

Arduino kot telematska platforma v pedagoškem procesu

Andrej Štern, Jože Guna

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za telekomunikacije
E-pošta: Andrej.Stern@fe.uni-lj.si

Arduino as telematic platform at pedagogical activities

Arduino is an open hardware and software concept designed around Atmel AVR microcontrollers, C-like programming language, intuitive IDE including editor/compiler and lots of pre-made examples to make development easier. The interface to the programming computer is provided through USB port and built-in Arduino bootloader. The hardware layout exposes numerous I/O, A/D and PWM ports to be connected to external communication modules or shields.

This paper presents the practical evaluation of telematic systems during laboratory practices at our faculty, describing numerous possibilities to evolve this concept further in the direction of ubiquitous IoT.

1 Uvod

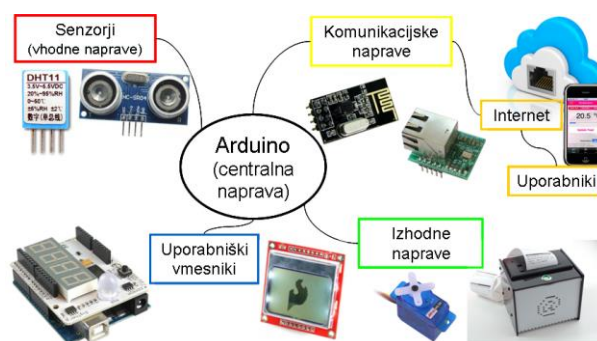
Študenti elektrotehnike se tekom študija soočajo z veliko izzivi, med katere sodi tudi tipično razhajanje med osvojenim poznavanjem teorije in prenosom znanja v prakso. Sicer odlične zamisli ostanejo večkrat le v glavah posameznikov ali zapisane na študijskem gradivu, saj zmanjka poguma za naslednji korak. Po pogovoru s študenti so glavni razlogi za opustitev pilotnih realizacij pomanjkanje praktičnih veščin, razpoložljivost orodij in opreme, finančni vložki v izgradnjo ter pomanjkanje časa zaradi obremenitve s študijem in drugimi dejavnostmi.

S podobnimi izzivi so se soočali tudi pri načrtovanju procesov interaktivnosti v italijanski Ivrei, kjer so že leta 2005 svojim študentom ponudili celovit koncept odprte strojne in programske opreme z nazivom Arduino. Zaradi ukinjanja inštituta IDII (Interaction Design Institute Ivrea) so ideje prešle v podjetniške vode, kjer so se razvijale naprej v smeri zagotavljanja odprtosti koncepta in principa vstavi-in-poženi (PnP). Na spletni strani Arduino [1] so tako objavljeni vsi načrti razvojnih plošč v formatu Eagle ter pripadajoča brezplačna programska oprema z gonilniki USB. Prav ta razpoložljivost vzpodbuja številne razvijalce in podjetnike, da osnovne plošče (npr. Uno, Mega, Mini, Nano, Lilypad) legalno spreminjajo in dopolnjujejo v obliki lastnih izdelkov, izpeljanih iz osnovnega koncepta. Tako lahko preko spletne trgovine eBay s Kitajske kupimo izvedenke Iduino, Funduino oz. kar Arduino-združljive naprave že od tretjine cene originalnih plošč naprej oz. okoli 10 €. Po izkušnjah izdelki z vzhoda bistveno ne odstopajo od postavljenih norm italijanskih plošč, ki sicer s sloganom »Made-in-

Italy« in ustrezno zahvalo zagotavljajo ohranjanje evropskih delovnih mest. Zato tudi dostopna cena s spleta študente pogosto premami, da se odločijo storiti pomemben korak v smeri praktičnega razvoja prav z izbiro teh priljubljenih 8-bitnikov.

2 Izbira ustrezne Arduino plošče

V študijskem letu 2012/13 smo na naši fakulteti prvič izvajali izbirni predmet Mobilni in telematski sistemi, kjer smo pri praktičnih laboratorijskih vajah z 31 slušatelji platformo Arduino uporabili kot osrednji gradnik telematske arhitekture z značilnimi sklopi.



Slika 1: Shematski prikaz telematskega sistema

Načrtovanje vaj se je začelo z izbiro ustrezne izvedenke razvojnih plošč. Le-te se razlikujejo po uporabljenem Atmel mikro-krmilniku, spominu, številu serijskih vrat, vhodov A/D in izhodov PWM, zmožnosti USB gostitelja in napajalni napetosti. V spodnji tabeli je prikazanih nekaj najbolj razširjenih modelov, med katerimi izstopa novejši 32-bitni DUE z mikro-krmilnikom ARM s hitrostjo 84 MHz in pomnilnikom FLASH 512 kB, pri ostalih pa hitrost znaša le 16 MHz s pomnilnikom med 32 kB in 256 kB. Najnižjo ceno trenutno dosega Leonardo, saj vsebuje odjemalca USB kar v svojem MCU namesto v zunanem čipu, najbolj razširjena in podprta pa sta UNO in MEGA. Posebej izstopa oblika Lilypad, namenjena pritrditvi na obleko.

Tabela 1: Primerjava zmogljivosti različnih Arduino plošč [2]

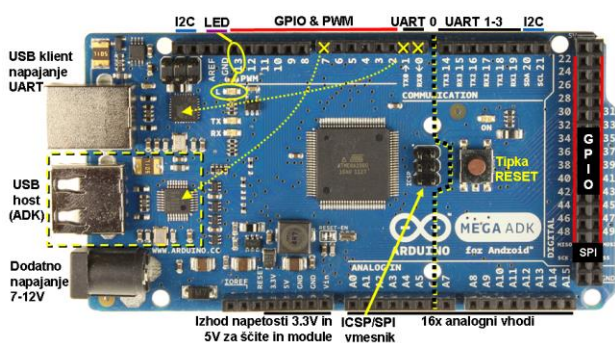
Model	MCU	Ser.	A/D	PWM	USB	Nap.
UNO	MEGA328	1	6	6	-	5V
MEGA	MEGA2650	4	16	14	-	5V
ADK	MEGA2650	4	16	14	DA	5V
Leonardo	MEGA32u4	1	12	7	-	5V
Lilypad	MEGA328	1	6	6	-	2-5V
DUE	SAM3X8E	4	12	12	DA	3.3V

3 Razvojna plošča MEGA ADK

Po primerjavi plošč in preučitvi potreb pedagoškega procesa je bila izbrana različica MEGA ADK. Bogato opremljena plošča ustreza zaradi zadostnega števila možnih komunikacijskih razširitev in kot edina poleg odjemalca USB ponuja tudi gostitelja s podporo Google ADK (angl. Accessory Development Kit).

ADK omogoča povezljivost med telefoni z OS Android in zunanji napravami preko vodila USB ali tehnologije Bluetooth s protokolom AOA (angl. Android Open Accessory). Arduino z dodano knjižnico *AndroidAccessory* [3] v tem primeru postane zunanji pripomoček, ki vodi nanj priključene senzorje do aplikacije v telefonu. Povezava je dvosmerna in omogoča tudi daljinska upravljanja izhodov Arduina s pametnim telefonom (npr. dodajanje komunikacij ZigBee in Bluetooth Smart). Programska podpora ADK za Android naprave je zagotovljena od različice 3.1 navzgor z nekaterimi delujočimi izjemami v družini 2.3.x.

Za starejše telefone je možno funkcionalnost ADK delno nadomestiti z vgrajenim načinom razhroščevanja ADB (angl. Android Debug Bridge), ki je vsebovan že od različice Androida 1.5 naprej. Tu logična povezava med telefonom in razvojno ploščo deluje z izmenjavo sporočil TCP do strežnika MicroBridge na telefonu. Osnovni napotki z veliko primeri so na voljo na spletnih straneh [1] in [4].



Slika 2: Možne razširitve razvojne plošče MEGA ADK

Razširitvene možnosti plošče MEGA ADK zajemajo poleg USB-gostitelja še množico splošnih vhodno-izhodnih priključkov (GPIO), 16 10-bitnih analognih vhodov, do 14 izhodov PWM, 4 serijska vrata TTL UART, digitalna vodila I2C in SPI ter druge priključke (napajanje, reference za A/D, časovniki, prekinitve).

Pri uporabi posameznih priključkov ugotovimo, da so nekateri od njih že namensko povezani in s tem zasedeni. UART 0 je tako povezan neposredno do USB B vtičnice, saj se uporablja za nalaganje programov in izpis rezultatov na serijski monitor (konzolo) v okolju Arduino IDE, GPIO 7 pa predstavlja kontrolno povezavo (CS) do SPI-na-USB mostu MAX3421E. Določeni priključki se tudi ponovijo na več mestih, npr. isti SPI signali so dosegljivi na lokacijah 50-53 in tudi na razvojnem vmesniku ICSP (angl. In-Circuit Serial Programming).

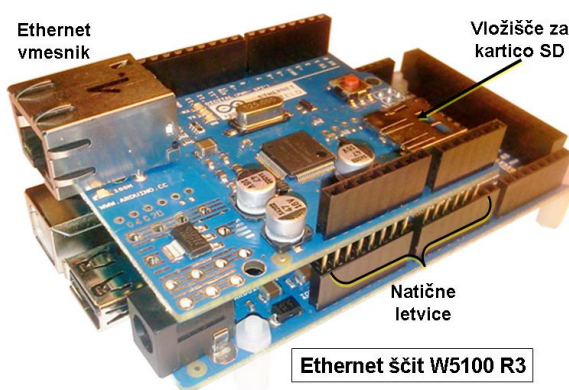
Arduino MEGA ADK je dimenzijsko ploščica večjega formata, a še vedno z značilno razporeditvijo sklopov

priključkov. Od manjših plošč (UNO, Leonardo) se razlikuje po dodatku, na sliki 2 desno od vmesnika ICSP, ločeno z navpično črtkano črto.

4 Nadgradnje v obliki ščitov

Razporeditev priključkov na letvicah je postala zaščitni znak odprte Arduino opreme. Kljub temu, da razmik letvic med signali 0-7 in 8-13 ne sovпада z 0.1" mrežo, so postavitev prevzeli tudi nekateri drugi proizvajalci razvojnih platform, ki z mikro-kontrolerji Atmel ali konceptom Arduino plošč nimajo nič skupnega (npr. Olimexino z STM32 ali Infineon XMC1100 Boot Kit).

Glavni razlog za prevzemanje oblike je razpoložljivost dodatnih natičnih modulov oz. ščitov (angl. shields). Ščiti so razvojne plošče z namensko funkcionalnostjo, kot npr. Ethernet vmesnik, moduli GSM, Wi-Fi, Bluetooth in ZigBee, gostitelj USB, kartica SD, krmilniki za servo in koračne motorje, zasloni LCD in TFT, tipkovnice in nenazadnje tudi proto-plošče, kamor lahko sami dogradimo ustrezno funkcionalnost. Pogledano od zgoraj se priključna mesta Arduino na ščitih ponovijo, na spodnji strani pa se nahajajo vtiči, ki se spojijo s spodaj ležečo Arduino ploščo ali drugim ščitom.



Slika 3: Primer nameščenega Ethernet+SD ščita

Kaskadno združevanje je mogoče v več nadstropij, pri čemer nastopijo omejitve. Ščiti lahko zasedajo večje število priključkov, ki se na drugih nadstropjih ne smejo ponoviti. Najpogosteje so to kontrolne (CS za vsako priključeno napravo SPI) in vhodne povezave (tipke, analogni senzorji), komunikacija točka-točka (UART) ter namenski izhodi (zvočniki, LED, motorji).

Pri poljubnem sestavljanju nas omejuje tudi razpoložljivi tok, ki znaša pri MEGA ADK 40 mA na priključno mesto GPIO, 50 mA na 3.3V izhod in skupno največ 500 mA pri priključitvi le na USB. Priporočeno dodatno napajanje znaša pri 9V vsaj 1500 mA, od tega je polovica namenjena napajanju priključenega telefona. Ščiti z večjo porabo (npr. močna osvetlitev LED, motorji) omogočajo dodatno zunanje napajanje na sami plošči, tipično tudi z višjimi napetostmi. Pri tem je potrebno ravnati pazljivo, saj mikro-krmilnik na svojih priključkih dovoli največ 5.5V.

Pri izbiri opreme je priporočljivo izbirati zadnje različice, ki ponujajo skladnost z nadgradnjami Arduino koncepta. Primer: vodilo SPI se na ščitih različice R3 odjema iz vmesnika ICSP namesto priključkov 10-13.

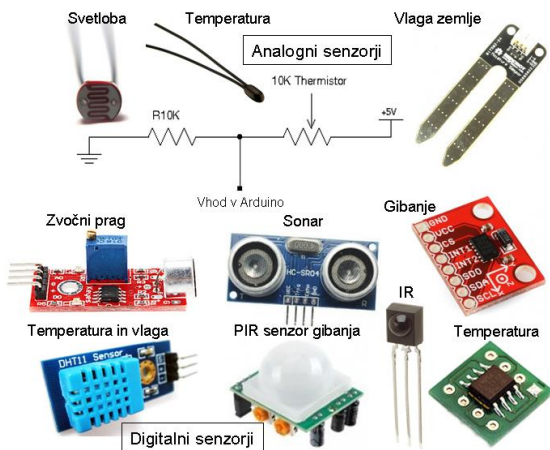
5 Druga priporočljiva oprema

Osnovni pribor opreme, sestavljen iz plošče Arduino MEGA ADK in Ethernet ščita, velja dopolniti s prototipnimi ploščami (angl. protoboard) in vezicami. Namesto že pripravljenih vezic določenih dolžin se lahko uporabijo raznobarni koluti žice ustreznega preseka okoli 0,30 mm² oz. ameriške mere #22 AWG, da študenti vezice izdelajo po lastnih potrebah.



Slika 4: Primer pripravljenega pribora za izvedbo vaje

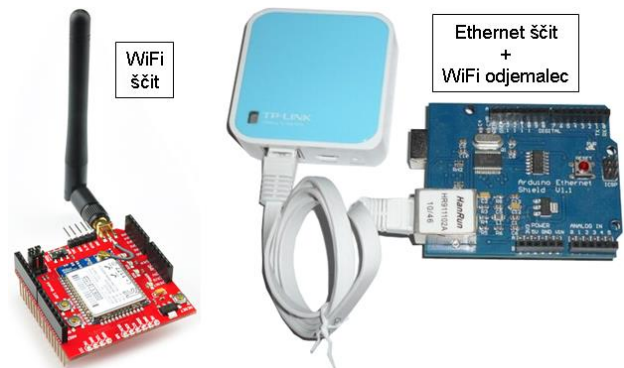
Po shemi osnovnega telematskega sistema so bili za zajem vhodnih parametrov potrebni analogni in digitalni senzori. Analogni senzori, kot npr. termistorji, svetlobni upori (LDR) in merilci vlage, se priključujejo v obliki napetostnega delilnika, zato je potrebno zagotoviti ustrezne upore. Zadostno se izkažejo že osnovni upori z mnogokratniki 10 (1 kohm, 10 kohm, 100 kohm), za priklop LED pa še tipični 470 ohm. Uporabljeni digitalni senzori so temperaturni na vodilu I2C, pospeškometri na vodilu SPI ter množica drugih s posebnimi protokoli, ki pa so v okviru Arduino skupnosti polno podprti (npr. sprejemnik IR).



Slika 5: Primeri uporabljenih senzorjev na vajah

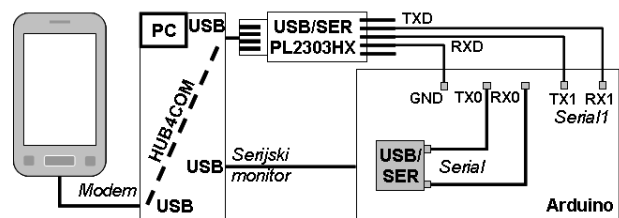
Naslednja skupina priključenih naprav so komunikacijski vmesniki do bližnjih naprav in svetovnega spleta. Za dostop do interneta je potrebno vzpostaviti povezavo IP, kar lahko za 8-bitne mikrokontrolerje v smislu upravljanja z obsežnim skladom TCP/IP predstavlja problem. Zato so priporočeni komunikacijski dodatki v obliki avtonomnih modulov, ki sicer stanejo nekoliko več, a omogočajo polno

povezljivost, upravljano preko vmesnikov UART ali SPI. Tipičen primer je Ethernet ščit na sliki 3 z osrednjim vezjem WizNet W5100 [5] in podporo protokolom TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP in PPPoE. Brezžično povezljivost v splet zagotovimo z uporabo brezžičnega LANa v obliki ščita, ki je v okolju Arduino polno podprt. Ker je cena za domače razvijalce precej visoka in z Ethernet ščitom že razpolagamo, lahko za brezžično povezljivost uporabimo tudi enostavni in poceni brezžični usmerjevalnik v DD-WRT konfiguraciji »odjemalec«.



Slika 6: Vzpostavitev brezžične povezave v internet

Posebno mesto povezljivosti zagotavlja uporaba modulov GSM/GPRS. Z njimi je možno pošiljati sporočila SMS, vzpostavljati mobilne paketne povezave ali celo govorne klice. Ker na samih vajah že uporabljamo mobilne telefone z OS Android, smo gonilnike za izvajanje modemskih AT-ukazov zagotovili z vmesnim osebnim računalnikom z nameščenimi gonilniki za modem, navideznimi serijskimi vrati s pretvornikom USB-SER in brezplačnim programom HUB4COM. Tako smo z obstoječo opremo uspešno nadomestili vložek v GSM ščite brez posebnih funkcionalnih omejitev.



Slika 7: Nadomeščanje GSM-ščita s telefonom

Povezovanje z bližnjimi napravami je možno z vmesniki brezžičnih osebni omrežij (WPAN), kot sta tehnologiji Bluetooth in ZigBee. Moduli Bluetooth (CSR HC-05, HC-06) in ZigBee (Xbee, Xbee Pro) se na Arduino ploščo povezujejo preko serijskih vrat (UART), ki pa na strani modulov prenesejo le 3.3V nivoje, zato je potrebna dodatna vmesna prilagoditev. Ker imajo ti moduli že vgrajene komunikacijske sklade, jih lahko krmilimo s pomočjo razširjenih ukazov AT.

Najbolj preproste rešitve brezžičnega povezovanja na kratke razdalje brez posebnih omrežnih topologij (tipično le točka-točka) lahko zagotovimo z radijskimi moduli na 434 MHz, 868 MHz ali 2.4 GHz, kot so RFM12B, NRF24L01 ali preprosti moduli ASK.

6 Izvajanje vaj

V študijskem letu 2012/2013 smo z opremo Arduino izvedli 6 obširnih vaj. Po uvodni anketi se je izkazalo, da so se slušatelji vaj s programiranjem in praktičnim delom srečali predvsem pri obveznih predmetih računalništva v 1. letniku, zato njihovo predznanje na področjih računalništva po nekaj letih ni bilo globoko. Izkazalo se je pomanjkanje poznavanja primerov dobre prakse iz elektronike, kot npr. izbira ustreznih barv žic za napajanje in notranja vezava prototipnih plošč. Prav tako pa je bilo moč opaziti slabše poznavanje snovi s področij vodil in brezžičnih komunikacij, obravnavano pred 2 letoma. Zato smo se nalog lotili postopoma.

Vsaka vaja je vsebovala ponovitev že osvojenih izkušenj in osrednji del, temelječ na pred-pripravljenih primerih v okolju Arduino IDE, ki sicer razhroščevalnika ne vsebuje. S spoznavanjem le-teh je bil začetek enostaven, pri nadgrajevanju z lastno programsko kodo pa je bilo učinke sprememb tudi lažje opazovati.

V uvodnih vajah so slušatelji spoznali razvojno ploščo MEGA ADK in Arduino IDE 1.5.2 s serijskim monitorjem (konzolo) in možnostjo t.i. null-modem povezav med dvema ploščama. Sledilo je spoznavanje z digitalnimi in analognimi priključki z uporabo tipk, svetil LED in termistorjev. V naslednjem koraku so bila uporabljena vodila I2C in SPI za priklop senzorjev ter Ethernet ščita. Zgrajen je bil sistem spletnega odjemalca, kjer je plošča brskala za podatki po spletu, in sistem spletnega strežnika, ki je stregel senzorske podatke okoliškimi odjemalci. Ob tem je bila izvedena analiza pošiljanja in sprejemanja HTTP-zahtev, saj Ethernet ščit spletnega strežnika in odjemalca HTTP nima vgrajenega.



Slika 8: Arhitekturi spletni strežnik in spletni odjemalec

Naslednji korak je zajemal vključitev v širšo skupnost Interneta stvari (IoT) z registracijo v spletno storitev Cosm (danes poimenovan Xively [6]) in nalaganje podatkov s senzorjev v oblak.



Slika 9: Spletna storitev Cosm (danes Xively)

Po spletu je bilo na vrsti upravljanje z modemi po sliki 7, čemur je za zaključek sledil še glasbeni finale, v katerem so posamezne plošče preko radijskega modula ASK sprejele ukaz dirigenta in na piskaču odigrale ton, ki je predstavljal del celotnega orkestra.

Na koncu vsakega navodila za izvedbo vaj je bil pripravljen prostor za uresničevanje lastnih idej s

pripravljenim mestom za vezalno shemo, seznamom uporabljene opreme in zapisom opažanj. Študenti so si lahko iz nabora dodatnih modulov in elektronskih sklopov izbrali poljubne elemente in jih uporabili kot dopolnilo že izvedene vaje ali začetek novega manjšega projekta. Zato so neobvezne nadaljevalne aktivnosti dopolnitev in dodatnega razvoja občasno potekale tudi še 2 uri po končanem rednem delu.

7 Sklep

Pri srečevanju s kolegi na matični fakulteti sem večkrat naletel na vprašanje, zakaj investirati v izobraževanje s pomočjo zastarelih 8-bitnikov, če danes prevladuje 32-bitni svet skoraj za isto ceno, a zmore veliko več. Odgovor je enostaven - število bitov mikro-krmilnika, notranja arhitektura in optimizacija izvajanja v takih primerih nista v ospredju. Tu šteje predvsem praktično spoznavanje komunikacijskih in telematskih tehnologij skozi gradnike, podprte s strani ogromnega števila entuziastov, ki svoje delo po načelu odprtosti objavljajo na spletu. Po nekaterih neuradnih straneh število uporabnikov platform Arduino še vedno skokovito raste, čeprav je od pojava prvih plošč minilo že 8 let in se vmes koncept ni veliko spremenil.

V zadnjih letih so se pojavile tudi druge odlične razvojne rešitve, npr. Raspberry PI, ki so zasedle svoje mesto na lastnih segmentih, npr. večpredstavnost, video, spletni strežniki, snemalniki programov s spleta in podobno. Kljub odličnim lastnostim in celo nižji ceni od Arduino plošč z dodanim Ethernet ščitom se je njihova razširjenost upočasnila, saj uporabniki za delo z njimi potrebujejo več predznanja in poznavanje več različnih področij računalništva in elektrotehnike. Zaradi pomanjkanja razširitev pa so se začeli razvijati dodatki, ki omogočajo uporabo Arduino ščitov ali celo integracije zmogljivih računalnikov z dodatkom Arduino mikro-krmilnika (npr. Cooking-Hacks dodatek ali platforma UDOO).

Uporabnost predstavljenega koncepta so potrdili tudi nekateri slušatelji pilotne izvedbe vaj in predmeta Mobilni sistemi na smeri Multimedijske komunikacije. Med čakanjem na dostave Arduino pošiljk spletnih prodajalcev so si izposodili zalogo pripravljenih 12 razvojnih kompletov in nadaljevali z uresničevanjem lastnih idej. Zato verjamemo, da je opisan koncept uporabe plošč Arduino pravi korak za uspešen vstop v svet telematike in Interneta stvari.

Literatura

- [1] Spletna stran Arduino. Dosegljivo na: www.arduino.cc
- [2] Primerjava Arduino plošč na CMIYC. Dosegljivo na: www.cmiyc.com/projects/arduino-comparison-chart/
- [3] Arduino ADK opis. Dosegljivo na: <http://labs.arduino.cc/ADK/AccessoryMode>
- [4] Mitch Tech primeri ADB. Dosegljivo na: <http://mitchtech.net/category/tutorials/adb/>
- [5] Spletna stran proizvajalca WizNet. Dosegljivo na: <http://www.wiznet.co.kr/>
- [6] Spletna storitev Xively. Dosegljivo na: https://xively.com/whats_xively/