη και η αρτηρία I/O. Ακόμη και αν ο επεξεργαστής δε χρησιμοποιεί τη μνήμη, το εύρος ζώνης της κύριας μνήμης και της αρτηρίας I/O είναι περιορισμένο.
6. Το τελικό βήμα είναι η εκτίμηση της απόδοσης όλων των διαφορετικών τρόπων οργάνωσης των συσκευών I/O.



Η απόδοση μπορεί να μετρηθεί είτε σε Mb (megabytes) ανά δευτερόλεπτο είτε σε αριθμό λειτουργιών εισόδου/εξόδου ανά δευτερόλεπτο (IOPS), ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής.