

Μιχαήλ Μακροδημήτρης: Υποψήφιος Διδάκτορας ΕΜΠ
Ευάγγελος Παπαδόπουλος: Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ



Μικροελεγκτές στη βιομηχανία: Δυνατότητες και εφαρμογές

Οι μικροελεγκτές αποτελούν μέρος ενός εντυπωσιακού αριθμού προϊόντων τα οποία βρίσκονται γύρω μας. Το αυτοκίνητό μας, τα τηλεχειριστήριά μας, η τηλεόρασή μας, οι ψηφιακές κάμερες, τα κινητά τηλέφωνα, τα πλυντήριά μας είναι μερικά από αυτά. Στην ουσία δεν θα ήταν υπερβολή να πούμε ότι η χρήση μικροελεγκτών στις μέρες μας είναι καθολική και γενικά κάθε προϊόν το οποίο αλληλεπιδρά με ένα χρήστη περιλαμβάνει ένα μικροελεγκτή, ο οποίος παίζει το ρόλο του «εγκεφάλου» των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Δεν είναι τυχαίο πλέον, ότι πολλές βιομηχανίες προσανατολίζονται σε εφαρμογές όπου αποτελούνται από ηλεκτρικά κυκλώματα τα οποία ελέγχονται από μικροελεγκτή σε αντίθεση με την πρακτική του παρελθόντος όπου χρησιμοποιούσαν ογκώδεις ηλεκτρονικούς υπολογιστές (PC) ή ηλεκτρονόμους και σύνθετη αλλά μόνιμη λογική. Η χρήση μικροελεγκτών ξεκίνησε πριν από περίπου τριάντα πέντε χρόνια. Το πρώτο μοντέρνο ενσωματωμένο σύστημα (embedded system) ήταν ο υπολογιστής του διαστημοπλοίου Apollo, ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Charles Stark Draper στο Εργαστήριο Instrumentation Laboratory του MIT. Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της ηλεκτρονικής έγινε δυνατή η βιομηχανική παραγωγή τους με μικρό κόστος.

Τι είναι ένας μικροελεγκτής - Ποικιλία - Σύγκριση

Όμως τι είναι ένας μικροελεγκτής; Ένας μικροελεγκτής είναι στην ουσία ένας υπολογιστής σε μια πιο συμπαγή μορφή. Έχει δηλαδή μία μονάδα μνήμης (CPU) στην οποία εκτελούνται τα προγράμματα, μία μνήμη στην οποία αποθηκεύονται και ανανεώνονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος οι διάφορες μεταβλητές καθώς και θύρες εισόδων – εξόδων (I/O ports) με τις οποίες μπορεί να επικοινωνήσει διαδραστικά και αμφίδρομα με τους χρήστες. Η κύρια διαφορά τους από τους σύγχρονους υπολογιστές έγκειται στο γεγονός ότι οι μικροελεγκτές έχουν περιορισμένη μνήμη (της τάξης μερικών Kbytes, τα οποία αρκούν για τις περισσότερες εφαρμογές, ακόμα και τις πιο απαιτητικές) ενώ δεν έχουν σκληρό δίσκο. Επιπλέον λειτουργούν με χαμηλή ισχύ (της τάξεως των 50mW σε σύγκριση με τα 50 W των ηλεκτρονικών υπολογιστών) και έχουν μικρότερη ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων (η οποία όμως σε μερικές περιπτώσεις φθάνει και τα 100 MIPS*, ταχύτητα αρκετά ικανοποιητική για τις περισσότερες απαιτητικές εφαρμογές). Ο λόγος για τον οποίο οι μικροελεγκτές έχουν αντικαταστήσει τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι το αρκετά μικρό κόστος τους, το μεγάλο πεδίο περιβαλλοντικών συνθηκών στις οποίες μπορούν να αντεπεξέλθουν, πράγμα που τους καθιστά ιδανικούς για χρήση τους στο απαιτητικό βιομηχανικό περιβάλλον, καθώς και η απόκριση πραγματικού χρόνου (real time processing). Το τελευταίο χαρακτηριστικό εξασφαλίζει στους μικροελεγκτές τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται και να αποκρίνονται στον επιθυμητό για μας χρόνο με μεγάλη ακρίβεια.

Μία από τις πρώτες εταιρείες, η οποία σχεδίασε μικροελεγκτές με πολλά περιφερειακά ενσωματωμένα σε ένα μόνο chip, ήταν η Intel με τη σειρά 8051 που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στο σχεδιασμό νέων προϊόντων. Άλλες εταιρείες που ακολούθησαν και τροφοδοτούν σήμερα την παγκόσμια αγορά με μικροελεγκτές είναι κυρίως οι: Atmel, Microchip, Motorola, Hitachi, Toshiba, AMD, Zilog, National Semiconductor, Philips/Signetics. Από αυτές το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς έχουν οι τρεις πρώτες μαζί με την Intel. Από αυτές η Atmel φαίνεται να έχει επικρατήσει στη βιομηχανία λόγω της ύπαρξης δωρεάν εργαλείων και της γρήγορης υιοθέτησης μιας ειδικού τύπου μνήμης που ονομάζεται Flash. Η Microchip έχει επικρατήσει ανάμεσα στους «κομπίστες» με τους φθηνούς μικροελεγκτές PIC και μετά το 2004, με τη διάθεσή της στην αγορά των μικροελεγκτών 16-bit dspic, έχει κερδίσει ένα μεγάλο κομμάτι της αγοράς. Αρκετά γνωστοί και αξιόπιστοι είναι και οι μικροελεγκτές της εταιρείας Motorola, όπως τα μοντέλα MC68HC11 και M68HC12. Παρ' όλο που οι μικροελεγκτές άλλων εταιρειών δεν υστερούν σε τίποτα, δεν είναι ευρέως γνωστοί καθώς χρησιμοποιούνται σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές.

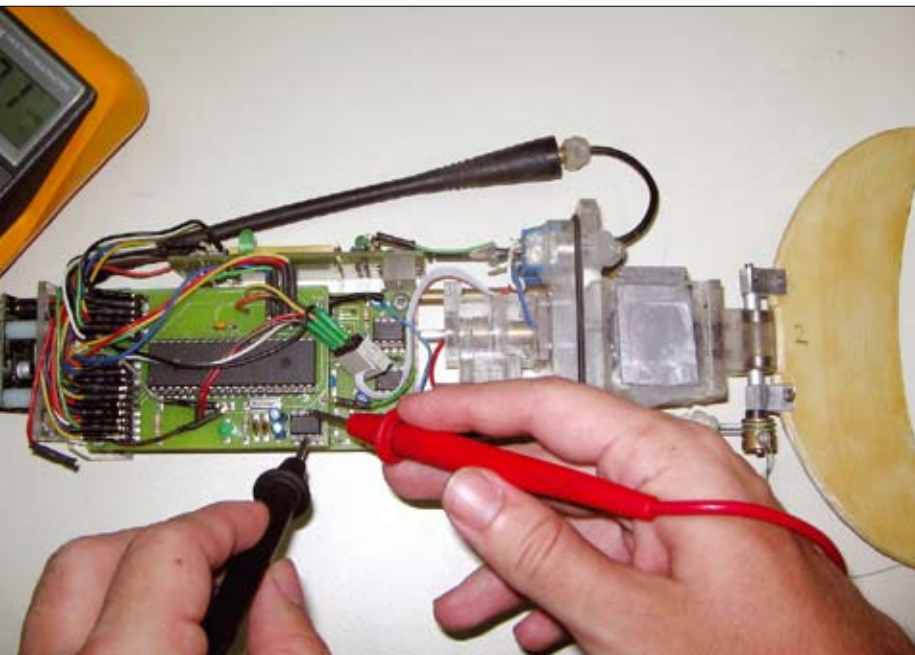
Απαιτήσεις

Για να μπορέσει κάποιος να αναπτύξει μία βιομηχανική εφαρμογή (π.χ. οδήγηση ενός βηματικού κινητήρα) δεν χρειάζονται πολλά. Κατ' αρχήν απαιτείται η αγορά μικροελεγκτών με τις επιθυμητές ιδιότητες σύνδεσης και

επεξεργασίας (συνήθως φθηνότεροι από 20 ευρώ) καθώς και μερικών ηλεκτρονικών μικροεξαρτημάτων αμελητέου κόστους (πυκνωτές, μπαταρίες 9V, LED κ.λπ.). Απαιτείται επίσης ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον (IDE και μεταγλωττιστής) για τον προγραμματισμό τους. Σήμερα υποστηρίζονται γλώσσες προγραμματισμού όπως η C, η Basic, η Pascal κ.λπ. Αν και υπάρχουν πολλά εμπορικά πακέτα, μπορεί κανείς να βρει στο Internet δωρεάν ολοκληρωμένα περιβάλλοντα όπως ο avr-gcc για προγραμματισμό σε C των μικροελεγκτών της Atmel και το Mplab για τους μικροελεγκτές της εταιρείας Microchip. Επιπλέον απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός προγραμματιστή (με τη μορφή ηλεκτρονικής πλακέτας), έτσι ώστε να μπορούμε να κατεβάσουμε στους μικροελεγκτές μας τα προγράμματα που φτιάχνουμε στο ολοκληρωμένο περιβάλλον. Πάλι το διαδίκτυο μας δίνει τη λύση. Σε αυτό υπάρχουν τόσο σχεδιαγράμματα πλακετών προγραμματιστών για να μπορέσουμε να τους φτιάξουμε μόνοι μας, όσο και έτοιμοι τους οποίους μπορούμε να παραγγείλουμε (όπως π.χ. ο EPIC για τους PIC με ενδεικτικό κόστος 50 ευρώ). Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα τα οποία θα φτιάχνουμε μπορούμε να τα υλοποιήσουμε είτε πάνω σε PCB (printed circuit boards) είτε σε breadboard (κόστος κάτω των 30 ευρώ). Τέλος, το πιο σημαντικό στις υλοποιήσεις έργων με τη βοήθεια μικροελεγκτών είναι η ύπαρξη του ανθρώπινου παράγοντα ο οποίος θα πρέπει να έχει στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικής και προγραμματισμού. Με τον απειρίριστο όμως πλούτο γνώσεων που διατίθεται στο διαδίκτυο και την πολύ μεγάλη βιβλιογραφία που υπάρχει, δεν απαιτούνται ιδιαίτερα εξειδικευμένες δεξιότητες [1], [2]. Γενικά συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε ότι για την υλοποίηση εφαρμογών με μικροελεγκτές απαιτείται ένα αρχικό κόστος της τάξης των 50-300 ευρώ (ιδιοκατασκευή ή αγορά προγραμματιστή, χρησιμοποίηση δωρεάν ή αγορά ολοκληρωμένου περιβάλλοντος, αγορά μικροελεγκτών, ηλεκτρονικών εξαρτημάτων) για να δημιουργηθεί μία αρχική υποδομή και στη συνέχεια το μόνο κόστος θα είναι η σχεδόν αμελητέα αντικατάσταση των χρησιμοποιούμενων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Η δε απόσβεση της επένδυσης είναι άμεση από την πρώτη κιόλας εφαρμογή!

Δυνατότητες – Πλεονεκτήματα

Οι δυνατότητες των σύγχρονων μικροελεγκτών καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών της βιομηχανίας. Πιο αναλυτικά, οι περισσότεροι μικροελεγκτές έχουν δυνατότητες πολλαπλών αναλογικοψηφιακών μετατροπών (ADC είσοδοι) για λήψη μετρήσεων από όλων των ειδών αισθητήρων που υπάρχουν στην αγορά, έλεγχο κινητήρων (συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, βηματικούς κ.λπ.) με χρήση διαμόρφωσης εύρους παλμού (Pulse-Width Modulation PWM) και δυνατότητα προγραμματισμού κατευθυντών PID. Επιπλέον



Ανάπτυξη ρομποτικού φαριού ελεγχόμενου από μικροελεγκτή PIC. Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ.

μπορούν να συνδεθούν με υπολογιστές μέσω σειριακής θύρας (RS-232), παράλληλης θύρας (IEEE 1284), καθώς και των βιομηχανικών πρωτοκόλλων RS-422 και RS-485. Επιπλέον, οι συνηθισμένοι μικροελεγκτές μπορούν να συνδεθούν με όλους τους αισθητήρες και υπολογιστές οι οποίοι είναι συμβατοί και όχι μόνο, με χρήση διαδεδομένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως τα I2C, CAN, SPI, RF κ.λπ. Εξειδικευμένοι μικροελεγκτές επιτρέπουν τη σύνδεσή τους μέσω Bluetooth, USB, ακόμα και σύνδεση με το διαδίκτυο μέσω Ethernet. Για ένα μέσο μικροελεγκτή, η ταχύτητά τους ξεκινά από το 1 MIPS* και μπορεί να φτάσει και τα 100 MIPS*, ταχύτητα αρκετά ικανοποιητική για απαιτητικές εφαρμογές όπως η μετάδοση βίντεο συνεχούς ροής (videostreaming), η επεξεργασία εικόνας (image processing) και η ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP). Ένας μέσος μικροελεγκτής έχει σχεδίαση 8-bit, ενώ υπάρχουν και μικροελεγκτές με αρχιτεκτονική 32-bit, γεγονός που τους δίνει την ικανότητα να εκτελούν γρήγορα πράξεις σε πραγματικό χρόνο. Με λίγα λόγια οι σύγχρονοι μικροελεγκτές μπορούν επάξια να αντικαταστήσουν σε ένα μεγάλο ποσοστό εργασιών τους υπολογιστές, τις ακριβές κάρτες οδήγησης-συλλογής δεδομένων και τα PLC. Είναι σαφώς φθηνότεροι, επομένως εάν καταστραφούν δεν δημιουργούν πρόβλημα, καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο, δεν απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις (όπως π.χ. προγραμματισμό σε διαγράμματα ladder στα PLC), αλλά μόνο γενικές γνώσεις προγραμματισμού. Επιπλέον με τη χρήση μικροελεγκτών δεν έχουμε κανένα περιορισμό όσον αφορά το είδος του προγράμματος,

σε αντίθεση με τα PLC ή με ακριβές κάρτες οδήγησης που έχουν συγκεκριμένες προ-πληρωμένες δυνατότητες (π.χ. μορφές ελέγχου από τις οποίες ο χρήστης επιλέγει). Για την επίτευξη ελέγχου ή μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές πρέπει να τρέχουν λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου (όπως RT-Linux, QNX κ.ά.), ενώ οι μικροελεγκτές δεν απαιτούν επιπλέον λογισμικό. Τέλος, ένα άλλο πλεονέκτημα των μικροελεγκτών είναι η πολλή μικρή κατανάλωση ισχύος. Τόσο οι υπολογιστές όσο και τα PLC έχουν μικρή ενεργειακή αυτονομία σε σχέση με τους μικροελεγκτές. Έτσι για παράδειγμα ένα laptop μπορεί να εργαστεί για 2 ώρες χωρίς ρεύμα από το δίκτυο, ενώ ένας μέσος μικροελεγκτής μπορεί να εργάζεται για μέρες. Υπάρχουν δε και μικροελεγκτές χαμηλής κατανάλωσης οι οποίοι λειτουργούν με τάση κάτω των 2V!

Case studies

Για να δείξουμε μερικές δυνατότητες των μικροελεγκτών θα εξετάσουμε 2 εφαρμογές:

1η εφαρμογή: Έλεγχος επιπέδου στάθμης υγρού δεξαμενής

Ο έλεγχος του επιπέδου στάθμης υγρού σε μία δεξαμενή είναι μία συνηθισμένη διαδικασία ελέγχου σε πολλές βιομηχανικές και όχι μόνο εγκαταστάσεις. Το Σχήμα 1α απεικονίζει μία τυπική εγκατάσταση αυτού του είδους. Το υγρό γεμίζει τη δεξαμενή με τη βοήθεια μίας αντλίας ενώ ύστερα από μια διεργασία η δεξαμενή αδειάζει.

Ο έλεγχος ενός τέτοιου τυπικού συστήματος έγκειται στον έλεγχο της παροχής του υγρού από την αντλία έτσι ώστε το επίπεδο στάθμης του υγρού στη δεξαμενή να παραμένει στο επιθυμητό σημείο.

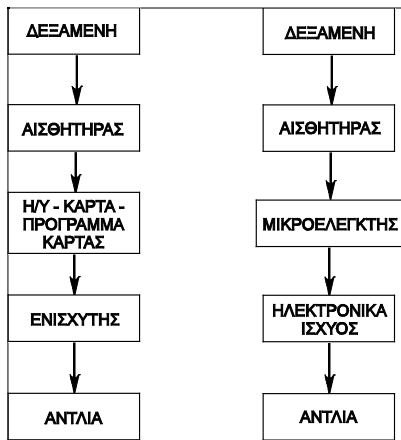
Μία συνηθισμένη πρακτική στη βιομηχανία είναι η χρήση ακριβών καρτών δειγματοληψίας και ελέγχου που συνδέονται με έναν ή περισσότερους αισθητήρες για λήψη ενδείξεων της στάθμης του υγρού. Γνωρίζοντας τη στάθμη του υγρού, εξειδικευμένα προγράμματα μπορούν να επιτύχουν ένα επιθυμητό είδος ελέγχου (π.χ. τύπου PID) και να δώσουν εντολή σε ηλεκτρονικά ισχύος, τα οποία με τη σειρά τους ελέγχουν την αντλία.

Το κόστος για τον έλεγχο της στάθμης θα μπορούσε να μειωθεί κατά πολύ με τη βοήθεια μικροελεγκτών (βλ. Σχήμα 1β). Ένας μικροελεγκτής, με κατάλληλους αισθητήρες και φθηνά ηλεκτρονικά ισχύος, θα μπορούσε να ελέγχει τη στάθμη πολλών δεξαμενών σε πραγματικό χρόνο.

Συνδέοντας δηλαδή έναν αισθητήρα με έναν μικροελεγκτή, ο οποίος έχει ενσωματωμένους αναλογικοψηφιακούς μετατροπείς (ADC converters), θα μπορούσαμε να μετρήσουμε τη στάθμη της δεξαμενής, χωρίς τη βοήθεια από εξειδικευμένα προγράμματα.

Ταυτόχρονα, προγραμματίζοντας σε μία γλώσσα υψηλού επιπέδου (π.χ. C), θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε σχετικά εύκολα οποιοδήποτε τύπο ελέγχου.

Εκτός από τα μεγάλα οικονομικά οφέλη, η υλοποίηση με μικροελεγκτές είναι και πιο αξιόπιστη καθώς όταν χαλάσει ένας μικροελεγκτής, σε αντίθεση με την ακριβή κάρτα ελέγχου και δειγματοληψίας, μπορεί να αντικατασταθεί αμέσως με έναν ήδη προ-προγραμματισμένο μικροελεγκτή, χωρίς να δημιουργηθεί η παραμικρή καθυστέρηση στη γραμμή παραγωγής.



Σχήμα 1:(α) Αρχική Υλοποίηση Συστήματος, (β) Υλοποίηση με μικροελεγκτές

2η εφαρμογή: Έλεγχος κινητήρα

Τις περισσότερες φορές, όταν θέλουμε να ελέγξουμε έναν κινητήρα στη βιομηχανία, αγοράζουμε και την κάρτα οδήγησής του, συνήθως από την ίδια εταιρεία που κατασκευάζει τους κινητήρες. Όπως και στην προηγούμενη εφαρμογή, η κάρτα οδήγησης έχει μεγάλο κόστος. Επιπλέον μερικές φορές μας περιορίζει με συγκεκριμένο τύπο ελέγχου, ενώ παράλληλα κάνει αναγκαία και τη δέσμευση ηλεκτρονικού υπολογιστή από τον οποίο θα δίνονται εντολές από τον χρήστη και στον οποίο θα τρέχουν τα προγράμματα της κάρτας οδήγησης. Και εδώ, η χρήση μικροελεγκτών μας παρέχει μία εναλλακτική φθηνή λύση. Ο υπολογιστής μπορεί να αντικατασταθεί από πληκτρολόγιο και οθόνη LCD τα οποία συνδεδεμένα με



τον μικροελεγκτή θα μπορούν να δέχονται εντολές από τον χρήστη για την οδήγηση του κινητήρα. Με αυτό τον τρόπο η κατασκευή μας γίνεται με μικρότερο όγκο και απαλλασσόμαστε από το κόστος του λογισμικού. Παράλληλα υπάρχουν εξειδικευμένοι μικροελεγκτές για απευθείας σύνδεση αισθητήρων θέσης του κινητήρα (όπως π.χ. incremental encoders, μετ.: αυξητικές παλμογεννήτριες). Επιπλέον με τους μικροελεγκτές θα μπορούμε όπως και πριν να προγραμματίσουμε χωρίς περιορισμούς, σχετικά εύκολα, οποιοδήποτε τύπο ελέγχου. Ακριβές κάρτες οδήγησης ρεύματος μπορούν να αντικατασταθούν με φθηνά ηλεκτρονικά (όπως π.χ. γέφυρες H) συμπιέζοντας ακόμα περισσότερο το κόστος.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι μικροελεγκτές απαντώνται στα πιο απίθανα μέρη και υπάρχουν τόσο στα προϊόντα όσο και στο βιομηχανικό εξοπλισμό. Η χρησιμοποίησή τους συντελεί στο σχεδιασμό προϊόντων υψηλής ποιότητας με μειωμένο κόστος. Για αυτό το λόγο η ενημέρωση των βιομηχανικών στελεχών, σχετικά με την ύπαρξη και τις δυνατότητες μικροελεγκτών και την υιοθέτησή τους στο σχεδιασμό προϊόντων, είναι στις μέρες μας αναγκαία.

* MIPS (Millions of instructions per second: Εκατομμύρια εντολές το δευτερόλεπτο)

Περαιτέρω στοιχεία:
 [1] www.avrfreaks.net για τους μικροελεγκτές της εταιρείας Atmel
 [2] www.microchip.com/ και www.melabs.com/ για τους μικροελεγκτές της Microchip