

Műszaki informatikai megoldások a modern középiskolai oktatásban

Gingl Zoltán¹, Kopasz Katalin², Makan Gergely³, Mingesz Róbert⁴, Mellár János⁵, Szépe Tamás⁶, Vadai Gergely⁷

{¹gingl,³makan,⁴mingesz,⁵mellar,⁶szepe,⁷vadaig}@inf.u-szeged.hu
Szegedi Tudományegyetem, Műszaki Informatika Tanszék

²kopaszka@titan.physx.u-szeged.hu
Szegedi Tudományegyetem, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
Szegedi Tudományegyetem, Gyakorló Gimnázium

Absztrakt. A modern elektronikus eszközök ugrásszerű fejlődésének és széleskörű elterjedésének köszönhetően az informatika egyre jobban kötődik sok más szakterülethez is. Mindenki a zsebében hordhatja ma már az okostelefonokat, melyek érzékelők és áramkörök segítségével képesek fényt, mozgást, hőmérsékletet szoftverek által rendkívül sokoldalúan kezelhető számokká alakítani, megjeleníteni, tárolni, továbbítani. A modern informatikai oktatás egyik fontos kihívása az, hogy miként adhat át ennek megfelelően sokkal átfogóbb tudást, hogyan segítheti a magabiztos informatikai ismeretek megszerzése mellett egyúttal más területek jobb megismerését is. Példákkal mutatjuk meg, hogyan biztosíthatnak műszaki informatikai megoldások ehhez megfelelő háttérrel, élményszerű tanulási lehetőséget és ismertetjük a népszerű Arduinohoz fejlesztett univerzális oktatási célú szenzorinterfészünket is.

Kulcsszavak: műszaki informatika, szenzorinterfész, Arduino, multidiszciplináris oktatás

1. Bevezetés

Napjainkban a körülöttünk levő eszközök döntő többsége modern elektronikára épül, processzort tartalmaz és szoftverek vezérik a működését. Hétköznapi eszközeink mellett érvényes ez a gyógyításban, oktatásban, az ipar számos területén, köztük az autópárhánban, robottechnikában és sok más területen megtalálható készülékek esetében is. Érzékelőkkel képesek a külvilág fizikai, kémiai, biológiai jeleit elektronikus mennyiségekké majd számokká konvertálni, melyek így szoftverek segítségével kezelhetők. A modern elektronika lehetővé teszi, hogy egyre kisebb, egyre több jelet kezelni képes, akár elemről vagy akkumulátorról üzemelő eszközök futtassanak operációs rendszereket és különböző alkalmazásokat.

A fentiekből egyértelműen következik, hogy az oktatásban is fontos megjelenie a kapcsolódó ismereteknek, amelyeknek megfelelő elsajátítása biztosíthatja a jól és hosszabb távon alkalmazható szaktudás megszerzését. A három informatikai alapszak közül országosan a legnépszerűbb a mérnökinformatikus irány, ami számottevő műszaki tartalommal bír. A mérnökinformatikus szakra felvettek száma közel másfélszerese a programtervező informatikus szakra felvettekének, ennél is nagyobb a különbség a gazdaságinformatikus szakhöz képest. A megfelelő egyetemi bemenetet biztosító középiskolai képzés ugyanakkor túl kevés kapcsolódó ismeretkörrel tárgyal, jelentős fejlesztésre szorít így az informatika, de a műszaki terület alapjául szolgáló fizika oktatása is.

Az is világosan látható, hogy az informatika és a műszaki informatika egyre jobban szerephez jut egyéb felsőfokú képzési területeken is. Szorosan kötődik a villamosmérnöki, a gépészmérnöki és sok más műszaki és természettudományos ismeretekhez, de módszereit és eszközeit használják az orvostudomány, a társadalomtudományi és humán területekkel foglalkozók is.

Ezek alapján a középfokú képzésben fontos az egyes tárgyakat egymáshoz közelíteni, az egyes órákhoz más órák ismeretanyagát határozottabban használni. A jelenlegi erős diszciplináris elkötelezés nem segíti kellőképpen az említett oktatási célok elérését.

A Magyar Tudományos Akadémia támogatásával működő MTA-SZTE Műszaki Informatika Szakmódszertani Kutatócsoportunk [1] egyik fő célkitűzése olyan műszaki informatikához kötődő oktatási módszerek és anyagok fejlesztése, melyek a közvetlenül segíthetik a középiskolai és egyetemi képzést akár több szakterületen is. A következőkben tárgyaljuk ennek néhány fontosabb kérdését és elvét, és példaként bemutatjuk a népszerű Arduinohoz [2] fejlesztett univerzális szenzorinterfészünket is, mely a demonstrációs lehetőségek mellett különböző felkészültségű tanulók gyakorlati munkáját is támogathatja.

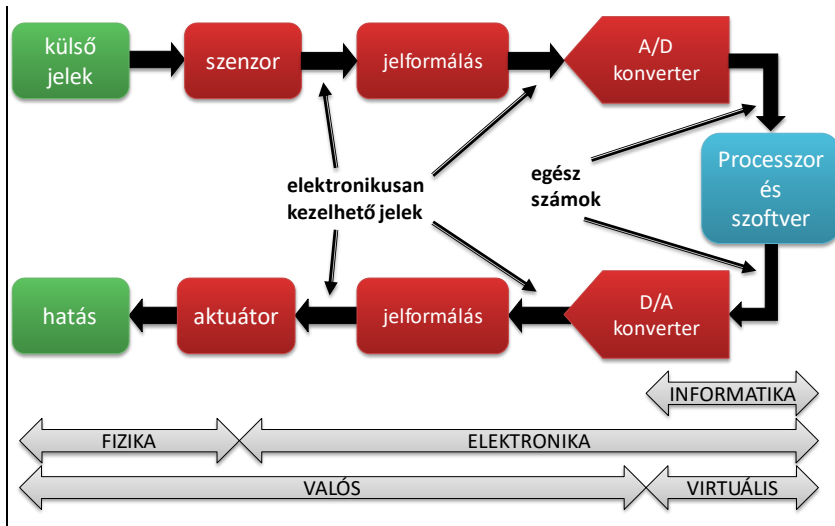
2. A műszaki informatikai módszerek oktatási alkalmazásának fontosabb kérdései

2.1. Használható tudás megszerzése

Az oktatás modernizálásának egyik időszerű kérdése az, hogy miként lehet megfelelően alkalmazkodni a rendkívül gyorsan változó környezethez. Gyakran hangzik el, hogy túl sok és elavult a tananyag, az iskolai oktatás során megszerzett ismeretek a gyakorlatban nem alkalmazhatóak. Ugyanakkor tapasztaljuk, hogy a tanulmányok folytatása közben jelentősen átalakulhatnak a környezetünkben megtalálható eszközök, szakmák szűnnek meg és újak jönnek létre. Nyilvánvaló, hogy minden eddiginél fontosabb megtalálni azokat a legalapvetőbb általános elveket, melyek alapjául szolgálnak jelenlegi és jövőbeli eszközeink működésének is. Sokszor ezek az elvek más szakterületeken vagy akár természeti folyamatokban is megfigyelhetők, így tágabb értelemben is megközelíthetők. Ennek szemléltetésére nézzük a következő példát: az emberi lét alapfunkcióihoz tartozik az érzékelés, amelynek során a külvilág jelei különböző hatások útján ingerületeket (jelet) hoznak létre, amelyek az agyba jutva feldolgozható információt jelentenek. A feldolgozás eredményeképp pedig a szervezet képes válaszreakcióra, amelynek során az agyból kijutó ingerület (jel) az izmok mozgatása révén hatást gyakorolhat a környezetre. Teljesen hasonló elven működnek a mai legmodernebb digitális, szoftvereket futtató készülékeink is, amelyek általános felépítését az 1. ábra szemlélteti.

Túlnyomórészt az információ feldolgozásának hatékonysága dönti el, mennyire hasznos – mai megfogalmazással: mennyire „okos” – egy ilyen eszköz. A processzorokat tartalmazó, szoftvereket futtató rész tulajdonképp egyfajta taníthatóságot biztosít. A szoftver adja a tudást, a tanítást a programozó végzi el, de részben akár a felhasználónak is lehet ebben szerepe.

Természetesen számos hasonló példát lehet hozni a programozásban alkalmazott módszerek, algoritmusok univerzalizálására, akár hétköznapi tevékenységekkel való párhuzamokra is. Az ilyen általános működési elvek hatékony oktatásba vonása sokat segíthet a szoftverek és az azokat futtató műszaki eszközök működésének alapvető megértésében, a lehető legnagyobb átláthatóságuk biztosításában. A tanulók, hallgatók így az éppen használt technikai részletek helyett jobban tudnak a valódi célra és feladatra összpontosítani, a megfelelő megoldásokat rugalmasabban, önállóbban lehetnek képesek megtalálni. Ennek hiánya tapasztalataink alapján komoly gondokat okoz a középiskolai, de az egyetemi képzésben is, gátolja a magabiztos tudás és a kreativitás fejlődését.



1. ábra: A valós jeleket szenzorok alakítják elektronikusan kezelhető jelekké, a jelformálás megfelelő nagyságú feszültségeit analóg-digitális átalakító (A/D konverter) alakítja számokká, melyeket szoftverek dolgozhatnak fel. A lánc megfordítható, így a rendszer a környezetre hatást tud kifejteni.

2.2. Elterjedt műszaki informatikai oktatási eszközök

Érdeemes felhívni a figyelmet még egy körülményre. Egyre több műszaki informatikai alapú eszköz érhető el széles körben, akár egészen olcsón is. Ezek egy része eleve oktatási célú, de hobbisták közt népszerűek is hozzáférhetőek, melyeket gyakran használnak diákok és tanárok is.

2.2.1. LEGO robotok

Közismertek a LEGO robotok [3], amelyek ára viszonylag magas, de nagyon hasznosak az oktatásban: segítségükkel programozás, különböző jelek mérése (szenzorok alkalmazása), eszközök közötti kommunikáció, szoftveresen irányítható mechanikai rendszerek (robotok) építése tanulható és tanítható játékosan, élményszerűen. A sok előny mellett azonban fontos kiemelni azt is, hogy a komponensek átláthatósága elég csekély, az integráltság miatt nem derülnek ki részletek. Nyilvánvalóan a fejlesztők célja inkább az volt, hogy minél kompaktabbak, akár háttértudás nélkül is egyszerűen használhatók lehessenek az eszközök, készletek.

2.2.2. Egylapos számítógépek

Rendkívül népszerű a kezdetben kimondottan oktatáshoz kifejlesztett Raspberry Pi [4] egylapos számítógép és a leginkább hobbisták – köztük diákok, tanárok – számára megkerülhetetlen Arduino áramkör is. Az Arduino tulajdonképpen egy olyan kártya, amelyen egy az iparban is használt mikrovezérlő kontaktusai vannak könnyebben hozzáférhető csatlakozókra kivezetve. A hobbisták, diákok számára főleg az egyszerű fejlesztőkörnyezet és az interneten elérhető rendkívül bőséges információ, az olcsón beszerezhető kiegészítő áramkörök széles választéka teszi nagyon kényelmessé, könnyen használhatóvá.

Ezek az eszközök már sokkal közelebb állnak a gyakorlatban alkalmazott műszaki rendszerekhez, a felhasználónak többet kell tudnia a digitális jelekről, interfészekről, elektronikai megoldásokról, mivel ezekkel közvetlenebbül találkozik. Használatuk sok esetben mégis elég egyszerű és igen jó átláthatóságot biztosítanak, ami az oktatás számára kimondottan fontos.

A Raspberry Pi és Arduino áramkörök oktatási alkalmazásának egyik veszélye az, hogy szinte minden feladathoz található kidolgozott megoldások, amelyek bár tanulságosak lehetnek, sokszor mégis inkább csak reprodukálásra ösztönöznek. Sajnos a sok elérhető ismeretanyag (mely oktatási használat esetén lényegében tananyagnak tekinthető) döntő részét ráadásul nem alapos műszaki tudással és szemlélettel, illetve megfelelő oktatói képességekkel rendelkező szakemberek készítették, így a megbízhatóságuk gyakran szakmai és didaktikai szempontból is kérdéses. Az autodidakta tanulás a kiemelkedőbb képességű diákok esetén még így is hasznos lehet, de a tanulók többségénél helytelen berögződést, felszínesebb tudást eredményezhet.

2.3. Az műszaki informatikai módszerek oktatási elvei

Az előzőekben vázolt kérdéseket szem előtt tartva választottuk meg kutatócsoportunk oktatásfejlesztési elveit. A legfontosabb pontokat az alábbiak foglalják össze.

2.3.1 Multidiszciplinaritás

A műszaki informatikai módszerek sokféle tanórán használhatók: informatikai oktatás mellett alkalmasak egy inga lengési idejének mérésére fizikaórán, pH érték mérésére kémiaórán, vagy akár az ujjbegyben kimutatható vérnyomásingadozások és így a szív működés szemléltetésére biológiaórán is.

2.3.2 Átláthatóság

Fontos, hogy a tanulók minél jobban megértsék az eszközök felépítését, a működési alapelveket. Sokszor igen nehéz megtalálni az egyensúlyt, hogy ne túl felszínesen és nem is túl részletesen próbáljuk ezt megmutatni, így ezen a téren a kutatás kiemelten fontos. Ezt jól egészítik ki az eszközök közvetlen használata során szerzett tapasztalatok.

2.3.3 Szakmailag helyes alkalmazás

A műszaki informatikai eszközöket igen sokan használják, sokan osztanak meg alkalmazási javaslatokat és oktatási anyagokat is, melyek szakmailag problémásak lehetnek. A megoldás semmiképpen sem lehet az ilyen jellegű, egyébként sok ötletes és színességet jelentő megoldásoktól való eltanácsolás. Helyette a cél a kritikus gondolkodás, felülbírálati készség, a megfelelő szemlélet és igényesség kialakítása. Ehhez szükséges bizonyos alapvető szakmai ismeretek megszerzése, a magabiztosság megfelelő szintje, a fontosabb működési elvek ismerete. Természetesen nélkülözhetetlen a szakmailag megfelelő oktatási anyagok kidolgozása, a gyakrabban előforduló helytelen megoldások problémáinak megmutatása is.

2.3.4. Skálázhatóság

Az órákon résztvevő diákok képességei az informatikai területen különösen sokfélék lehetnek, a tárgy iránti érdeklődésük sem egyforma. Az órai feladatok legyenek olyanok, hogy mindenkinek lehessen sikerélménye, mindenki fejlődhessen. A műszaki informatikai módszereknél ez elég jól megvalósítható; sokféle szinten, különböző kiegészítésekkel oldhatja meg a tanuló az adott feladatot. Ezek mellett említhető az is, hogy az adott eszköz alkalmas lehet tanári szemléltetésre, más szakterületeken való felhasználásra, vagy akár kiindulópontja lehet egy olyan feladatnak, ahol a cél a fejlesztés.

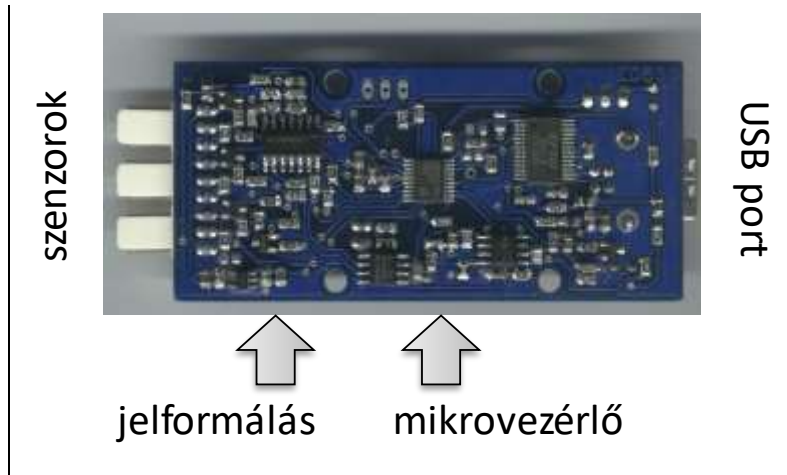
2.3.5. Gyakorlatorientáltság

A műszaki informatikai oktatási eszközök valódi működése, a valós jelek kezelése és hatások létrehozása eleve biztosít gyakorlatorientáltságot. A könnyen és olcsón hozzáférhető eszközök segítik a kísérletező oktatást, legyen szó akár tanári demonstrációról, akár iskolai vagy otthoni tanulói kísérletekről. Ez javíthatja az érdeklődés fenntartását, alkalmat adhat a közös munkára is.

3. Arduino szenzorinterfész a sokoldalú, gyakorlatias oktatás támogatásához

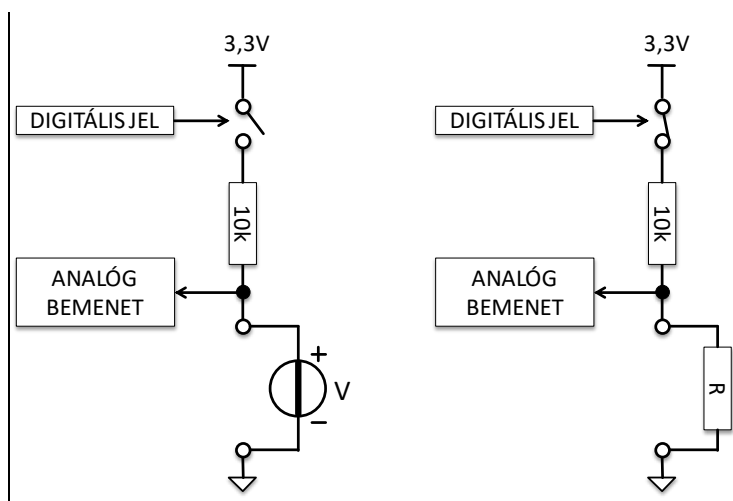
3.1. Az EDAQ530 rendszer

Néhány évvel ezelőtt nemzetközi és hazai közleményben mutattuk be az kísérletező oktatás számára kifejlesztett EDAQ530 rendszerünket [5-7]. A nyílt forrású hardver egy univerzális szenzorinterfész (2. ábra), amely egy analóg-digitális átalakítót és processzort is integráló mikrovezérlőre épül és tartalmaz egyszerű jelformáló áramkört is.



2. ábra: Az EDAQ530 univerzális szenzorinterfész áramkör fényképe.

A mikrovezérlőn és a személyi számítógépen futó szoftverek is nyílt forrásúak. Igen sokféle szenzor csatlakoztatható a bemenetekre, de ezek kezelése szándékosan nem automatikus, a felhasználónak kell az elektronikát konfigurálnia. Ez ugyanakkor nagyon egyszerű elvekre épül, amit jól szemléltet a 3. ábra. Az eszköz tartalmaz egy szoftveresen az áramkörbe kapcsolható, ismert értékű ellenállást, amit kikapcsolva tartunk, ha a szenzor feszültséget ad, bekapcsoljuk, ha a szenzor ellenállása függ a mérendő mennyiségtől. Az analóg bemenre jutó jel mindkét esetben feszültség lesz, ami alkalmas digitalizálásra.



3. ábra: Feszültség és ellenállás mérése. Ellenállás jellegű szenzorok csatlakoztatásakor a kapcsolót szoftver zárja, így az analóg bemenetre jutó feszültség értéke függ szenzor R ellenállásától: $3,3V \cdot R / (R + 10k)$. R értékét kOhm egységekben kell érteni.

Az EDAQ530 szoftver feldolgozási és megjelenítési lehetőségei is igen egyszerűek és átláthatók. A szenzor jeltípusának megadása mellett a felhasználónak kell kiválasztania, hogy a milyen matematikai összefüggés segítségével kapható meg a mérendő mennyiség értéke. Folyamatos mintavételezés mellett valós időben grafikonon vagy számok formájában jeleníthetők meg a jelek. Detektálhatók a jelek szintmetszési időpillanatai is, amik eseményeket azonosíthatnak – ez igen általánosan teszi lehetővé időtartamok, periódusidők mérését.

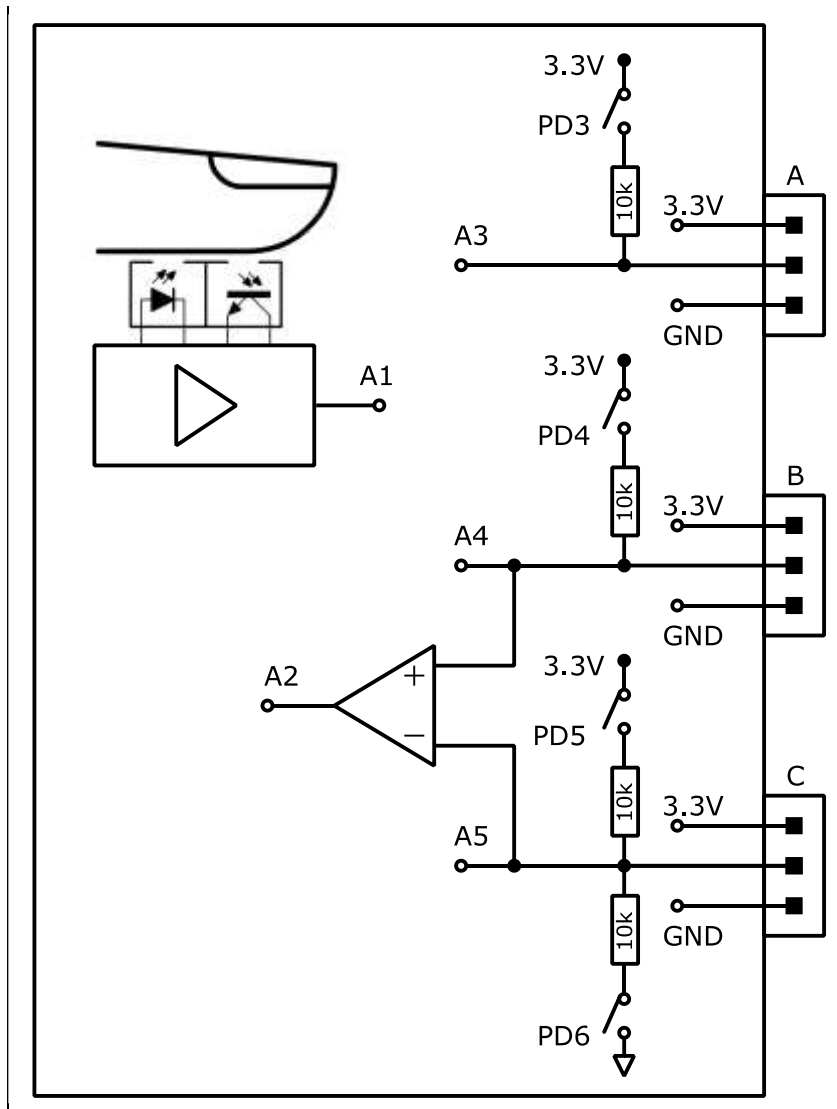
Az EDAQ530 rendszert számos középiskolában használják kísérletezésre, melyről doktori értekezés és közlemény is beszámol [8,9]. A tanári bemutatók mellett diákok mérhetik vele a hőmérséklet időbeli változását melegítéskor vagy lehűléskor, fotokapukkal mérhetik ingák lengési idejét, de akár szívritmusuk időbeli változásait is.

Bár a hardver egyszerű, az általános hozzáférhetőség nem biztosított, kevesen képesek megépíteni a szükséges elektronikát. Ezek mellett a szoftverek módosítása is komolyabb tudást igényel, így ezeknek csak a felsőfokú informatikai oktatásban lehet közvetlenebb szerepe.

Ezekből kiindulva a népszerű Arduino platformra ültettük át a megoldás legfontosabb elemeit.

3.2 Az Edaquino rendszer

Az Edaquino nevet kapott rendszerünk esetében a hardver két modulból áll. Az Arduino panel tartalmazza a mikrovezérlőt – és egyúttal integrált analóg-digitális átalakítót –, valamint az USB csatlakozást és tápellátást. A hiányzó univerzális szenzorinterfészt és az ehhez tartozó áramkört – melynek egyszerűsített vázlata a 4. ábrán látható – úgynevezett Arduino „shieldként” [10], feltét áramkörként terveztük meg és készítettük el. Mind a hardver, mind a szoftver változatlan funkciókat biztosít: azonos módon csatlakoztathatók a szenzorok, a számítógépen futó szoftver működése sem változott.



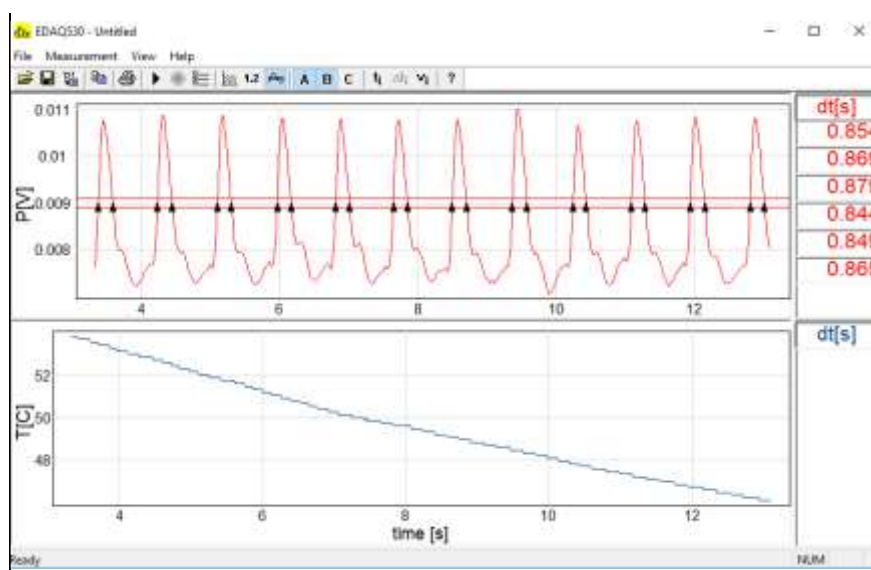
4. ábra: Az Arduino kiegészítő áramkörének egyszerűsített vázlata. Az Arduino PD3, PD4, PD5 és PD6 portbitjeivel szoftveresen vezérelhetők a kapcsolók, az A1, A2, A3, A4, A5 jelek pedig az analóg-digitál konverter bemeneteire jutnak. A LED-fototranzisztor pár általános mozgásérzékelés mellett alkalmas a szív működés hatására az ujjban változó vérmennyiségjel optikai elvű követésére is [11,12], és a szívütések időpillanatai is meghatározhatók.

Az 5. ábrán látható az új, Arduino alapú rendszer mellett az eredeti EDAQ530 eszköz és számos szenzor is.



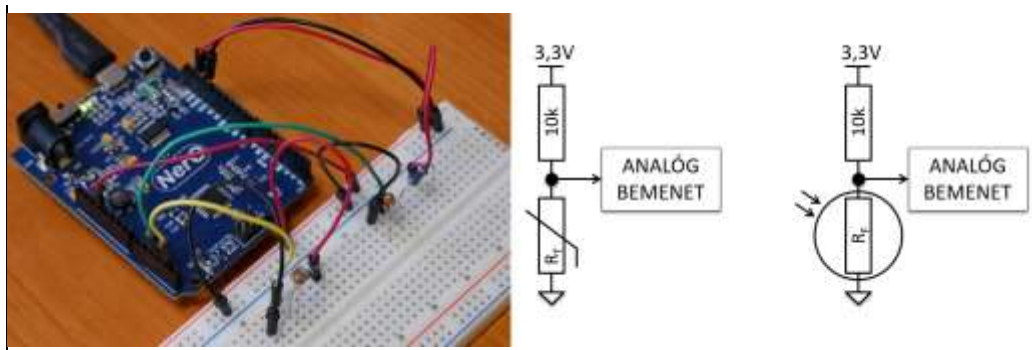
5. ábra: A baloldali fotón látható az eredeti EDAQ530 egység, az Arduino panel és a csatlakoztatott Edaquin shield, valamint több szenzor. A jobboldali kép az Arduinora csatlakoztatott shieldet mutatja, ahol a mutatóujj a LED-fototranzisztor pár felett van (lásd a 4. ábrát is).

A szoftver egy jellemző képernyőképét a 6. ábra mutatja. A felső görbe az ujjbegyben változó vérmennyiséget szemlélteti. A jel szintmetszéseinak érzékelése lényegében eseménydetektálásnak felel meg, ami igen általános megközelítést jelent és az oktatás szempontjából is fontos elveket ismertet. Az események között eltelt idő a szívritmust méri ütésről ütésre, az értékek a jobboldali részen láthatók. Ez a példa kapcsolódik a szenzorok működéséhez és kezeléséhez, mérésekhez, szoftverekkel végezhető jelfeldolgozáshoz és megjelenítéshez, fizikai és biológiai jelenségekhez is. Az alsó görbe egy független hőmérsékletmérést mutat.

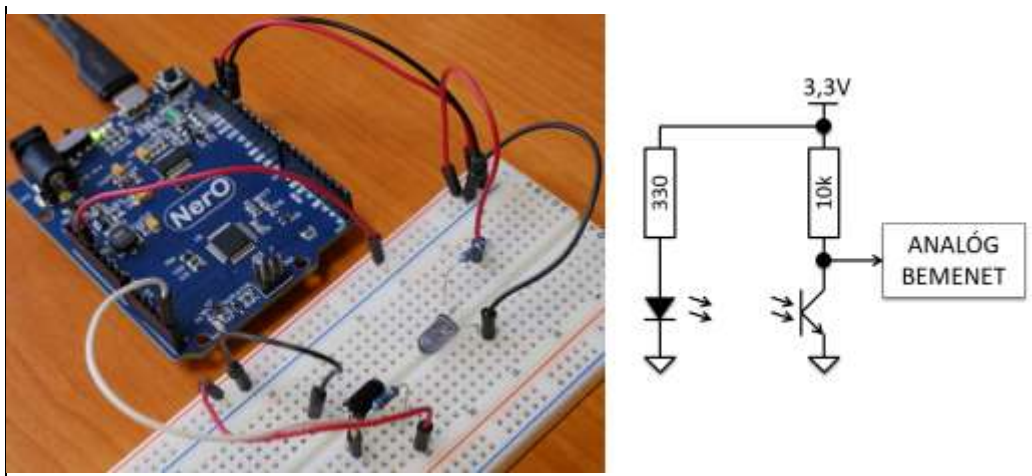


6. ábra: A számítógépen futó szoftver képe két független mérést szemléltet. A felső grafikon az ujjban levő vérmennyiség ingadozásait mutatja. A jobb oldalon az egyes szintmetszések közti idő látható, mely a szívütések közti időtartamokat méri. Az alsó grafikon egy lehűlési jelenséget követ hőmérsékletfüggő ellenállás (termisztor) segítségével.

Mivel a shield áramkör viszonylag egyszerű – az EDAQ530 áramköreinek csak egy részét tartalmazza – így egyes részei vagy akár ez egész házilag is megépíthető prototípuspanelen, vagy forrasztást sem igénylő próbapanelen. Két példa látható egy-egy részáramkör megvalósítására a 7. és 8. ábrán.



7. ábra: Termisztor (hőmérsékletfüggő ellenállás) és fotocella (fényérzékeny ellenállás) szenzorok áramköri kapcsolása próbapanelen. Az elrendezéssel hőmérséklet mérése mellett olyan tárgyak mozgása érzékelhető, melyek a szenzorra jutó fény intenzitását befolyásolják.



8. ábra: Infra LED-ből és fototranzisztorból felépített fénykapu [13,14] áthaladó tárgyak detektálásához.

Az egyszerű hardveres összeállítás elvégzése mellett a diákok bevonhatók szoftverek készítésébe is. Az Arduino integrált fejlesztői környezet segítségével könnyen lehet a szenzorok jeleinek digitalizálását elvégezni, elemi számításokat végezni és ezek eredményeit megjeleníteni. Középiskolai tehetséggondozó foglalkozásokon nagy sikere van a próbapanelt alkalmazó feladatoknak. A diákok a gyakorlatban kapcsolják össze az informatikai és a fizikai ismereteiket, az erős tantárgyi koncentráció mellett azt is megtapasztalják, hogy valóban felhasználható tudásra tehetnek szert.

4. Összefoglalás

Az informatika és sok más szakterület középiskolai és egyetemi szintű oktatásában is nagy szükség van a mai modern műszaki eszközök és módszerek integrálására. A műszaki informatika megoldásokat kínál sokféle képzettségi szint számára, könnyen elérhető és olcsó eszközök állnak rendelkezésre. A napjainkban egyre fontosabb multidiszciplináris és gyakorlatorientált jelleg mellett biztosítható a jó átláthatóság és szakmai megfelelés is.

A modern informatikai képzés támogatásához hoztuk létre az EdaQuino rendszert, amely az elterjedt Arduino alapra épülve sokféle szenzor univerzális kezelését támogatja átlátható módon. A rendszer könnyen elkészíthető, széleskörűen elérhető a diákok és tanárok számára is. Ez a megoldást arra is lehetőséget nyújt például, hogy az informatikában kevésbé jártas fizikatanárok kísérletezéshez tudják használni ugyanazt az eszközt, amellyel a diákok más órákon is dolgoznak. Igen sokféle nehézségi fokú feladatok adhatók, így a középiskolai képzés mellett az egyetemi, tanártovábbképzési programokban is jól használható a rendszer.

A közeljövő feladatai közé tartozik kapcsolódó oktatási anyagok kidolgozása, középiskolai oktatási tapasztalatok szerzése is.

Köszöntenyilvánítás

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta.

Irodalom

1. *Az MTA-SZTE Műszaki Informatika Szakmódszertani Kutatócsoport honlapja*
<http://www.inf.u-szeged.hu/miszak/> (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
2. *Arduino információs oldalak*
<https://www.arduino.cc/>, (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
3. *Lego robotok információs oldalai*
<https://www.lego.com/en-us/mindstorms>, (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
4. *Raspberry Pi információs oldalak*
<https://www.raspberrypi.org/>, (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
5. Katalin Kopasz, Péter Makra and Zoltán Gingl, *EdaQ530: a transparent, open-end and open-source measurement solution in natural science education*, Eur. J. Phys., (2011), **32** 491
6. Gingl Zoltán, Mingesz Róbert, Makra Péter, Kopasz Katalin, Mellár János, *Nyílt forrású szenzor-USB interfészek fejlesztése interdiszciplináris oktatás támogatására*, Informatika a felsőoktatásban konferencia, 2011, Debrecen, Magyarország (2011). 1140 p., pp. 981-988.
7. *Education development projects*
<http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/>, (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
8. Kopasz Katalin, *Számítógéppel segített mérőkísérletek a természettudományok tanításához*, Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem. (2014), <http://doktori.bibl.u-szeged.hu/1934/>, (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
9. Kopasz, Katalin; Makra, Péter; Gingl, Zoltán, *Student Experiments and Teacher Tests Using EDAQ530*, Acta Didactica Napocensia (2013) **6** 41
10. *Arduino shield információk*
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoShields>, (utoljára megtekintve: 2017.11.03.)
11. Zoltán Gingl, *A photoplethysmograph experiment for microcontroller labs*, International Journal Of Electrical Engineering Education, (2012), 49:(1) pp. 42-60.
12. Nagy, Tamás, and Zoltán Gingl, *Low-cost photoplethysmograph solutions using the Raspberry Pi*, Computational Intelligence and Informatics, CINI 2013, IEEE 14th International Symposium on. IEEE Budapest, Hungary (2013), pp. 163-167.
13. Gingl Z, Mingesz R, Makra P, Mellár J, *Review of sound card photogates*, Eur. J. Phys., (2011), **32** 905
14. Gingl Z, Kopasz K, *High-resolution stopwatch for cents*, Phys. Educ. (2011) **46** 430