

## 4 ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΜΕ

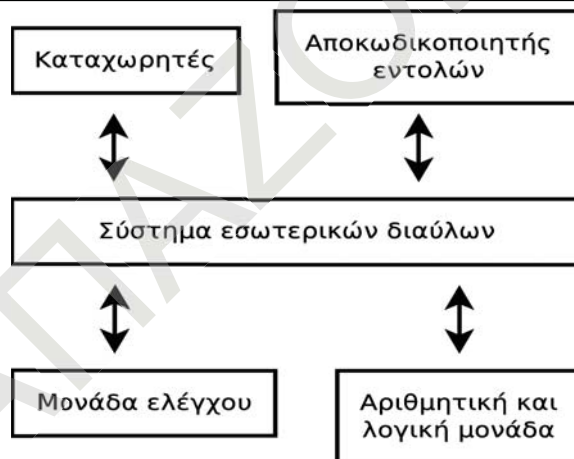
### ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- Η παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (ΚΜΕ)
- Η γνωριμία με τις βασικές λειτουργικές συνιστώσες της ΚΜΕ
- Η ανάλυση της σημασίας και της λογικής των καταχωρητών συγκριτικά με την αποθήκευση στην κεντρική μνήμη

### 4.1 Εισαγωγή

Η αποστολή της ΚΜΕ είναι η εκτέλεση των εντολών του προγράμματος. Μια κλασική ΚΜΕ είναι σχεδιασμένη για να εκτελεί μια εντολή κάθε φορά. Το σχήμα 1.3 δείχνει σε μπλοκ διάγραμμα τα βασικά συστατικά που συνθέτουν μια ΚΜΕ.

Σχήμα 1.3 Βασικά συστατικά της ΚΜΕ



Στις πιο σύγχρονες ΚΜΕ ορισμένα συστατικά είναι πολλαπλά με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα για ταυτόχρονη εκτέλεση εντολών (π.χ. περίπτωση πολλαπλών πυρήνων). Στη δική μας περίπτωση εστιάζουμε την προσοχή μας στην εκτέλεση μιας εντολής που αντιπροσωπεύει τη φιλοσοφία σχεδιασμού στην οποία βασίζονται και οι αντίστοιχες παραλλαγές.

## 4.2 Βασικά δομικά στοιχεία

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν οι δομικές μονάδες της ΚΜΕ σε μπλοκ διάγραμμα. Κάθε μονάδα υλοποιεί διαφορετική λειτουργία αλλά όλες μαζί αλληλεπιδρούν για την εκτέλεση των εντολών. Πιο αναλυτικά, οι βασικές μονάδες είναι:

**Καταχωρητές.** Είναι περιοχές προσωρινής αποθήκευσης με συγκεκριμένη ονομασία και χωρητικότητα ενώ υλοποιούνται με συγκεκριμένα ψηφιακά κυκλώματα. Κάθε ΚΜΕ ανάλογα με την αρχιτεκτονική της διαθέτει διαφορετικό πλήθος καταχωρητών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ. χωρητικότητα σε bit). Η χρήση των καταχωρητών είναι υποχρεωτική σε κάθε ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ κύριας μνήμης και ΚΜΕ. Οι εντολές κάθε προγράμματος φιλοξενούνται στην κεντρική μνήμη και αυτό σημαίνει ότι η εκτέλεση μιας εντολής προϋποθέτει τη μεταφορά δεδομένων από την κεντρική μνήμη στην ΚΜΕ και το αντίστροφο (όταν πρέπει να αποθηκευτούν τα αποτελέσματα). Η πρόσθεση δύο αριθμών για παράδειγμα, προϋποθέτει την αντιγραφή τους (από την κεντρική μνήμη) σε δύο καταχωρητές, την εκτέλεση της πράξης από την αριθμητική και λογική μονάδα, την αποθήκευση του αποτελέσματος σε καταχωρητή και τέλος την αντιγραφή στην κεντρική μνήμη ώστε το αποτέλεσμα να είναι διαθέσιμο στο πρόγραμμα.

Οι καταχωρητές της ΚΜΕ χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Γενικής χρήσης (GX)
- Ειδικής χρήσης (EX)

Οι καταχωρητές GX είναι διαθέσιμοι (προσπελάσιμοι) στον προγραμματιστή και εμπλέκονται σχεδόν σε όλες τις εντολές που εκτελούνται. Για παράδειγμα, για να εκτελεστεί μια εντολή πρόσθεσης των αριθμών 5 και 8 θα πρέπει το 5 και το 8 να μεταφερθούν σε καταχωρητές GX της ΚΜΕ. Επίσης, στις περισσότερες ΚΜΕ υπάρχει ένας καταχωρητής GX που ονομάζεται και συσσωρευτής. Ο καταχωρητής αυτός έχει περισσότερες ιδιότητες από τους υπόλοιπους της κατηγορίας όπως το ότι υποστηρίζει περισσότερες πράξεις.

Από την άλλη μεριά, οι καταχωρητές EX χρησιμοποιούνται κυρίως από την ΚΜΕ και πολλές φορές δεν είναι ορατοί στον προγραμματιστή. Ορισμένοι καταχωρητές EX της ΚΜΕ, είναι:

- **Μετρητής προγράμματος.** Δείχνει τη διεύθυνση της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί.

- **Καταχωρητής κατάστασης.** Αποτελείται από bit ανεξάρτητα μεταξύ τους τα οποία αντιπροσωπεύουν διαφορετική πληροφορία. Μερικά από αυτά τα bit συμβολίζονται V, Z, S, κλπ και αντιπροσωπεύουν την ανίχνευση υπερχειλίσης, μηδενικού αποτελέσματος πράξης, ύπαρξη προσήμου, κλπ. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα bit αυτά ενεργοποιούνται από την αριθμητική και λογική μονάδα (ΑΛΜ).
- **Καταχωρητής εντολής.** Φιλοξενεί τον κώδικα της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί.
- **Προσωρινοί καταχωρητές ΑΛΜ.** Υποδέχονται τα ορίσματα μεταξύ των οποίων θα εκτελεστεί η επιλεγμένη πράξη και φιλοξενούν το αποτέλεσμα πριν αποθηκευτεί σε καταχωρητές ΓΧ.

**Αριθμητική και λογική μονάδα (ΑΛΜ).** Αυτή η μονάδα εκτελεί αριθμητικές (π.χ.  $1+1=2$ ) και λογικές (π.χ.  $1 \text{ and } 1=1$ ) πράξεις. Μια τυπική μονάδα εκτελεί πράξεις μεταξύ δύο αριθμών κάθε φορά. Η διαφοροποίηση των αντίστοιχων μονάδων σε διαφορετικές ΚΜΕ βασίζεται στο υποστηριζόμενο είδος πράξεων και στο εύρος σε bit των αριθμών που θα χρησιμοποιηθούν.

**Αποκωδικοποιητής εντολών.** Οι εντολές και τα αντίστοιχα δεδομένα του προγράμματος υπό εκτέλεση φιλοξενούνται στη μνήμη. Η εκτέλεση μιας εντολής του προγράμματος από την ΚΜΕ προϋποθέτει ότι η λειτουργία της εντολής είναι γνωστή. Για να γίνει αυτό, ο κώδικας της εντολής μεταφέρεται από τη μνήμη στην ΚΜΕ όπου και αποκωδικοποιείται ώστε να γνωρίζει η ΚΜΕ ποια λειτουργία να υλοποιήσει.

**Μονάδα ελέγχου.** Η μονάδα αυτή παράγει τα κατάλληλα σήματα ώστε να επιτευχθεί ο συντονισμός της λειτουργίας των εσωτερικών μονάδων προκειμένου να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια, καθορίζει τη σειρά των ενεργειών που θα πρέπει να λάβει χώρα ώστε να εκτελεστεί μια εντολή.

**Σύστημα εσωτερικών διαύλων.** Η αλληλεπίδραση των εσωτερικών μονάδων της ΚΜΕ προϋποθέτει την ανταλλαγή και τη μεταφορά δεδομένων. Αυτές οι λειτουργίες πραγματοποιούνται μέσω του εσωτερικού συστήματος διαύλων.

### 4.3 Καταχωρητές εναντίον μεταβλητών

Παρά το γεγονός ότι οι καταχωρητές έχουν πολύ ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και είναι υλοποιημένοι στο εσωτερικό της ΚΜΕ, οι περισσότεροι φοιτητές δεν κατανοούν απόλυτα τη διαφοροποίησή τους από τις κλασικές μεταβλητές που ορίζει ο προγραμματιστής σε μια γλώσσα υψηλού επιπέδου. Οι βασικές και ουσιαστικές διαφορές μεταξύ καταχωρητών και μεταβλητών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1 Διαφορές καταχωρητών-μεταβλητών	
Καταχωρητές	Μεταβλητές
Υλοποιούνται στην ΚΜΕ	Υλοποιούνται στην Κεντρική μνήμη
Υπάρχει συγκεκριμένο κύκλωμα για κάθε καταχωρητή	Γίνεται χρήση κυκλωμάτων αποθήκευσης γενικής χρήσης. Δεν υπάρχει συγκεκριμένο κύκλωμα για την αποθήκευση.
Αποτελούν χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής	Αποτελούν στοιχείο των προγραμμάτων που αναπτύσσονται
Έχουν συγκεκριμένη ονομασία	Δεν υπάρχει περιορισμός στην ονομασία (μόνο από τους κανόνες της εκάστοτε γλώσσας προγραμματισμού)
Έχουν περιορισμένο πλήθος	Το πλήθος τους περιορίζεται κυρίως από τη διαθέσιμη μνήμη
Αποτελούν απαραίτητη γνώση για τον προγραμματιστή assembly	Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ο κλασικός προγραμματιστής δεν εμπλέκεται με τους καταχωρητές

Για τη διευκόλυνση του προγραμματιστή assembly ορισμένοι assembler (μετατρέπουν το πρόγραμμα assembly σε γλώσσα μηχανής) δίνουν τη δυνατότητα χρήσης μεταβλητών εντός των προγραμμάτων. Έτσι, σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση καταχωρητών και μεταβλητών ταυτόχρονα. Στην πραγματικότητα όμως οτιδήποτε είναι αποθηκευμένο σε μεταβλητή μεταφέρεται υποχρεωτικά σε καταχωρητή ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση της αντίστοιχης εντολής από την ΚΜΕ.

## Περίληψη κεφαλαίου

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ) αποτελεί την καρδιά ενός υπολογιστικού συστήματος αφού αναλαμβάνει την εκτέλεση των εντολών κάθε ενεργού προγράμματος.

Σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρήθηκε να δοθεί μια γενική εικόνα για την ΚΜΕ χωρίς να κουράζει τον αναγνώστη με πολλές λεπτομέρειες. Η δομημένη ανάλυση της λειτουργίας των κυκλωμάτων της ΚΜΕ παρουσιάζεται σταδιακά στα επόμενα κεφάλαια της ενότητας.

Η ΚΜΕ απαρτίζεται από ορισμένες βασικές δομικές μονάδες όπως οι καταχωρητές, η αριθμητική και λογική μονάδα, η μονάδα ελέγχου και ο αποκωδικοποιητής.

Στο ίδιο κεφάλαιο έγινε και ένας σαφής λειτουργικός και εννοιολογικός διαχωρισμός μεταξύ των καταχωρητών που αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο της αρχιτεκτονικής και των μεταβλητών που συναντά συνήθως ένας κλασικός προγραμματιστής.

## ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**Άσκηση 1** Να αναφέρετε τη γενική λειτουργία των βασικών μονάδων της ΚΜΕ.

### Λύση

Η αριθμητική και λογική μονάδα (ΑΛΜ) εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις αντίστοιχα. Υποστηρίζει αριθμητικές πράξεις όπως πρόσθεση και λογικές όπως το λογικό OR.

Οι καταχωρητές φιλοξενούν αριθμητικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται από τις άλλες μονάδες της ΚΜΕ όπως η ΑΛΜ. Υλοποιούνται με συγκεκριμένα ψηφιακά κυκλώματα, έχουν περιορισμένη χωρητικότητα, καθορισμένη ονομασία και δρουν ως ενδιάμεσες περιοχές για την ανταλλαγή δεδομένων από και προς την κεντρική μνήμη του συστήματος.

Ο αποκωδικοποιητής εντολών αποκωδικοποιεί τον κώδικα που έχει μεταφερθεί από τη μνήμη ώστε να είναι δυνατή η αντίστοιχη εκτέλεση της εντολής.

Τέλος, η μονάδα ελέγχου συντονίζει κατά μια έννοια την εσωτερική αλληλεπίδραση των υπομονάδων για την εκτέλεση των εντολών παράγοντας τα κατάλληλα σήματα.

**Άσκηση 2** Προσπαθήστε να περιγράψετε με απλά βήματα τη διαδικασία εκτέλεσης στο εσωτερικό της ΚΜΕ μιας εντολής της μορφής  $\text{Count}=\text{Count}+\text{var1}$

#### Λύση

- (1) Το περιεχόμενο των  $\text{Count}$  και  $\text{var1}$  αντιγράφεται σε καταχωρητές ΓΧ (π.χ. A και B)
- (2) Μέσω του εσωτερικού διαύλου δεδομένων, αντίγραφο των A και B μεταφέρεται στις εισόδους της ΑΛΜ
- (3) Η ΑΛΜ πραγματοποιεί την πρόσθεση
- (4) Το αποτέλεσμα μεταφέρεται μέσω του εσωτερικού διαύλου στον καταχωρητή A
- (5) Το αποτέλεσμα είναι πλέον διαθέσιμο για να επιστραφεί στη μνήμη όπου τελικά μέσω της μεταβλητής  $\text{Count}$  θα είναι διαθέσιμο στο πρόγραμμα

**Άσκηση 3** Αν κάθε καταχωρητής της ΚΜΕ είναι 8 bit και πρόκειται να εκτελεστεί η εντολή  $\text{Count}=\text{var1}+\text{var2}$ , ποιο είναι το επιτρεπτό εύρος τιμών των  $\text{var1}$  και  $\text{var2}$ ;

#### Λύση

Εφόσον το αποτέλεσμα της πρόσθεσης αποθηκευτεί αποκλειστικά σε ένα μόνο καταχωρητή, το άθροισμα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το αντίστοιχο εύρος τιμών. Για ένα καταχωρητή των 8bit το επιτρεπόμενο εύρος τιμών είναι  $[0,255]$  εφόσον φυσικά οι αριθμοί δεν είναι προσημασμένοι. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι τα  $\text{var1}+\text{var2}$  δεν θα πρέπει να δίνουν άθροισμα μεγαλύτερο από 255.

Αν τα var1 και var2 έχουν τη μέγιστη δυνατή τιμή (στα 8bit) 255, τότε το άθροισμα θα είναι  $255+255=510$  το οποίο απαιτεί 9bit για να αποτυπωθεί ( $2^9=512$ ).

Στις περισσότερες περιπτώσεις προγραμματισμού σε υψηλό επίπεδο (π.χ. C), ο προγραμματιστής δεν ασχολείται με τις λεπτομέρειες υλοποίησης σε επίπεδο αρχιτεκτονικής. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα φροντίζει αυτόματα τη «μετατροπή» των αριθμητικών δεδομένων ώστε να αξιοποιούνται ακόμα και ομάδες καταχωρητών προκειμένου να είναι δυνατή η εκτέλεση των πράξεων.

**Άσκηση 4** Αν κάθε καταχωρητής της ΚΜΕ είναι 8 bit και το αποτέλεσμα μιας πρόσθεσης απαιτεί 12 bit ποια λύση προτείνετε ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα;

#### Λύση

Συνήθως γίνεται χρήση ζεύγους καταχωρητών ( $8\text{bit}+8\text{bit}=16\text{bit}$ ) για την αποθήκευση του αποτελέσματος. Μέσω της γλώσσας assembly ο προγραμματιστής γνωρίζει από πριν ποιοι καταχωρητές θα χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση του αποτελέσματος μιας επιλεγμένης πράξης. Σε αντίθετη περίπτωση προκύπτει υπερχείλιση (overflow) η οποία ανιχνεύεται μέσω του καταχωρητή κατάστασης (status register).

**Άσκηση 5** Τι θα συνέβαινε αν ο εσωτερικός διάυλος δεδομένων της ΚΜΕ είχε χωρητικότητα  $n/2$ , όπου  $n$  η χωρητικότητα σε bit κάθε καταχωρητή;

#### Λύση

Η μεταφορά του περιεχομένου ενός καταχωρητή θα απαιτούσε δύο κύκλους μεταφοράς.