

«Η αξιοποίηση των αισθητήρων του Arduino στις εργαστηριακές και ερευνητικές δραστηριότητες»

Πάλλας Αναστάσιος¹, Ορφανάκης Στυλιανός²

¹ Καθηγητής Φυσικός – Ρ/Η, Διδάκτωρ Φυσικών Επιστημών, Π.Σ.Π.Θ.
paltasos@gmail.com

² Φυσικός, Μ.Sc Ηλεκτρονικής Φυσικής, Founder of go2core,
Καθηγητής Υπ. Παιδείας Έρευνας και Θρ. - Γυμνάσιο με Λ.Τ Καλλιθέας
stelios_orfanakis@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται ραγδαία η χρήση διαφόρων μικροελεγκτών χαμηλού κόστους με μεγάλες όμως δυνατότητες. Ανάμεσα σ' αυτούς ξεχωρίζει ο μικροελεγκτής Arduino, το κόστος του οποίου μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα της χρήσης και αποδοχής που τυγχάνει από εκατομμύρια χρήστες. Αν και οι εφαρμογές που ενσωματώνουν τον Arduino πληθαίνουν ραγδαία, οι περισσότερες απ' αυτές ανήκουν στον χώρο της Ρομποτικής και Αυτοματισμού, της Πληροφορικής και των Ηλεκτρονικών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του Arduino ως ένα χαμηλού κόστους σύστημα συγχρονικής λήψης και απεικόνισης με υψηλές όμως προδιαγραφές, ιδανικό για τη σχολική αίθουσα. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία εστιάζει την προσοχή της στους αναλογικούς αισθητήρες, με τους οποίους αισθητοποιούνται δεδομένα του φυσικού περιβάλλοντος, στο σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, που το αποτελούν ο Arduino και τα κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα και τέλος στο τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων (H/Y, LCD οθόνες κ.λπ).

Στόχος της εργασίας είναι να αναδείξει τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα χρήσης του μικροελεγκτή Arduino από τους εκπαιδευτικούς που εκτελούν πειράματα και μετρήσεις στο χώρο των Φυσικών Επιστημών ή αναλαμβάνουν ερευνητικές εργασίες. Με τον τρόπο αυτό μπορεί ο Arduino να συμβάλει στη μετατροπή των μαθητών σε «μικρούς ερευνητές», ένας φιλόδοξος στόχος που είναι ένα από τα ζητούμενα στην σύγχρονη εποχή.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Arduino, Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Ερευνητικές Εργασίες

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα είναι γενικά αποδεκτό ότι για να να αποκτήσουν ικανότητες οι μαθητές, θα πρέπει ήδη από μικρή ηλικία, να «μάθουν πώς να μαθαίνουν» προβληματιζόμενοι κατά τρόπο κριτικό σχετικά με τους μαθησιακούς τους στόχους, διαχειριζόμενοι τη μάθησή τους με αυτοπειθαρχία, εργαζόμενοι τόσο αυτόνομα, όσο και σε συνεργασία, αναζητώντας πληροφορίες και υποστήριξη όταν χρειάζεται και χρησιμοποιώντας όλες τις ευκαιρίες που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες.

Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας δεν πρέπει να αφήνει στο περιθώριο το εργαστήριο, αλλά αντίθετα να το ενσωματώνει λειτουργικά στο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών. Ο σχεδιασμός, η ανάλυση και η εκτέλεση των πειραμάτων και της επιστημονικής έρευνας διεγείρει τους

μαθητές ώστε να αναπτύξουν την «φυσική αίσθηση» και να αντιμετωπίσουν τη θεωρία στο πλαίσιο της πραγματικής ζωής, ενώ επιπλέον τους επιτρέπει να αντιμετωπίσουν νέα προβλήματα με υπομονή, φαντασία, εφευρετικότητα, μέθοδο και ακρίβεια.

Διεξάγοντας οι μαθητές στο πλαίσιο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης διάφορα είδη επιστημονικής έρευνας αποκτούν μια μεγαλύτερη αντίληψη της σημασίας των ανθρώπινων ανακαλύψεων και της νοητικής ικανότητας του ανθρώπου να βελτιώνει τις υπάρχουσες τεχνολογίες καθώς και να αναπτύσσει νέες. Ακόμη τους βοηθά να αναπτύσσουν υψηλότερου επιπέδου ικανότητες σκέψης, όπως είναι η διατύπωση ερωτήσεων, η εξερεύνηση και η έρευνα. Ταυτόχρονα, κατανοούν ότι η έρευνα συνδέεται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και το περιβάλλον στο οποίο ζουν, ανακαλύπτουν ή επιβεβαιώνουν γενικούς νόμους, συλλέγουν αντικειμενικά αποδεικτικά στοιχεία και κάνουν επαληθεύσιμες διαπιστώσεις. Τα παραπάνω τους βοηθούν να υιοθετήσουν μια σκεπτικιστική, διερευνητική στάση όχι μόνο απέναντι σε επιστημονικές αλήθειες, αλλά και απέναντι σε πολλά κοινωνικά ζητήματα παίζοντας έτσι σοβαρά τον ρόλο του υπεύθυνου και ενημερωμένου πολίτη. *«Δεν μπορούμε να ελπίζουμε σε μια νέα γενιά επιστημών και μηχανικών εάν δεν αφήσουμε τους νέους σπουδαστές να αποκτήσουν οικειότητα και ιδιοκτησία των δικών τους επιστημονικών και μηχανικών εξερευνήσεων, εάν εμείς δεν τους αφήσουμε να απολαύσουν τον κύκλο της σχεδίασης και της παραγωγής, και εάν εμείς δεν τους αφήσουμε να εφαρμόσουν τη δημιουργικότητά τους μέσα σε ένα φιλικό τεχνολογικό περιβάλλον»* (Banzi, 2011). Τα παραπάνω ασπάζονται και οι φορείς κατάρτισης και εκπαίδευσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι οποίοι δίνουν έμφαση στη χρήση, στα σχολεία, διδακτικών τεχνικών με βάση την έρευνα και την επίλυση προβλημάτων, θεωρώντας ότι οι ικανότητες και οι μαθησιακές συνήθειες που αποκτώνται στο σχολείο έχουν ουσιαστική σημασία για την ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων για νέες θέσεις εργασίας στα επόμενα στάδια της ζωής (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2008). Σύμφωνα με τη θέση αυτή είναι και η Ελληνική Πολιτεία, η οποία θεωρεί ότι μια τέτοια φιλοσοφία είναι συμβατή με τους εκπαιδευτικούς στόχους, μερικοί από τους οποίους είναι ο μαθητής να γίνει «διανοούμενος», «επιστήμονας», γλωσσομαθής (Μακρυγιάννης, 2012). Μάλιστα σε έκθεση του Υπουργείου Παιδείας για το νέο σχολείο υπάρχει αναλυτική αναφορά στο στόχο «μικρός ερευνητής» (Νέο Σχολείο, 2010).

Όμως παρά την ανάγκη για συστηματική έρευνα και πειραματισμό στο χώρο των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας, από τη μεριά των μαθητών, αυτό δεν φαίνεται να υποστηρίζεται στην πράξη στον ελλαδικό χώρο. Στο Γυμνάσιο δεν προβλέπεται τυποποιημένο και οργανωμένο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, ενώ για το Εργαστήριο του Λυκείου ο εξοπλισμός, το λογισμικό και οι αισθητήρες φαίνεται να παρουσιάζουν ένα προβληματικό πλαίσιο χρήσης. Ο εξοπλισμός του Multilog και οι αισθητήρες που το συνοδεύουν (Σχήμα 1) είναι οικονομικά ασύμφοροι και τεχνολογικά δεσμευτικοί για τους εκαπιδευτικούς που το χρησιμοποιούν. Το πλήθος των αισθητήρων είναι περιορισμένο και δεν δίνεται η δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς, αλλά και στους μαθητές, να δημιουργήσουν νέους ή να χρησιμοποιήσουν άλλους, διαφορετικής τεχνολογίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο τεχνολογικός εξοπλισμός να παραμένει στο ράφι και να μην αξιοποιείται σε πειραματικές και ερευνητικές δραστηριότητες.



Σχήμα 1: Το σύστημα Multilog με διάφορους αισθητήρες (αριστερά) και γραφήματα με το λογισμικό του (δεξιά).

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων προτείνεται η χρήση του μικροελεγκτή Arduino και των αισθητήρων που συνδέονται με αυτόν. Η επιλογή του Arduino προσφέρει πλήθος πλεονεκτημάτων με βασικό το χαμηλό κόστος αγοράς και ανάπτυξης εφαρμογών που στηρίζονται σ' αυτόν. Μια τέτοια επιλογή, σε περίοδο οικονομικής κρίσης όπου οι οικονομικοί πόροι που διαθέτουν οι χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και η χώρα μας σε σχολεία και Πανεπιστήμια έχουν μειωθεί δραστικά, αποτελεί ιδανική λύση για την εισαγωγή του στα Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας (OECD, 2013).

Η χρήση του ανοικτού κώδικα μικροελεγκτή Arduino στις σχολικές μονάδες απαιτεί και περιφερειακά, όπως καταγραφείς δεδομένων, αισθητήρες, λογισμικό πειραματικής και γραφικής ανάλυσης κ.λπ., τα οποία διατίθενται σε προσιτές τιμές και σε μεγάλη ποικιλία, ενώ υπάρχει και ηλεκτρονικό έντυπο υλικό που περιέχει προτάσεις αλλά και οδηγίες για την υλοποίηση των πειραμάτων στην τάξη. Να σημειωθεί, ότι υπάρχουν κι άλλες εταιρείες όπως η εταιρεία Vernier από το Orlando των ΗΠΑ που κάλυπταν και καλύπτουν την εν λόγω αγορά, με πολύ μεγαλύτερο κόστος, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει συμβατότητα του εξοπλισμού τους με τον ανοικτού κώδικα μικροελεγκτή Arduino (Vernier, 2013).

Η επιλογή ακόμη του ανοικτού κώδικα μικροελεγκτή Arduino και των παρελκόμενων περιφερειακών του, εκτός του ότι είναι εντυπωσιακά για τους μαθητές εξαιτίας της μοντέρνας σχεδίασης, έχουν ταυτόχρονα το πλεονέκτημα της διασύνδεσης με όλες τις σύγχρονες συσκευές όπως ipad, internet tablets, smartphones ενώ υποστηρίζουν και την τεχνολογία Bluetooth, τεχνολογίες που είναι ευρεία διαδεδομένες μεταξύ των μαθητών. Σε ότι αφορά τους εκπαιδευτικούς Φυσικής, Ηλεκτρονικών, Μαθηματικών, Στατιστικής και Πληροφορικής αλλά και τους μαθητές τους στη δευτεροβάθμια – και όχι μόνο- εκπαίδευση, πέραν του κόστους και της καινοτομίας που αντιμετωπίζουν, έχουν στη διάθεσή τους διαδικτυακό υλικό υποστήριξης, αλλά και ειδικά εκπαιδευτικά Forum όπου μοιράζονται την εμπειρία και την εργασία τους με άλλους εκπαιδευτικούς, ερευνητές και χομπίστες (Pilo et.al., 2012).

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι εκπαιδευτικοί έχουν αποδεχθεί τα πλεονεκτήματα της χρήσης του Arduino στις εργαστηριακές ασκήσεις και ερευνητικές εργασίες, που δεν είναι μόνο οικονομικά. Ταυτόχρονα, έχουν συνειδητοποιήσει τα παιδαγωγικά οφέλη του δυναμικού τρόπου διδασκαλίας της επιστήμης και της τεχνολογίας ταυτόχρονα, δηλαδή της διδασκαλίας STEM (Science Technology, Engineering Mathematics). Αυτό είχε μάλιστα ως αποτέλεσμα μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες, η Google, να υιοθετήσει το 2011

το Arduino ως θεμέλιο του Android Open Accessory Development Kit (ADK, 2011). Με την εισαγωγή του ανοικτού κώδικα μικροελεγκτή Arduino στην Εκπαίδευση, τα σχολεία εξοικονομούν χρήματα από την ιδιοκατασκευή των εναλλακτικών, καινοτόμων πειραματικών διατάξεων σε σχέση με αυτές του εμπορίου, ενώ οι μαθητές απολαμβάνουν την εκπαιδευτική εμπειρία αποτελέσματος της διδασκαλίας STEM.

Όμως παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνολογία του Arduino, οι βιβλιογραφικές αναφορές για τη χρήση του στο χώρο των Φυσικών Επιστημών και των ερευνητικών εργασιών φαίνονται να είναι μάλλον περιορισμένες. Ενδεικτικά αναφέρεται η διερεύνηση απλής αρμονικής ταλάντωσης με Arduino, όπου με τη βοήθεια ενός αισθητήρα απόστασης και λογισμικού καταγραφής αποτυπώνεται η γραφική παράσταση της απομάκρυνσης συναρτήσεως του χρόνου, ενώ επιβεβαιώνεται ταυτόχρονα ο νόμος του Hook (Galeriu et.al., 2014), η μέτρηση μηχανικών δονήσεων με Arduino για είσοδο / έξοδο και χρήση ενός ανοικτού λογισμικού πειραματικής Φυσικής και βιομηχανικού ελέγχου συστημάτων (Hjort & Holmberg, 2015), η εισαγωγή μικροελεγκτών Arduino για τις Φυσικές επιστήμες με την κατασκευή αισθητήρων για μέτρηση φωτός, θερμοκρασίας, της σταθεράς RC καθώς και συστήματος καταγραφής πληροφορίας (Huang, 2015), η πειραματική μελέτη τους εκκρεμούς με χρήση του Arduino και δυο άλλων διαφορετικών σύγχρονων συσκευών μέτρησης (Wong et.al., 2014) και πειράματα με χρήση Arduino σε μια σύνθεση των επιστημών της Πληροφορικής και των Φυσικών Επιστημών (Zieris et.al., 2014). Στον ελλαδικό χώρο έγινε σύγκριση της χρήσης του Arduino σε σχέση με το Multilog στο Εργαστήριο των Φυσικών Επιστημών (Νούσης & Νούση, 2013), διερευνάται η ανάπτυξη και ο έλεγχος απομακρυσμένων πειραμάτων Φυσικής με τη χρήση του Arduino μέσω του διαδικτύου (Αρτεμη κ.α., 2014), ενώ χρησιμοποιήθηκε ο Arduino και αισθητήρες αερίων στη μέτρηση των «θερμοκηπικών» αερίων στο πλαίσιο μιας ερευνητικής διασχολικής συνεργασίας (Πάλλας & Ορφανάκης 2015).

Οι λόγοι που δεν έχει γενικευτεί ακόμη η χρήση του Arduino στο Εργαστήριο των Φυσικών Επιστημών είναι αρκετοί. Το μη ευέλικτο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, αλλά και οι συνδυαστικές γνώσεις Φυσικών Επιστημών, Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών που απαιτούνται από έναν εκπαιδευτικό για να αξιοποιήσει την τεχνολογία και τις δυνατότητες του Arduino, είναι δυο από τους σημαντικότερους.

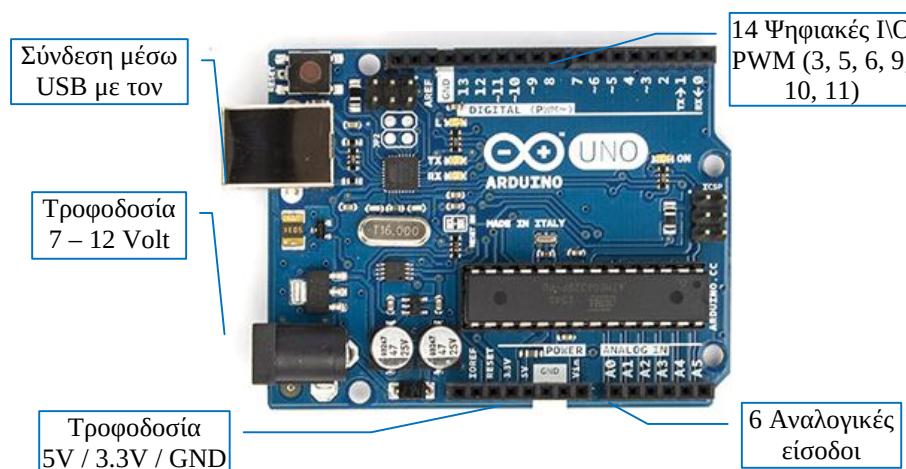
Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται στοιχεία της δομής του Arduino και κυρίως παρουσιάζονται τεχνικές λεπτομέρειες για τον τρόπο που μπορεί κανείς να εντάξει δημιουργικά, ευέλικτα και σχετικά εύκολα τους σημαντικότερους αισθητήρες του Arduino στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ARDUINO

Το Arduino (εμπορική ονομασία μόνο στις Η.Π.Α) / Genuino (εμπορική ονομασία εκτός Η.Π.Α) αποτελεί μια υπολογιστική πλατφόρμα βασιζόμενη σε μια μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα, που περιέχει έναν προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή (MCU) και εισόδους/εξόδους (I/O) για τη σύνδεση με το φυσικό κόσμο. Ο μικροελεγκτής του προγραμματίζεται μέσα από το περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα IDE χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού wiring. Η γλώσσα αυτή είναι βασισμένη στη C/C++, και περιλαμβάνει ένα σύνολο από βιβλιοθήκες υλοποιημένες στη C++. Το λογισμικό είναι ανοικτού κώδικα και επιτρέπει την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού συστήματος το οποίο θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί

στην ανάπτυξη διαδραστικών αυτοματοποιημένων οντοτήτων, ικανών να δεχθούν ως εισόδους μια πληθώρα αισθητήριων οργάνων, αλλά και διαφόρων συσκευών εξόδου, που είναι ικανές να ελέγχουν άλλες συσκευές του φυσικού κόσμου. Γενικά μας παρέχεται η δυνατότητα να υλοποιήσουμε project αυτόνομα σε επίπεδο hardware ή αλληλοεξαρτώμενα σε επίπεδο software, που επικοινωνούν με άλλα ολοκληρωμένα μικροσυστήματα επεξεργασίας και υπολογιστές.

Ειδικότερα η υπολογιστική πλατφόρμα Arduino αποτελείται από μια πλακέτα με πυρήνα, έναν μικροελεγκτή Atmel AVR, όπως ο ATmega328, ή ο ATmega2560 ανάλογα με την έκδοση του. Διαθέτει από 8 έως 16 σειριακές θύρες και έως 50 ψηφιακές (αναλόγως τον τύπο και την έκδοση της πλακέτας) με τις οποίες αλληλοεπιδρά με διάφορες συσκευές. Ο συνηθέστερος τύπος Arduino είναι ο Arduino Uno που φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Ο Arduino Uno και οι σημαντικότερες συνδέσεις του

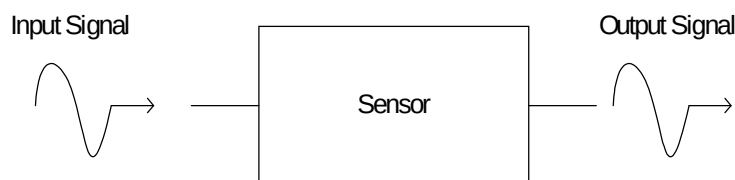
Οι αισθητήρες συνδέονται στις ψηφιακές και αναλογικές εισόδους του Arduino, ο οποίος κάνοντας χρήση των κατάλληλων βιβλιοθηκών, διαβάσει τις τιμές τάσης στην είσοδό του και τις μετατρέπει σε κατάλληλες και αναγνωρίσιμες τιμές των μετρούμενων φυσικών μεγεθών.

Όλες οι πλατφόρμες Arduino που υπάρχουν στο εμπόριο αποτελούνται από ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V και ένα ταλαντωτή κρυστάλλου. Ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής του προγραμματισμένος με ένα bootloader (μικροκώδικας εκκίνησης υλικού), ώστε να μη χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής όταν συνδέουμε νέο υλικό. Ο προγραμματισμός της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino πραγματοποιείται μέσω USB, εφαρμόζοντας ένα chip προσαρμογέα USB to Serial.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΤΟΥ ARDUINO/GENUINO

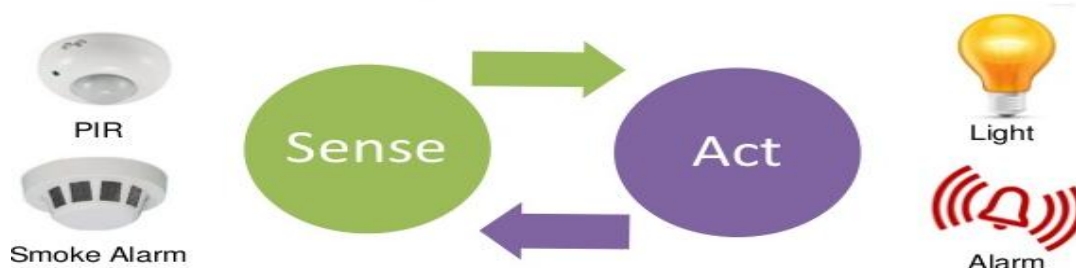
Αισθητήρας είναι συσκευή ή μία διάταξη από συσκευές η οποία χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ενός μακροσκοπικού φυσικού μεγέθους και το μετατρέπει σε ηλεκτρικά μετρήσιμο, συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, το οποίο ύστερα από επεξεργασία παίρνει τη μορφή τυποποιημένου σήματος. Οποιαδήποτε μορφή ενέργειας δεχθεί μια τέτοια συσκευή, (χημική, μηχανική, θερμική, μαγνητική), την μετατρέπει σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας (Middelhoek & Noorlag, 1981). Η διαδικασία ανίχνευσης από τους αισθητήρες, αποτελεί μια διαδικασία μεταφοράς πληροφοριών και κάθε τέτοια μετάδοση πληροφοριών απαιτεί τη μετάδοση ενέργειας (Fraden, 2004). Σύμφωνα με το

μοντέλο λειτουργίας του αισθητήρα (Σχήμα 3) στην είσοδο λαμβάνει το ερέθισμα (input signal), το οποίο μπορεί να είναι κάποια μετρούμενη ποσότητα, κάποια ιδιότητα ή κάποια κατάσταση, η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή και να μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα, ενώ στην έξοδο μπορεί να έχει τη μορφή τάσης, ηλεκτρικού φορτίου ή ρεύματος (output signal) (Lambrechts & Sensen, 1992).



Σχήμα 3: Η αρχή λειτουργίας ενός αισθητήρα

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την συλλογή δεδομένων - αισθητήρες συλλογής πληροφοριών - με σκοπό την γνωστοποίηση τους στον χρήστη, ώστε να γνωρίζει αυτός την τρέχουσα κατάσταση των παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση κ.λπ.) που ελέγχονται καθώς και την εξέλιξη τους. Σε άλλες περιπτώσεις, που είναι και οι περισσότερες, το σήμα του αισθητήρα τροφοδοτεί έναν ελεγκτή σε ένα σύστημα ελέγχου, ο οποίος με τη σειρά του παράγει μία έξοδο η τιμή της οποίας ρυθμίζεται από την τιμή της υπό μέτρηση παραμέτρου (π.χ. αν ένταση του φωτός γίνει μικρότερη από μια οριακή τιμή να ανάβει ένας λαμπτήρας). Η διαφορά των αισθητήρων που συλλέγουν πληροφορία από αυτούς που ελέγχουν συστήματα είναι στον τρόπο αξιοποίησης αυτής της πληροφορίας. Η πρώτη περίπτωση ενδιαφέρει κυρίως τους εκπαιδευτικούς των Φυσικών Επιστημών, η δεύτερη αυτούς που ασχολούνται με τη ρομποτική και τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Η αρχή λειτουργίας ενός αισθητήρα σε σύστημα αυτομάτου ελέγχου

Οι αισθητήρες ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα κριτήρια κατηγοριοποίησης που χρησιμοποιούνται. Ενδεικτικά αναφέρονται : α) αισθητήρες που έρχονται σε επαφή ή όχι με το μετρήσιμο μέγεθος. Εάν υπάρχει επαφή ονομάζονται αισθητήρες επαφής ενώ στην αντίθετη περίπτωση ονομάζονται αισθητήρες μη επαφής, β) ανάλογα με την μεταβολή ένδειξης του αισθητήρα: Δηλαδή εάν ο αισθητήρας παράγει συνεχώς μεταβαλλόμενα σήματα τάσης με μία πληθώρα διαφορετικών τιμών, τότε ονομάζεται αναλογικός αισθητήρας. Εάν όμως ο αισθητήρας παράγει ψηφιακό σήμα, δηλαδή οι τιμές τάσης που μπορεί να παράγει είναι μόνο δύο (π.χ. 0 - 1V ή 0 - 5V) τότε ονομάζεται ψηφιακός, γ) ανάλογα με την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα: Σε αυτή την κατηγορία μπορεί να διακρίνει κανείς αισθητήρες θερμικούς, μαγνητικούς, οπτικούς, πιεζοηλεκτρικούς, ηλεκτρομαγνητικούς, επαγωγικούς, χωρητικούς κλπ. δ) ανάλογα με το αν απαιτείται χρήση εξωτερικής πηγής ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του αισθητήρα ή όχι.

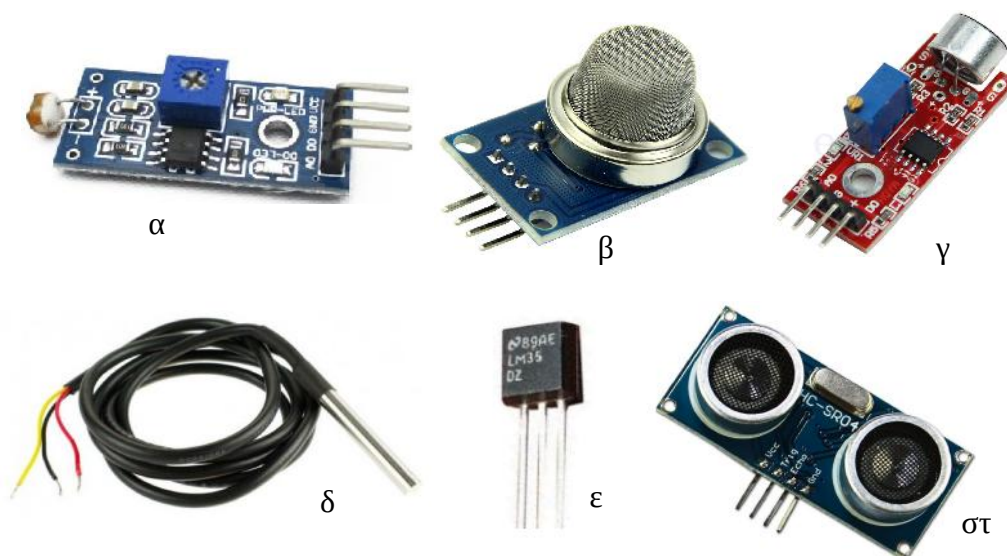
Ενεργητικοί αισθητήρες ονομάζονται αυτοί που απαιτούν εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργήσουν, ενώ αυτοί που δεν απαιτούν, ονομάζονται Παθητικοί.

Μια υπολογιστική πλατφόρμα όπως το Arduino αντιλαμβάνονται το περιβάλλον μέσω της τάσης. Με δυο απλές εντολές μπορούν να επικοινωνήσουν με αυτό: α) `digitalRead(pin)`; διαβάζει την ψηφιακή κατάσταση του περιβάλλοντος από το συγκεκριμένο ακροδέκτη (0 ή 1) και β) `analogRead(pin)`; διαβάζει την κατάσταση που επικρατεί στο «πραγματικό» κόσμο από το συγκεκριμένο ακροδέκτη (ανάμεσα σε 1024 διαφορετικές τιμές).

ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΣΤΟΝ ARDUINO

Οι αναλογικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται από τον Arduino, είναι κατά κανόνα οικονομικά πολύ προσιτοί και αξιόπιστοι, με μικρή κατανάλωση ρεύματος και μικροί σε μέγεθος. Λόγω της πληθώρας των αισθητήρων που κυκλοφορούν στην αγορά, μπορούμε εύκολα να τους αναζητήσουμε στο διαδίκτυο και σε διάφορες κοινότητες που ασχολούνται με το Arduino, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει αφθονία βιβλιοθηκών για υποστήριξη.

Οι αναλογικοί αισθητήρες είναι αισθητήρες που συνδέονται στις αναλογικές εισόδους του Arduino για την μέτρηση αναλογικών φυσικών μεγεθών. Η τιμή κάθε φυσικού μεγέθους μεταφράζεται στην αναλογική είσοδο σε μια τιμή μεταξύ 0 έως 1023, η οποία ισοδυναμεί σε μια τιμή τάσης από 0 μέχρι 5 Volt. Για τη μέτρηση των αναλογικών φυσικών μεγεθών όμως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ψηφιακοί αισθητήρες. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο ψηφιακός αισθητήρας μέτρησης της θερμοκρασίας ο DS18B20 που συνδέεται σε μια από τις ψηφιακές I/O του Arduino (Σχήμα 5.6)



Σχήμα 5 : Διάφοροι αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες του Arduino : α) φωτός, β) αερίων, γ) ήχου, δ) θερμοκρασίας (ψηφιακός), ε) θερμοκρασίας (αναλογικός), στ) υπερήχων ή απόστασης (ψηφιακός)

Οι αναλογικοί αισθητήρες έχουν συνήθως 3 pin, δυο από τα οποία χρησιμοποιούνται για τη τροφοδοσία (5 ή 3,3 Volt και γείωση GRD) και το τρίτο συνδέεται σε κάποια από τις έξι (6) αναλογικές εισόδους (A0, A1, A2, A3, A4, A5). Αρκετοί αισθητήρες πάντως, διαθέτουν και τέταρτο pin για να συνδέονται σε κάποια από τις ψηφιακές εισόδους η οποία και θα ενεργοποιείται (ψηφιακό

1, ή 5 Volt) σε περίπτωση που το μετρούμενο φυσικό μέγεθος υπερβεί κάποια προκαθορισόμενη οριακή τιμή.

Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ – ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Για την καταγραφή, επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων χρειάζεται να γραφεί ένας κατάλληλος κώδικας στη γλώσσα του Arduino (παραλλαγή της γλώσσας C++) ή sketch όπως αποκαλείται. Η δομή ενός οποιουδήποτε Sketch περιλαμβάνει τρία (3) στάδια όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6 αριστερά. Για την σύνδεση οποιουδήποτε αναλογικού αισθητήρα χρειάζεται να γραφούν μερικές μόνο απλές εντολές κώδικα, καθιστώντας έτσι τον Arduino ένα ελκυστικό εργαλείο μέτρησης φυσικών μεγεθών. Στο ίδιο σχήμα (Σχήμα 6) δεξιά, παρουσιάζονται οι εντολές ενός από τους απλούστερους ανοικτούς κώδικες που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για τη σύνδεση των περισσοτέρων αναλογικών αισθητήρων με τον Arduino.

Πιο συγκεκριμένα, ο κώδικας για την απεικόνιση των τιμών του αισθητήρα που συνδέεται στην αναλογική είσοδο π.χ. A0 περιλαμβάνει πέντε (5) εντολές, τις παρακάτω :

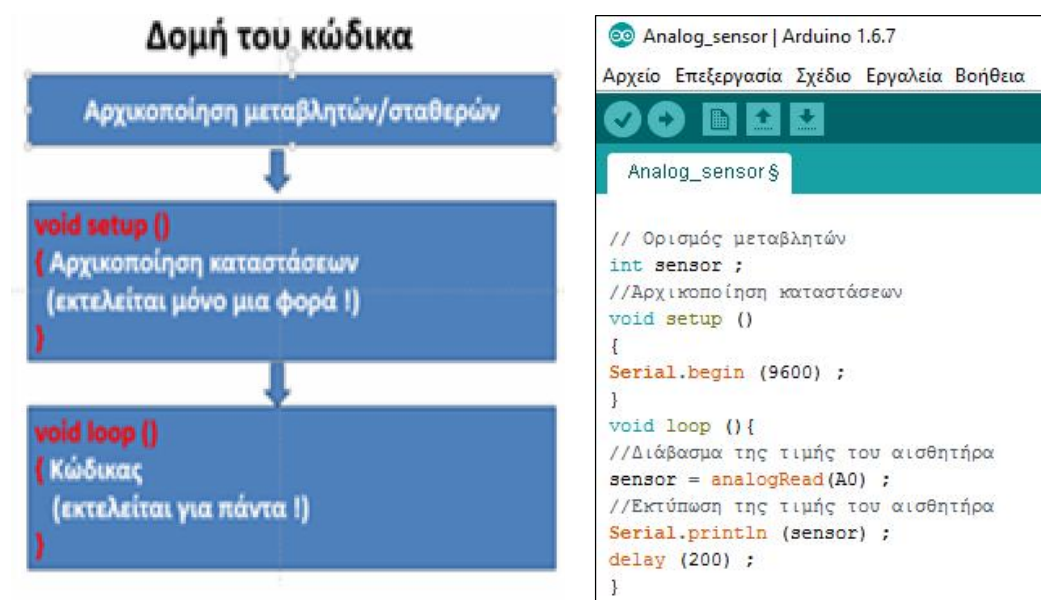
- `int sensor ;` ; Με την εντολή αυτή ορίζεται μια ακέραια μεταβλητή η οποία και θα είναι η μεταβλητή του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Η τιμές της μεταβλητής αυτής κυμαίνονται από 0 μέχρι 1023.

- `Serial.begin (9600) ;` ; Η εντολή αυτή ορίζει την ταχύτητα επικοινωνίας μεταξύ του Arduino και του Η/Υ για την απεικόνιση των δεδομένων στην οθόνη του.

- `sensor = analogRead (A0) ;` ; Με την εντολή αυτή καταχωρείται στη μεταβλητή sensor η τιμή της αναλογικής εισόδου A0, που είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 και 1023.

- `Serial.println (sensor) ;` ; Εντολή κατάλληλη για την εκτύπωση ανα γραμμή των τιμών της μεταβλητής sensor στην οθόνη.

- `delay (200) ;` ; Η εντολή αυτή εισάγει την επιθυμητή καθυστέρηση (π.χ. 200 ms) στη λήψη και απεικόνιση των δεδομένων στην οθόνη.



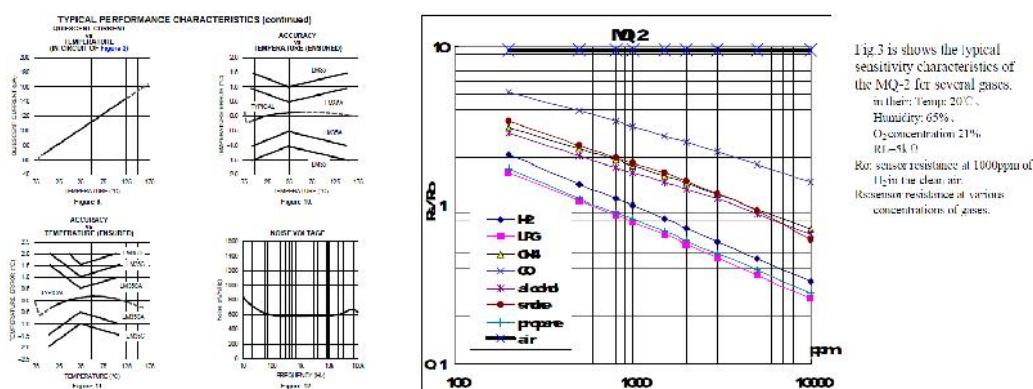
Σχήμα 6 : Δομή ενός κώδικα (Sketch) στον Arduino (αριστερά) και το παράδειγμα για ανάγνωση αναλογικών αισθητήρων (δεξιά)

Οι εντολές μπορούν να τροποποιηθούν ή να εμπλουτιστούν και ο κώδικας μπορεί να επεκταθεί προσθέτοντας νέες εντολές. Μπορεί π.χ. ο χρόνος

καθυστέρησης να αυξομειωθεί, η μεταβλητή sensor να αλλάξει από ακέραια σε δεκαδική κ.λπ. Για τα παραπάνω δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις πληροφορικής ή ηλεκτρονικών. Το κίνητρο να δημιουργήσουν οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί ένα αξιόπιστο, πρωτότυπο και λειτουργικό εργαλείο μέτρησης ικανοποιώντας εκπαιδευτικές ανάγκες, είναι στις περισσότερες φορές αρκετό.

Οι μετρήσεις όμως που μας παρέχουν οι αναλογικοί αισθητήρες είναι σχετικές και όχι απόλυτες, δεν μας παρέχουν δηλαδή άμεσα τις τιμές των φυσικών μεγεθών σε μονάδες του συστήματος SI ή άλλου παγκοσμίου συστήματος μέτρησης. Για το λόγο αυτό απαιτείται βαθμονόμηση των αισθητήρων, μια εργασία που διευκολύνεται από το γεγονός ότι οι περισσότεροι απ' αυτούς παρουσιάζουν γραμμική εξάρτηση της μετρούμενης τάσης με την μεταβολή του υπο εξέταση φυσικού μεγέθους. Κάθε αισθητήρας πάντως απαιτεί ξεχωριστή προσέγγιση. Τι σημαίνει π.χ. η τιμή 512 ή 2, 5 Volt που δίνει ένας αισθητήρας φωτός (φωτοαντίσταση) ; Για τη μετατροπή της ένδειξης αυτής σε μονάδες λούξ (lx) απαιτείται σύγκριση με τις ενδείξεις ενός άλλου επαγγελματικού βαθμονομημένου οργάνου μέτρησης της φωτεινότητας. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο αισθητήρας φωτός του Multilog που είναι διαθέσιμος στα Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών του Λυκείου. Για τους αισθητήρες θερμοκρασίας LM35, ή αερίων MQ2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα data sheets των κατασκευαστών (Σχήμα 7), ή οι ενδείξεις οργάνων μετρητικών Σταθμών (Δήμων, Πανεπιστημίων κ.λπ.).

Πάντως, και αυτό είναι το μεγάλο πλεονέκτημα του Arduino, στην περίπτωση των περισσότερων αισθητήρων (π.χ. LM35) μπορεί κανείς εύκολα να βρεί τους απαραίτητους κώδικες στο διαδίκτυο, ή ακόμη να χρησιμοποιήσει μια διαθεματική προσέγγιση για τη βαθμονόμηση τους, συνδέοντας έτσι το Arduino με τη διδασκαλία άλλων μαθημάτων όπως είναι η Χημεία. Για τη βαθμονόμηση π.χ. του αισθητήρα αερίων που μετρά CO_2 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η αντίδραση παρασκευής CO_2 με τη μείξη μαγειρικής σόδας και ξυδιού. Στην περίπτωση αυτή $[\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} (\text{υγρό}) + \text{CO}_2 (\text{αέριο}) + \text{H}_2\text{O} (\text{υγρό})]$ δίνεται η ευκαιρία στους μαθητές να συνδέσουν τη στοιχειομετρική ανάλυση με την επίλυση ενός πραγματικού προβλήματος, με προφανή τα μαθησιακά οφέλη.

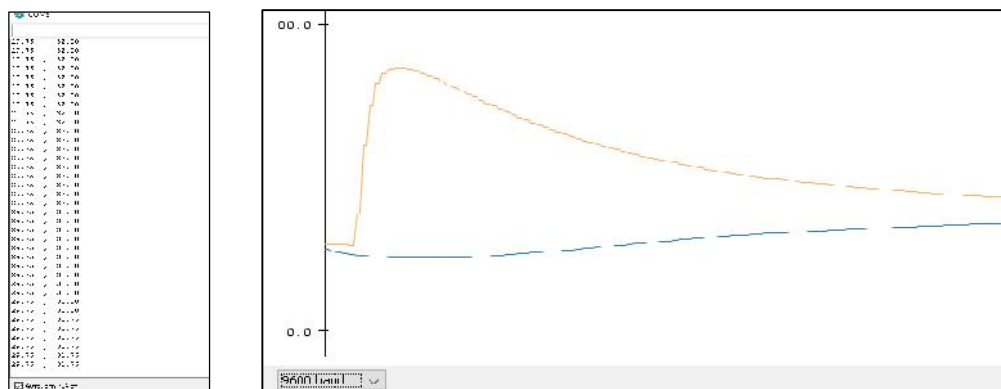


Σχήμα 7 : Data για τον αισθητήρα θερμοκρασίας LM35 (αριστερά) και αερίων MQ2 (δεξιά)

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.

Για την απεικόνιση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των, υπάρχουν αρκετές επιλογές με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα η κάθε μια.

Από την πλευρά του ερευνητή και του εκπαιδευτικού των Φυσικών Επιστημών ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις που δεν απαιτούν ιδιαίτερες γνώσεις και προγραμματιστικές ικανότητες για την χρήση τους. Από αυτές, τρεις (3) φαίνεται να είναι οι καταλληλότερες: α) η παρουσίαση και η σχεδιαστική απεικόνιση των δεδομένων στην σειριακή οθόνη του Arduino, β) η χρήση του λογισμικού EXCEL και άλλων λογισμικών plotting data και γ) η απεικόνιση σε οθόνη LCD.

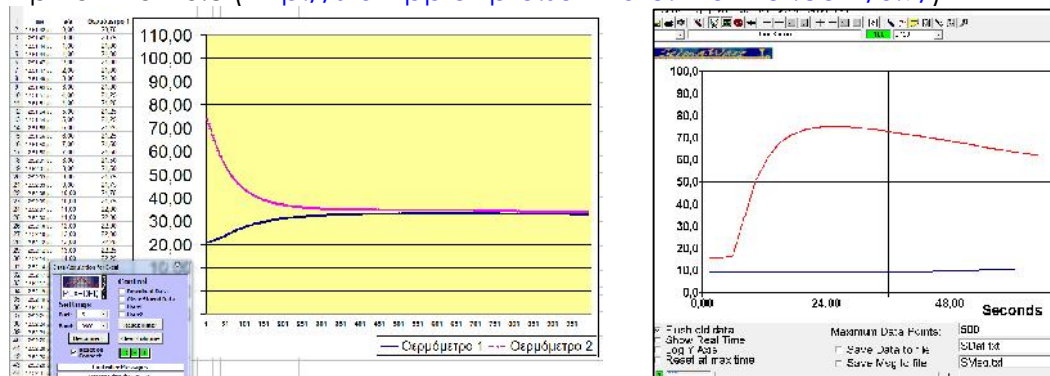


Σχήμα 8: Αριστερά η σειριακή οθόνη του Arduino και δεξιά η οθόνη plotting

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται οι τιμές μιας ταυτόχρονης θερμομέτρησης από δυο αισθητήρες θερμοκρασίας, ως πίνακας τιμών στην σειριακή οθόνη του Arduino (αριστερά) και ως γραφική παράσταση στην οθόνη plotting (δεξιά). Η τελευταία δυνατότητα έχει ενσωματωθεί στην τελευταία έκδοση 1.6.7 του λογισμικού ανοικτού κώδικα (IDE) του Arduino και αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο οπτικοποίησης της εξέλιξης ενός φαινομένου μέσω της μεταβολής φυσικών μεγεθών που το χαρακτηρίζουν.

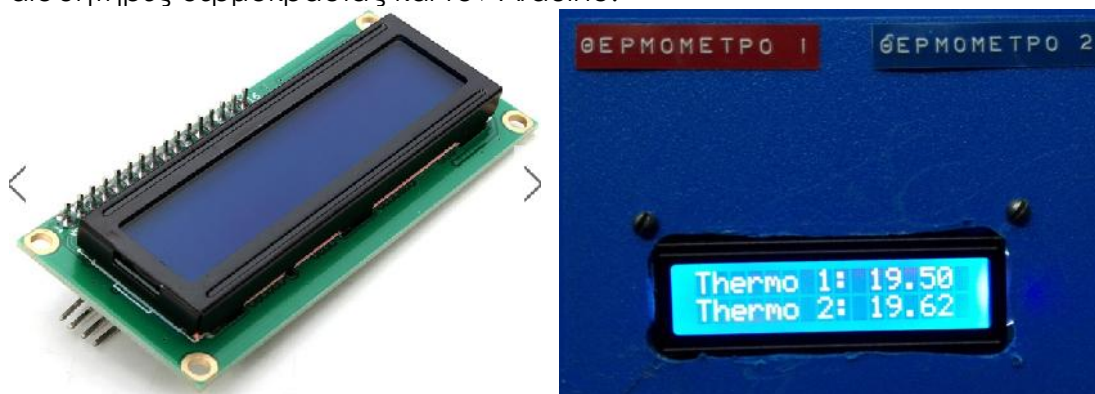
Ένα άλλος τρόπος ταυτόχρονης απεικόνισης και αποθήκευσης των τιμών διαφόρων μεγεθών είναι η χρησιμοποίηση του λογισμικού EXCEL. Υπάρχουν αρκετά προγράμματα και προτάσεις που εκμεταλεύονται αυτή τη δυνατότητα. Ένα σχετικό μικρό και εύχρηστο πρόγραμμα είναι το PLX-DAQ που μπορεί κανείς να κατεβάσει από την ιστοσελίδα <http://robottini.altervista.org/arduino-and-real-time-charts-in-excel>. Στο Σχήμα 9 αριστερά παρουσιάζεται ο πίνακας τιμών και το σχετικό διάγραμμα μετρήσεων δυο της θερμικής ισορροπίας με τη χρήση αυτού του προγράμματος. Είναι αυτό που συνδέει τις τιμές διαφόρων μεταβλητών με το EXCEL την σειριακή οθόνη με τα θαυρατά δεδομένα του Arduino.

Ακόμη μπορεί κανείς να βρει στο διαδίκτυο δωρεάν έτοιμα λογισμικά data plotting που συνεργάζονται με τον Arduino. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το StampPlot Pro V3.8 (<http://stampplot-pro.software.informer.com/3.9/>)



Σχήμα 9: Αριστερά η σειριακή οθόνη του Arduino και δεξιά η οθόνη plotting

Τέλος, για την απεικόνιση των δεδομένων, ιδίως από αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε φορητές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οθόνες LCD οι οποίοι διατίθενται στο διαδίκτυο σε πολύ προσιτές τιμές. Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η οθόνη LCD (αριστερά) και ο τρόπος ενσωμάτωσής της σε μια πρωτότυπη συσκευή θερμομέτρησης με δυο ψηφιακούς αισθητήρες θερμοκρασίας και τον Arduino.



Σχήμα 10: Αριστερά η οθόνη LCD και δεξιά μια πρωτότυπη συσκευή δυο θερμομέτρων με ενσωματωμένη τη οθόνη LCD

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκαν συνοπτικά οι δυνατότητες του Arduino και ως ένα χαμηλού κόστους, σύγχρονο σύστημα λήψης και απεικόνισης δεδομένων. Η μεγάλη ποικιλία αξιόπιστων και φθηνών αισθητήρων και εξαρτημάτων, όπως και η πλούσια βιβλιογραφία, αλλά και η εμπειρία που προσφέρουν τα εξειδικευμένα Forum στο διαδίκτυο, το καθιστούν ιδανικό για τη διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων και απαραίτητο εργαλείο σε ερευνητικές διαδικασίες στο χώρο των Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας.

Ενόψει μάλιστα των επικείμενων αλλαγών στο χώρο της Εκπαίδευσης, φαίνεται να είναι ιδανικό διδακτικό μέσο για τη διαθεματική διδακτική προσέγγιση μαθημάτων από τον χώρο των Φυσικών Επιστημών, Πληροφορικής, Μαθηματικών, Ηλεκτρονικής και Τεχνολογίας (STEM). Ακόμη, η χρήση του δημιουργεί ένα ευνοϊκό κλίμα για να μετατραπούν οι εκπαιδευτικοί, αλλά και οι μαθητές, σε συνδημιουργούς μιας Τεχνολογίας που αποτελεί μέσο και αυτοσκοπό ταυτόχρονα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αρτέμη, Σ., Μαϊδου, Α., Δίντσιος, Ν., Πολάτογλου Χ. (2014). Εκπαιδευτικό Υλικό για εξ-αποστάσεως εκπαίδευση στο πλαίσιο Ερευνητικής Εργασίας – Συνεργασία Τριτοβάθμιας με σχολεία Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στο: Σκουμπουρδή, Χ., Σκουμιός, Μ., *Πρακτικά 1^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου*, σσ. 890-895. Ρόδος.

Μακρυγιάννης, Π. (2012). *Τα προγράμματα σπουδών του Νέου Σχολείου: στόχοι, φιλοσοφία και ένταξη των ψηφιακών μέσων διδασκαλίας και μάθησης στις παιδαγωγικές πρακτικές*, Πάντειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα

Νούσης, Β. & Νούση, Β., (2013). Ο Arduino στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, *5th Conference on Informatics in Education*, Αθήνα 2013.

Πάλλας, Α. & Ορφανάκης, Σ. (2015). Μέτρηση των «θερμοκηπικών» αερίων με τη βοήθεια του Arduino. Στο *Πρακτικά 1^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας*, Τόμος III, σσ 8-24, Λάρισα 2015.

Υπουργείο Παιδείας Δια Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων, (2010). *Νέο Σχολείο : Πρώτα ο μαθητής*, σσ. 8, Αθήνα.

ADK, (2011). Android Open Accessory Development Kit. 2012, 2016, <http://developer.android.com/guide/topics/usb/adk.html>

Arduino/Genuino, (2016). 2016, 2016 <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>.

Banzi, M., (2011). *Getting Started with Arduino*. O'Reilly Media - 2nd ed..

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2008). *Improving competences for the 21st Century: An Agenda for European Cooperation on Schools*. SEC(2008) 2177.

Fraden J., (2004). *Third Edition of Handbook of Modern Sensors: physics, designs and applications*. Springer.

Galeriu, C., Edwards, S., and Esper, G., (2014). An Arduino Investigation of Simple Harmonic Motion. *The Physics Teacher*, Vol. 52, pp. 157-159.

Hjort, A., & Holmberg M. (2015). Measuring mechanical vibrations using an Arduino as a slave I/O to an EPICS control system. *Physics Project with a Research Connection 5 hp, 1FA605*, 2015, pp. 1-25.

Huang B., (2015). Open-source Hardware -- Microcontrollers and Physics Education - Integrating DIY Sensors and Data Acquisition with Arduino. *122nd ASEE Annual Conference & Exposition, Seattle*, paper ID #14073, June 2015.

Lambrechts M. Sansen W. (1992). *An introduction to microelectrochemical sensors. Biosensors: Microelectrochemical Devices*. CRC Press.

Middelhoek S., Noorlag D., (1981). *Signal conversion in solid-state transducers. Sensors and Actuators 2*. Elsevier B.V

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), (2013). Education at a Glance – OECD INDICATORS. *Financial and Human Resources Invested In Education*, pp. 210-220.

Pilo, M., Gavio, B., Grosso, G., Mantero, A., (2012). Science Education and Teachers' Training: Research in Partnership. *US-China Education Review A 1*, pp.106-111 Earlier title: US-China Education Review, ISSN 1548-6613

Vernier (2013). A guide to using Vernier sensors with Arduino. *The Caliper*, Vol. 30, No. 2, pp. 1-15.

Wong, W., Chao, T., Chen, P., Lien, Y., Wu, C., (2015). Pendulum experiments with three modern electronic devices and a modelling tool. *Journal of Computers in Education DOI 10.1007/s40692-015-0026-1*.

Zieris, H., Gerstberger, H., Müller, W., (2014). Using Arduino-Based Experiments to Integrate Computer Science Education and Natural Science. *Conference: KEYCIT 2014 – Key Competencies in Informatics and ICT*, 2014, pp. 238-243. Potsdam.