

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τμήμα Πληροφορικής

Οργάνωση Η/Υ

Ενότητα 8η: Συσκευές Ε/Ε - Αρτηρίες

Άσκηση 1:

Υπολογίστε το μέσο χρόνο ανάγνωσης ενός τμήματος των 512 bytes σε μια μονάδα σκληρού δίσκου με ταχύτητα περιστροφής δίσκου 5400rpm, μέσο χρόνο αναζήτησης 12ms, και ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 5MB/sec. Ο ελεγκτής του δίσκου επιφέρει πρόσθετη καθυστέρηση 2ms για κάθε προσπέλαση της μονάδας. Υποθέστε ότι αρχικά ο δίσκος είναι ανενεργός. Επαναλάβετε τον παραπάνω υπολογισμό για πραγματικό μέσο χρόνο αναζήτησης 25% του χρόνου που δίνεται.

Απάντηση:

Ο μέσος χρόνος ανάγνωσης από το δίσκο T_r θα ισούται με το άθροισμα του μέσου χρόνου αναζήτησης T_s , του μέσου χρόνου αναμονής T_d , του μέσου χρόνου μεταφοράς T_t και του μέσου χρόνου καθυστέρησης ελεγκτή T_c :

$$T_r = T_s + T_d + T_t + T_c$$

Ο μέσος χρόνος αναζήτησης είναι ο μέσος χρόνος που απαιτείται, ώστε η κεφαλή του δίσκου να μετακινηθεί από τυχαία θέση, σε σημείο πάνω από τον κύκλο όπου βρίσκεται το τμήμα προς ανάγνωση.

Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι ο μέσος χρόνος που απαιτείται μετά το χρόνο αναζήτησης, ώστε με κατάλληλη περιστροφή του δίσκου, η κεφαλή του να βρεθεί στην αρχή του τμήματος προς ανάγνωση. Επειδή για κάθε κύκλο η μέση απόσταση περιστροφής που απαιτείται για να βρεθούμε από κάποιο τυχαίο σημείο του σε κάποιο άλλο είναι μισή περιφέρεια¹, θα έχουμε:

$$T_d = 1/2 \times 1/5400\text{rpm} = 5.6\text{ms}$$

Επειδή ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων είναι 5MB/sec, ο μέσος χρόνος μεταφοράς T_t ενός τμήματος μεγέθους 512 bytes θα είναι:

$$T_t = 0.5\text{KB}/5\text{MB/sec} = 0.1\text{ms}$$

Ο χρόνος καθυστέρησης του ελεγκτή οφείλεται στην καθυστέρηση αυτού από τη στιγμή που θα λάβει κάποια εντολή από την ΚΜΕ μέχρι να τη στείλει στην κεφαλή, καθώς και αντίστροφα, από τη στιγμή που θα αρχίσει να λαμβάνει δεδομένα από την κεφαλή μέχρι να αρχίσει την αποστολή τους προς την ΚΜΕ.

Έτσι, θα έχουμε:

$$T_r = 12\text{ms} + 5.6\text{ms} + 0.1\text{ms} + 2\text{ms} = 19.7\text{ms}$$

Στην πράξη, επειδή η προσπέλαση του δίσκου παρουσιάζει τοπικότητα στις αναφορές, όπως ακριβώς είδαμε και στα υπόλοιπα επίπεδα της ιεραρχίας της μνήμης, είναι πολύ πιθανό μετά από μια προσπέλαση η κεφαλή να παραμείνει πάνω από τον κύκλο στον οποίο θα γίνει η επόμενη προσπέλαση. Έτσι ο πραγματικός μέσος χρόνος αναζήτησης είναι μικρότερος από αυτόν που δίνεται από την εταιρία που κατασκεύασε το δίσκο.

¹ Αυτό προκύπτει με στατιστική ανάλυση του χρόνου αναμονής: Αν χωρίσουμε έναν κύκλο σε $n+1$ τμήματα μήκους δ , τότε ξεκινώντας από ένα τυχαίο τμήμα, η μέση απόσταση περιστροφής R_μ που θα χρειαστούμε για να πάμε σε κάποιο άλλο από τα υπόλοιπα n τμήματα είναι

$$R_\mu = (1/n) \times \sum_{i=1}^n i \times \delta = (1/n) \times \delta \times n \times (n+1) / 2 = 1/2 \times \delta \times (n+1)$$

Εάν ο μέσος χρόνος αναζήτησης είναι μόλις το 25% του χρόνου των 12ms, θα έχουμε:

$$T_r' = 3\text{ms} + 5.6\text{ms} + 0.1\text{ms} + 2\text{ms} = 10.7\text{ms}$$

ο οποίος βέβαια είναι αρκετά πιο μικρός από αυτόν που υπολογίσαμε παραπάνω.

Άσκηση 2:

Θεωρήστε τα πιο κάτω χαρακτηριστικά δύο δικτύων όταν αυτά συνδέονται σε δύο όμοια συστήματα:

<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Δίκτυο A</i>	<i>Δίκτυο B</i>
<i>Ρυθμός Μεταφοράς Δεδομένων</i>	<i>1.125MB/sec</i>	<i>10MB/sec</i>
<i>Καθυστέρηση Διασύνδεσης</i>	<i>15μs</i>	<i>50μs</i>
<i>Καθυστέρηση Υλικού</i>	<i>6μs</i>	<i>6μs</i>
<i>Καθυστέρηση Λογισμικού Αποστολής</i>	<i>200μs</i>	<i>207μs</i>
<i>Καθυστέρηση Λογισμικού Λήψης</i>	<i>241μs</i>	<i>360μs</i>

Βρείτε το συνολικό χρόνο μετάδοσης ενός μηνύματος μεγέθους 250 bytes σε καθένα από τα δύο δίκτυα. Τι παρατηρείτε;

Αν θέλετε να επιτύχετε χρόνο μετάδοσης τουλάχιστον 8 φορές μικρότερο στο δίκτυο με το μεγαλύτερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, πόσο είναι το ελάχιστο μήκος μηνύματος που απαιτείται;

Απάντηση:

Ο ζητούμενος συνολικός χρόνος μετάδοσης T_{tot} θα υπολογίζεται από το άθροισμα των σταθερών χρόνων: (α) καθυστέρησης διασύνδεσης δικτύου, (β) καθυστέρησης υλικού, (γ) καθυστέρησης λογισμικού αποστολής και (δ) καθυστέρησης λογισμικού λήψης, με το χρόνο διάδοσης των δεδομένων. Ο χρόνος διάδοσης των δεδομένων ισούται με το μέγεθος S των δεδομένων διαιρεμένο με το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων R .

Έτσι θα έχουμε:

$$T_{\text{tot}} = T_{\text{σταθ}} + T_{\text{διαδ}} = T_{\text{σταθ}} + S/R$$

με τους σταθερούς χρόνους καθυστέρησης για καθένα από τα δύο δίκτυα:

$$T_{\text{σταθ}}^{(A)} = 15\mu\text{s} + 6\mu\text{s} + 200\mu\text{s} + 241\mu\text{s} = 462\mu\text{s}$$

και

$$T_{\text{σταθ}}^{(B)} = 50\mu\text{s} + 6\mu\text{s} + 207\mu\text{s} + 360\mu\text{s} = 623\mu\text{s}$$

Για μέγεθος δεδομένων $S = 250$ bytes, θα είναι:

$$T_{\text{tot}}^{(A)} = 462\mu\text{s} + 250\text{bytes}/1.125\text{MB/sec} = 684\mu\text{s}$$

και

$$T_{\text{tot}}^{(B)} = 623\mu\text{s} + 250\text{bytes}/10\text{MB/sec} = 648\mu\text{s}$$

Παρατηρούμε από τα παραπάνω ότι αν και το δίκτυο B είναι πάνω από 8 φορές πιο γρήγορο από το A – όσο αφορά το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, ο συνολικός χρόνος μετάδοσης στο A είναι μόλις 1.06 φορές το χρόνο μετάδοσης στο B. Αυτό συμβαίνει επειδή το δίκτυο B έχει υψηλούς σταθερούς χρόνους καθυστέρησης και το μικρό μέγεθος του μηνύματος επιτρέπει στους σταθερούς αυτούς χρόνους να αποτελούν τον καθοριστικό παράγοντα στο συνολικό χρόνο μετάδοσης.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για να έχουμε συνολικό χρόνο μετάδοσης αντιστρόφως ανάλογο της ταχύτητας των δύο δικτύων, έτσι ώστε ο λόγος του συνολικού χρόνου μετάδοσης στα δύο δίκτυα να είναι ίσος με το αντίστροφο του λόγου των αντίστοιχων ρυθμών μεταφοράς δεδομένων, θα πρέπει να έχουμε τόσο μέγεθος μηνύματος, ώστε οι σταθεροί χρόνοι καθυστέρησης να αποτελούν αμελητέα ποσότητα στο συνολικό χρόνο μετάδοσης.

Έτσι, αν θέλουμε ο λόγος του συνολικού χρόνου μετάδοσης στο δίκτυο A προς το συνολικό χρόνο μετάδοσης στο δίκτυο B να είναι τουλάχιστον 8, θα πρέπει:

$$\begin{aligned}
T_{\text{tot}}^{(A)} / T_{\text{tot}}^{(B)} \geq 8 &\Leftrightarrow (T_{\text{σταθ}}^{(A)} + S/R^{(A)}) / (T_{\text{σταθ}}^{(B)} + S/R^{(B)}) \geq 8 \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow T_{\text{σταθ}}^{(A)} \times R^{(A)} \times R^{(B)} + S \times R^{(B)} \geq 8 \times (T_{\text{σταθ}}^{(B)} \times R^{(A)} \times R^{(B)} + S \times R^{(A)}) \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow S \times (R^{(B)} - 8 \times R^{(A)}) \geq R^{(A)} \times R^{(B)} \times (8 \times T_{\text{σταθ}}^{(B)} - T_{\text{σταθ}}^{(A)}) \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow S \geq R^{(A)} \times R^{(B)} \times (8 \times T_{\text{σταθ}}^{(B)} - T_{\text{σταθ}}^{(A)}) / (R^{(B)} - 8 \times R^{(A)}) \Rightarrow \\
&\Rightarrow S \geq 1.125 \times 10 \times (8 \times 623 - 462) / (10 - 8 \times 1.125) \text{ bytes} = 50873 \text{ bytes}
\end{aligned}$$

Άσκηση 3:

Θεωρήστε μια μονάδα σκληρού δίσκου η οποία σε κάθε προσπέλαση μεταφέρει 16 bytes από ή προς τη μνήμη με ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 4MB/sec. Μελετήστε την επίδραση της μονάδας αυτής στη λειτουργία μιας ΚΜΕ 500MHz στις εξής περιπτώσεις:

(α) E/E μέσω προγραμματισμένης E/E με ένα υποπρόγραμμα συνολικού χρόνου 400 κύκλων για κάθε προσπέλαση.

(β) E/E μέσω διακοπών που επιβαρύνουν την ΚΜΕ με 500 κύκλους ανά διακοπή.

(γ) E/E με ΑΠΜ που απαιτεί 1000 κύκλους για την αρχικοποίηση και 500 κύκλους για την ολοκλήρωση της λειτουργίας E/E. Υποθέστε ότι συνολικά μεταφέρονται 8KB πληροφορίας.

Σε κάθε λειτουργία E/E, η μονάδα δίσκου επικοινωνεί με την ΚΜΕ μόνο στο 5% του χρόνου λειτουργίας του συστήματος.

Υπολογίστε για κάθε περίπτωση το ποσοστό του χρόνου της ΚΜΕ που καταναλώνεται για προσπέλαση του δίσκου.

Επαναλάβετε την άσκηση για μια μονάδα ποντικιού, η οποία πρέπει να ελέγχεται 30 φορές το δευτερόλεπτο ώστε να μη χάνεται καμία κίνηση του ποντικιού.

Απάντηση:

Μια βασική διαφορά μεταξύ προγραμματισμένης E/E και E/E μέσω διακοπών είναι η ανάγκη της πρώτης να ελέγχει συνεχώς τη συσκευή E/E, ώστε (α) να μη χάνει καμία πληροφορία που περιμένει για μεταφορά από τη συσκευή προς τη μνήμη, και (β) να ολοκληρωθεί στο συντομότερο δυνατό χρόνο όσο η συσκευή είναι έτοιμη για λήψη δεδομένων από τη μνήμη. Στην περίπτωση της E/E με τη μέθοδο των διακοπών, η συσκευή έχει τη δυνατότητα να ενημερώνει την ΚΜΕ για την ύπαρξη δεδομένων για μεταφορά ή για την ετοιμότητά της για λήψη δεδομένων, διακόπτοντας την κανονική λειτουργία της ΚΜΕ, έτσι ώστε αυτή να εκτελέσει τον κώδικα που θα μεταφέρει την πληροφορία μεταξύ της συσκευής και της μνήμης. Όταν η συσκευή E/E δε είναι έτοιμη για αποστολή ή για λήψη δεδομένων, η ΚΜΕ δεν επιβαρύνεται με την E/E.

Με βάση τα παραπάνω, από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί μια διαδικασία επικοινωνίας με το δίσκο, η προγραμματισμένη E/E θα επαναλαμβάνει τον έλεγχο του δίσκου συνεχώς μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας E/E, με τη συχνότητα ελέγχου που απαιτείται ώστε να μη χαθεί ούτε πληροφορία ούτε χρόνος. Από την άλλη μεριά, η E/E μέσω διακοπών θα επιφέρει διακοπές στην ΚΜΕ μόνο στο 5% της διάρκειας της συνολικής επικοινωνίας με το δίσκο, επειδή στο υπόλοιπο του χρόνου ο δίσκος δε θα είναι έτοιμος για E/E, καθώς θα είναι απασχολημένος με άλλες λειτουργίες, όπως για παράδειγμα αναζήτηση και αναμονή.

Στην περίπτωση της προγραμματισμένης E/E η συχνότητα ελέγχου $R^{(\text{προγ})}$ που απαιτείται θα ισούται με το πηλίκο του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων προς την ποσότητα πληροφορίας που μεταφέρεται με κάθε έλεγχο:

$$R^{(\text{προγ})} = 4\text{MB/sec} / 16\text{bytes} = 250\text{K φορές ανά δευτερόλεπτο}$$

Με χρονική επιβάρυνση της ΚΜΕ ίση με 400 κύκλους για κάθε έλεγχο και συχνότητα ΚΜΕ 500MHz, η ποσοστιαία επιβάρυνση $F^{(\text{προγ})}$ της ΚΜΕ για E/E με το δίσκο θα είναι:

$$F^{(\text{προγ})} = 100\% \times R^{(\text{προγ})} \times 400\text{κύκλοι} / 500\text{MHz} = 100\% \times 250\text{K} \times 400 / 500\text{M} = 20\%$$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι το ένα πέμπτο του χρόνου της ΚΜΕ καταναλώνεται στη διαδικασία E/E με το δίσκο.

Στην περίπτωση της E/E με διακοπές η συχνότητα διακοπών $R^{(\text{διακ})}$ θα ισούται με το 5% της πιο πάνω συχνότητας ελέγχου, επειδή η μονάδα δίσκου είναι έτοιμη για προσπέλαση μόνο στο 5% του συνολικού χρόνου λειτουργίας της. Όταν ο δίσκος είναι έτοιμος, η συχνότητα διακοπών είναι ίδιος με τη συχνότητα ελέγχου της προγραμματισμένης E/E, ώστε να μην έχουμε απώλεια ούτε δεδομένων αλλά ούτε και ούτε χρόνου. Έτσι:

$$R^{(\text{διακ})} = 5\% \times R^{(\text{προγ})} = 12.5\text{K φορές ανά δευτερόλεπτο}$$

Συνεπώς:

$$F^{(\text{διακ})} = 100\% \times R^{(\text{διακ})} \times 500\text{κύκλοι} / 500\text{MHz} = 100\% \times 12.5\text{K} \times 500 / 500\text{M} = 1.25\%$$

Όταν η μονάδα δίσκου έχει δυνατότητα άμεσης προσπέλασης μνήμης, η ποσοστιαία επιβάρυνση της ΚΜΕ είναι ακόμα μικρότερη. Πιο συγκεκριμένα, η ΚΜΕ επιβαρύνεται μόνο με τους χρόνους αρχικοποίησης και ολοκλήρωσης της διαδικασίας E/E², που είναι 1500 κύκλοι. Ο συνολικός χρόνος E/E επικοινωνίας του δίσκου με τη μνήμη θα ισούται με το πηλίκο της συνολικής ποσότητας πληροφορίας που μεταφέρεται προς το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, ενώ ο συνολικός χρόνος E/E για τη συγκεκριμένη διαδικασία E/E θα είναι ο χρόνος επικοινωνίας προς το ποσοστό 5% που αποτελεί ο χρόνος αυτός στο συνολικό χρόνο E/E. Έτσι:

$$T_{E/E}^{(\text{ΑΠΜ})} = 1/0.05 \times 8\text{KB} / 4\text{MB/sec} = 40\text{ms}$$

Η επιβάρυνση της ΚΜΕ στο διάστημα αυτό είναι μόνο 1500 κύκλοι, ή ποσοστιαία:

$$F^{(\text{ΑΠΜ})} = 100\% \times 1500 / (500\text{MHz} \times 40\text{ms}) = 0.075\%$$

που είναι κατά πολύ μικρότερη των προηγούμενων τιμών που υπολογίσαμε.

Γενικά η προγραμματισμένη E/E επιβαρύνει πολύ την ΚΜΕ για συσκευές με υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, επειδή αυτές πρέπει να ελέγχονται πολύ συχνά. Ακόμα και η μέθοδος των διακοπών επιφέρει μη αμελητέα καθυστέρηση στις υπόλοιπες λειτουργίες της ΚΜΕ, όταν η ΚΜΕ είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά των δεδομένων από και προς τη μνήμη. Μόνο με τη βοήθεια της ΑΠΜ η επιβάρυνση της ΚΜΕ μειώνεται τόσο, ώστε να μη γίνεται ουσιαστικά αισθητή.

Σε μια συσκευή όπως το ποντίκι, που είναι μια πολύ αργή συσκευή, για να μη χάνεται καμία κίνηση αυτής, αρκεί ένας ρυθμός ελέγχου 30 φορές το δευτερόλεπτο. Ο ρυθμός αυτός είναι πολύ μικρός για μια ΚΜΕ ταχύτητας 500MHz. Έτσι η αντίστοιχη επιβάρυνση της ΚΜΕ για προγραμματισμένη E/E θα είναι:

$$F^{(\text{προγ})} = 100\% \times R^{(\text{προγ})} \times 400\text{κύκλοι} / 500\text{MHz} = 100\% \times 30 \times 400 / 500\text{M} = 0.002\%$$

Επειδή το ποντίκι δε χρησιμοποιείται συνεχώς, η μέθοδος E/E με διακοπές θα δώσει ακόμα πιο χαμηλό ποσοστό επιβάρυνσης της ΚΜΕ. Συνεχής μετακίνηση του ποντικιού θα δίνει ρυθμό διακοπών ίσο με το ρυθμό ελέγχων της προγραμματισμένης E/E με ποσοστιαία επιβάρυνση της ίδιας τάξης με την πιο πάνω. Από την άλλη πλευρά, επειδή το ποντίκι δεν είναι συσκευή αποθήκευσης, η χρήση ΑΠΜ για την επικοινωνία αυτού με τη μνήμη δεν έχει νόημα, καθώς η αρχικοποίηση και η ολοκλήρωση της επικοινωνίας αυτής θα έπρεπε να γίνεται με κάθε μετακίνηση του ποντικιού, και επομένως η επιβάρυνση της ΚΜΕ θα ήταν μεγαλύτερη από την επιβάρυνση της μεθόδου των διακοπών.

Άσκηση 4:

Βρείτε το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε μια αρτηρία επεξεργαστή-μνήμης για ανάγνωση από τη μνήμη στις ακόλουθες περιπτώσεις:

(α) Η αρτηρία είναι σύγχρονη με κύκλο 50ns, όταν κάθε μεταφορά στην αρτηρία απαιτεί χρόνο ενός κύκλου.

(β) Η αρτηρία είναι ασύγχρονη με χρόνο χειραψίας 40ns.

² Στην πραγματικότητα η ΚΜΕ επιβαρύνεται με την απώλεια κύκλων από αδυναμία χρήσης της μνήμης και της αρτηρίας που συνδέει την ΚΜΕ με τον ελεγκτή ΑΠΜ, όσο χρόνο διαρκεί η ΑΠΜ. Η αντιμετώπιση της πρώτης περίπτωσης γίνεται με τη χρήση κρυφής μνήμης για την προσπέλαση της μνήμης από την ΚΜΕ, ενώ η δεύτερη περίπτωση δημιουργεί σπάνια πρόβλημα και δεν την εξετάζουμε.

Και στις δύο περιπτώσεις η αρτηρία έχει 32 γραμμές δεδομένων και ανεξάρτητες γραμμές διευθύνσεων. Κάθε προσπέλαση γίνεται για λέξεις των 32 bits. Ο χρόνος ανάγνωσης της μνήμης είναι 200ns ανά λέξη.

Εάν τώρα η προσπέλαση στη μνήμη γίνεται για μπλοκ των 8 λέξεων, έτσι ώστε μετά την πρώτη, κάθε επόμενη λέξη του μπλοκ να διαβάζεται σε 20ns, βρείτε πάλι το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων σε κάθε μία από τις πιο πάνω αρτηρίες.

Απάντηση:

Σε μια σύγχρονη αρτηρία η επικοινωνία μεταξύ δύο μονάδων που συνδέονται μεταξύ τους μέσω αυτής γίνεται σε προκαθορισμένους κύκλους του κοινού ρολογιού των μονάδων. Έτσι για μια σύγχρονη αρτηρία κύκλου 50ns η προσπέλαση της μνήμης για ανάγνωση γίνεται ως εξής:

1. Αποστολή διεύθυνσης προσπέλασης: Η ΚΜΕ τοποθετεί στην αρτηρία τη διεύθυνση προσπέλασης, ενώ ταυτόχρονα ενεργοποιεί όποια σήματα ελέγχου απαιτούνται για την προσπέλαση. Η μνήμη αντιλαμβάνεται τα σήματα ελέγχου και παραλαμβάνει τη διεύθυνση σε χρόνο ενός κύκλου της αρτηρίας, δηλαδή σε 50ns.
2. Ανάγνωση της μνήμης και αποστολή δεδομένων στην ΚΜΕ: Η μνήμη ολοκληρώνει την ανάγνωση και τοποθετεί στην αρτηρία τη λέξη που διάβασε στον προκαθορισμένο κύκλο μετά την παραλαβή της διεύθυνσης, σε χρόνο δηλαδή τόσων κύκλων, όσων απαιτούνται για να καλυφτεί ο χρόνος ανάγνωσης των 200ns.
3. Ολοκλήρωση προσπέλασης: Η ΚΜΕ παραλαμβάνει τη λέξη από την αρτηρία μετά από έναν ακόμα κύκλο, δηλαδή σε 50ns, και απενεργοποιεί τα σήματα ελέγχου. Ταυτόχρονα η μνήμη απελευθερώνει την αρτηρία.

Ο συνολικός χρόνος προσπέλασης θα είναι επομένως:

$$T_1^{(\text{σύγχρονη})} = 50\text{ns} + 4 \times 50\text{ns} + 50\text{ns} = 300\text{ns}$$

και ο αντίστοιχος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων:

$$B_1^{(\text{σύγχρονη})} = 1\text{λέξη} / T_1^{(\text{σύγχρονη})} = 4\text{bytes} / 300\text{ns} = 13.3\text{MB/sec}$$

Σε μια ασύγχρονη αρτηρία η επικοινωνία μεταξύ δύο μονάδων που συνδέονται μεταξύ τους μέσω αυτής γίνεται με τη βοήθεια ειδικού πρωτοκόλλου που περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα βήματα χειραψίας. Μια χειραψία εκτελείται από ένα ζεύγος σημάτων, από τα οποία το δεύτερο λειτουργεί σαν απάντηση στο πρώτο. Η χειραψία δεν είναι απαραίτητο να γίνεται με ειδικά σήματα «Απαίτηση» και «Αναγνώριση», αλλά μπορεί να γίνει με οποιαδήποτε δύο σήματα που ενεργοποιούνται από τις μονάδες που επικοινωνούν. Για την περίπτωση της ασύγχρονης αρτηρίας επεξεργαστή-μνήμης με χρόνο χειραψίας 40ns η προσπέλαση της μνήμης για ανάγνωση, σύμφωνα με το πρωτόκολλο που είδαμε στο μάθημα, γίνεται ως εξής:

1. Αποστολή διεύθυνσης προσπέλασης³: Η ΚΜΕ τοποθετεί στην αρτηρία τη διεύθυνση προσπέλασης, ενεργοποιεί τα σήματα ελέγχου για ανάγνωση μνήμης και ενεργοποιεί το σήμα απαίτησης προσπέλασης. Η μνήμη ανιχνεύει το σήμα απαίτησης προσπέλασης, εξετάζει τα σήματα ελέγχου και παραλαμβάνει τη διεύθυνση. Η χειραψία δεν ολοκληρώνεται τώρα, επειδή αυτό μπορεί να γίνει με την ολοκλήρωση της ανάγνωσης, αλλά ο χρόνος αυτής της φάσης θα αντιστοιχεί στο χρόνο χειραψίας των 40ns.
2. Ανάγνωση της μνήμης και αποστολή δεδομένων στην ΚΜΕ: Η μνήμη εκτελεί τη λειτουργία ανάγνωσης. Με την τοποθέτηση στην αρτηρία της λέξης που διαβάστηκε, ενεργοποιείται και το σήμα αναγνώρισης της απαίτησης προσπέλασης⁴, ώστε η ΚΜΕ να ενη-

³ Αν είχαμε και άλλες – εκτός της ΚΜΕ – μονάδες που να μπορούν να απαιτήσουν προσπέλαση στη μνήμη, θα έπρεπε να είχαμε μια φάση διατησίας για την απόκτηση της αρτηρίας. Στην περίπτωσή μας αυτό δεν είναι απαραίτητο, και γι' αυτό η επικοινωνία ξεκινάει απ' ευθείας με την αποστολή της διεύθυνσης προσπέλασης.

⁴ Αν δεν είχαμε ξεχωριστές γραμμές διευθύνσεων και δεδομένων, η αναγνώριση της απαίτησης προσπέλασης θα γινόταν με τη λήψη της διεύθυνσης, ώστε στη συνέχεια η ΚΜΕ να απελευθερώσει την αρτηρία. Σε μια τέτοια περίπτωση θα απαιτείτο ανεξάρτητο σήμα «Έγκυρα Δεδομένα» με ενεργοποίη-

- μερωθεί τόσο για τη λήψη της απαίτησης προσπέλασης, όσο και για την ολοκλήρωση της ανάγνωσης. Ο χρόνος που απαιτείται για το βήμα ανάγνωσης της μνήμης θα είναι 200ns.
3. Παραλαβή δεδομένων από την ΚΜΕ: Η ΚΜΕ παραλαμβάνει από την αρτηρία τη λέξη που διαβάστηκε, απενεργοποιεί τα σήματα ελέγχου προσπέλασης και απενεργοποιεί το σήμα απαίτησης προσπέλασης. Η απενεργοποίηση του τελευταίου αποτελεί απάντηση στην ενεργοποίηση του σήματος αναγνώρισης από τη μνήμη, και γίνεται σε χρόνο 40ns.
 4. Ολοκλήρωση προσπέλασης: Η μνήμη απενεργοποιεί το σήμα αναγνώρισης σε απάντηση της απενεργοποίησης του σήματος απαίτησης, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνει την αρτηρία. Η τελευταία αυτή χειραψία απαιτεί ακόμα 40ns.

Ο συνολικός χρόνος προσπέλασης θα είναι επομένως:

$$T_1^{(ασύγχρονη)} = 40ns + 200ns + 40ns + 40ns = 320ns$$

και ο αντίστοιχος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων:

$$B_1^{(ασύγχρονη)} = 1\text{λέξη} / T_1^{(ασύγχρονη)} = 4\text{bytes} / 320ns = 12.5\text{MB/sec}$$

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι ακόμα κι αν ο χρόνος χειραψίας της ασύγχρονης αρτηρίας είναι μικρότερος του χρόνου κύκλου της σύγχρονης αρτηρίας, ο συνολικός χρόνος προσπέλασης είναι μεγαλύτερος στην πρώτη, επειδή η ασύγχρονη επικοινωνία απαιτεί πολλές χειραψίες για την ολοκλήρωσή της.

Όταν η προσπέλαση της μνήμης δε γίνεται για μία λέξη, αλλά για ένα μπλοκ 8 λέξεων, η μνήμη, με την πρώτη μόνο διεύθυνση προσπέλασης, επιστρέφει στην ΚΜΕ διαδοχικά τις 8 λέξεις που αντιστοιχούν στις 8 διαδοχικές διευθύνσεις του μπλοκ. Η ανάγνωση κάθε λέξης του μπλοκ μετά την πρώτη δε χρειάζεται κάποια νέα διεύθυνση, κι επομένως η διαδικασία ανάγνωσης γίνεται πολύ σύντομη.

Στη σύγχρονη αρτηρία, η αποστολή και παραλαβή μιας λέξης γίνεται συγχρονισμένα στα δύο άκρα της αρτηρίας. Με την τοποθέτηση στην αρτηρία μιας λέξης από τη μνήμη, είναι βέβαιο ότι με το τέλος του κύκλου η λέξη θα έχει παραληφτεί από την ΚΜΕ. Έτσι, η επόμενη λέξη μπορεί να τοποθετηθεί στην αρτηρία αμέσως μόλις αυτή διαβαστεί. Αν μάλιστα ο χρόνος ανάγνωσης διαδοχικών λέξεων είναι μικρότερος από το χρόνο κύκλου της αρτηρίας, κάθε λέξη μετά την πρώτη θα έχει διαβαστεί μέχρι η προηγούμενη να παραληφτεί από την ΚΜΕ, κι επομένως θα μπορεί να τοποθετηθεί στην αρτηρία στον αμέσως επόμενο κύκλο.

Επειδή για την περίπτωση μας η ανάγνωση των δεδομένων μετά την πρώτη λέξη γίνεται σε μόνο 20ns ανά λέξη, ενώ ο χρόνος κύκλου της αρτηρίας είναι 50ns, συμπεραίνουμε ότι η παραλαβή των 8 λέξεων από την ΚΜΕ θα γίνει σε 8 διαδοχικούς κύκλους.

Επομένως:

$$T_8^{(σύγχρονη)} = 50ns + 4 \times 50ns + 8 \times 50ns = 650ns$$

$$B_8^{(σύγχρονη)} = 8\text{λέξεις} / T_8^{(σύγχρονη)} = 32\text{bytes} / 650ns = 49.23\text{MB/sec}$$

Στην ασύγχρονη αρτηρία από την άλλη μεριά, η αποστολή και παραλαβή κάθε λέξης πρέπει να συνοδεύεται από τις αντίστοιχες χειραψίες. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας για μεταφορά μπλοκ των 8 λέξεων πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα, ώστε με κάθε αναγνώριση της λήψης μιας λέξης από την ΚΜΕ, η μνήμη να μπορεί να τοποθετήσει την επόμενη λέξη πάνω στην αρτηρία. Έτσι οι διαδοχικές χειραψίες μεταξύ ΚΜΕ και μνήμης θα υλοποιούνται με αλλαγή επιπέδου στα σήματα απαίτησης προσπέλασης και αναγνώρισης λήψης 8 φορές μετά την ανάγνωση της πρώτης λέξης. Μ' άλλα λόγια απαιτούνται δύο χειραψίες για κάθε λέξη του μπλοκ, και ο συνολικός χρόνος και ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων θα είναι:

$$T_8^{(ασύγχρονη)} = 40ns + 200ns + 8 \times (40ns + 40ns) = 880ns$$

$$B_8^{(ασύγχρονη)} = 8\text{λέξεις} / T_8^{(ασύγχρονη)} = 32\text{bytes} / 880ns = 36.36\text{MB/sec}$$

ση από τη μνήμη, όταν τα δεδομένα θα ήταν έτοιμα για αποστολή στην ΚΜΕ, και ως εκ τούτου νέα χειραψία με το σήμα αυτό και επακόλουθη ενεργοποίηση του σήματος αναγνώρισης από την ΚΜΕ.