

# Vnorené systémy – vnorená inteligencia (5)

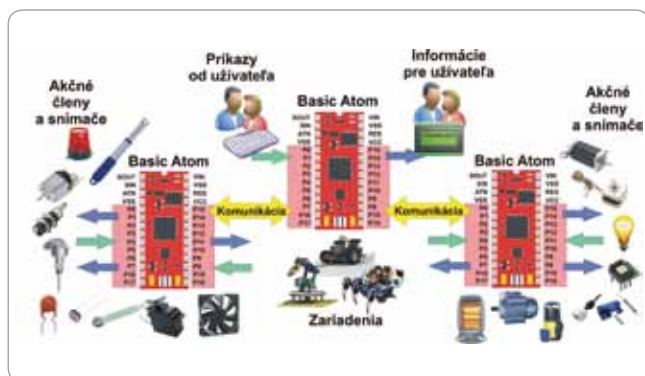
Štruktúra mnohých výrobkov často vyžaduje integráciu viacerých vnorených systémov alebo jedného štruktúrovaného vnoreného systému na zabezpečenie jednotlivých funkcií výrobku. Jednočipové mikropočítače sú pre svoje nesporné výhody na tento účel ideálne. Veľkou výhodou mikropočítačov je ich možnosť komunikovať s inými počítačmi alebo inými systémami a vytvárať tak počítačové, resp. komunikačné siete. Komunikácia musí prebehnúť čo najrýchlejšie a bez skreslenia a šumu. Tento článok sa zaoberá možnosťami komunikácie a tvorby komunikačných prepojení medzi mikropočítačmi a inými zariadeniami.

Niektoré výrobky vyžadujú pre svoju komplikovanosť vnorenie viacerých mikropočítačov. Jedným z dôvodov sú obmedzené možnosti jedného exemplára mikropočítača, ďalším dôvodom môže byť požiadavka na paralelný beh viacerých procesov, prípadne zrýchlenie vykonávania činnosti vo výrobku. V niektorých prípadoch pracuje viacero mikropočítačov nezávisle aj kvôli bezpečnostným dôvodom a v prípade poruchy sa môžu navzájom zastúpiť tak, aby nebola ohrozená bezpečnosť výrobku a používateľa [1, 2, 3, 4].

Schopnosti mikropočítača sú, samozrejme, limitované, ale obrovský potenciál sa skrýva práve v ich spájaní a vytváraní mikropočítačovej siete. Vzhľadom na rozmery a cenu mikropočítačov sa nezriedka stáva, že je už súčasťou aj niektorých snímačov, akčných členov a rôznych zariadení. Komunikácia s týmito zariadeniami teda vyžaduje zostavenie komunikačného rozhrania, ktoré umožní bezpečný a rýchly prenos informácií. To všetko sa deje kvôli jedinému primárnemu cieľu, t. j. naplniť hlavne cieľové funkcie výrobku, v ktorom sú vnorené (obr. 41).

Prenos informácie má strategický význam, pretože na základe prenesených informácií sa uskutočňuje rozhodnutie o toku energie a materiálov. Chybný tok informácií by teda mohol spôsobiť zmätočné rozhodnutia a z toho vyplývajúce straty.

Tento článok je zameraný na možnosti tvorby komunikačných rozhraní a sietí pomocou jednočipového mikropočítača Basic ATOM Pro 28-M (obr. 41).



Obr. 41 Sieťová štruktúra mikropočítačov a zariadení

Charakter a typ zariadení, medzi ktorými treba zabezpečiť tok informácií, môže byť rôznorodý. V niektorých prípadoch treba riešiť aj konverziu komunikačného signálu na iný typ alebo iný komunikačný protokol [5].

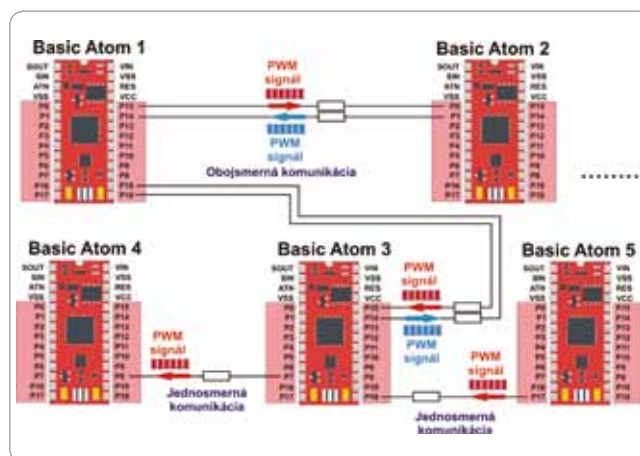
## Komunikácia musí byť bezpečná a rýchla

Prenos informácie môže byť zabezpečený pomocou analógového signálu, a to napríklad pomocou hodnoty elektrického napätia ako mieronosnej veličiny. V tom prípade je však veľké riziko vnesenia šumu, skreslenia a nestability tejto mieronosnej veličiny. To by znamenalo chyby v komunikácii a potom aj chyby v rozhodovacom procese mikropočítača. Ak ide napr. o výrobný proces, znamená to výrobu nepodarkov a ďalšie straty. V niektorých prípadoch sú v hre aj ľudské životy, a preto je bezpečnosť komunikačných rozhraní prvoradým cieľom.

Druhým významným faktorom je rýchlosť komunikácie. Od nej totiž závisí, ako rýchlo bude mikropočítač schopný reagovať, aký rýchly bude jeho zásah, aká bude jeho produktivita a pod.

Snahou je teda komunikovať bezpečne a rýchlo. Pri návrhu vnoreného systému preto musíme prihliadať na konkrétnu aplikáciu a podmienky, v ktorých bude pracovať.

Všetky tieto dôvody viedli k vzniku tzv. modulácie signálu, t. j. tvarovania nosného signálu s cieľom jednoduchšieho a bezpečnejšieho prenosu našej informácie. Týmto spôsobom sa stane mieronosný signál imúnnejším vzhľadom na rušivé vplyvy. Zariadenie alebo mikropočítač, ktorý vykonáva moduláciu, sa nazýva aj modulátorom a spätnú konverziu – demoduláciu vykonáva demodulátor. Často používaným spôsobom je napríklad šírkoimpulzná modulácia (PWM – angl. pulse width modulation). Tento signál možno využiť na komunikáciu medzi mikropočítačmi alebo medzi mikropočítačom a snímačom alebo akčným členom (obr. 42).

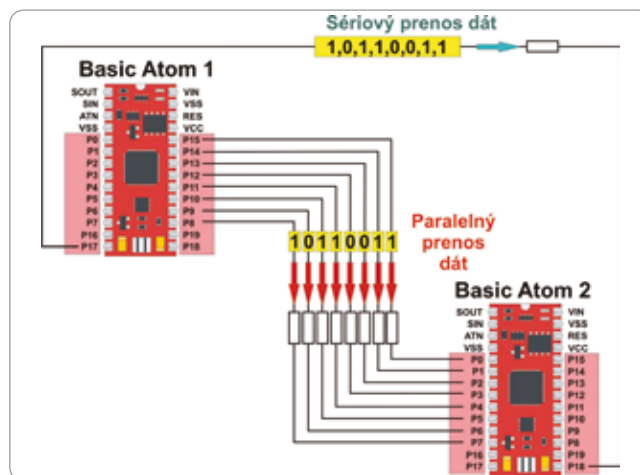


Obr. 42 Obojsmerná a jednosmerná komunikácia medzi mikropočítačmi

Štruktúra lokálnej mikropočítačovej siete, ktorú môžeme v tomto prípade vytvoriť (obr. 42), je jednoduchá, avšak na spojenie s každým ďalším zariadením je potrebná ďalšia komunikačná linka pre každý smer komunikácie.

## Komunikujme radšej digitálne

Pri digitálnej komunikácii je najčastejšie základom binárne kódovanie informácie v dvojkovej sústave. Informácie sú teda prenášané



Obr. 43 Paralelný a sériový prenos dát

vo forme binárneho kódového slova. Najčastejšie je mieronosnou veľičinou dvojstavové vyjadrenie elektrického napätia, reprezentujúce logický stav „0“ a „1“. Prenos dát digitálnou formou je výhodnejší hlavne pre možnosť prenosu dát na väčšie vzdialenosti, zvýšenie rýchlosti a objemu prenesených dát a lepšie možnosti odstránenia šumu z prenesených dát. Pri digitálnom prenose signálov možno využiť tzv. multiplexovanie, čo v praxi znamená, že jedným komunikačným kanálom možno preniesť niekoľko nezávislých informačných tokov.

Prenos dát digitálnou formou možno vo všeobecnosti realizovať sériovo alebo paralelne. Sériový prenos je realizovaný tak, že jednotlivé bity sú prenášané postupne za sebou. Pri paralelnom prenose sú prenesené všetky bity naraz (obr. 43).

Pri prenose dát je potrebné, aby bol vysielateľ synchronizovaný s prijímačom dát. Prijímač by mal byť schopný rozpoznať začiatok a koniec binárneho slova.

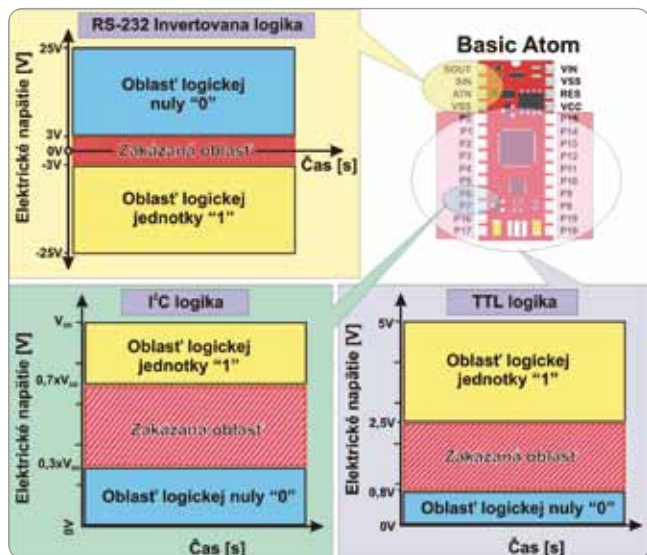
Pri paralelnom prenose informácie je na prenos každého dátového bitu binárneho slova potrebná samostatná dátová linka, čo pri väčších dátových slovách môže byť problém. Z praktického hľadiska je teda sériový prenos dát užitočnejší a aj viac využívaný.

Pri sériovom prenose dát môže mať komunikácia medzi zariadeniami podľa smeru toku dát rôzny režim. Ak je tok dát iba jedným smerom, hovoríme o tzv. SIMPLEX režime. Ak sa komunikačná linka využíva striedavo pre obidva smery komunikácie, hovoríme o tzv. HALF DUPLEX (polovičný duplex) režime. Pri režime FULL DUPLEX ide o obojsmerný tok dát, čo znamená, že dáta možno posielat súčasne oboma smermi.

Sériový prenos dát má v súčasnosti niekoľko rôznych foriem. Pri sériovom prenose môžu byť dáta prenášané synchronne alebo asynchrónne. Pri synchronnom sériovom prenose je okrem hlavného toku signálu potrebný ešte aj tzv. synchronizačný signál. Na hlavnej signálovej linke sa nastaví logická úroveň („0“ alebo „1“) a informácia sa potvrdí synchronizačným impulzom alebo zmenou úrovne synchronizačného signálu. Bežne sa využíva synchronný sériový prenos v podobe protokolov I2C, SPI, SMBus atď.

Pri asynchrónnom sériovom prenose sú pri prenose vyžadované ďalšie dáta vymedzujúce začiatok a koniec dátového slova (Start bit a Stop bit). Možno tiež ešte doplniť tzv. paritný bit, ktorý slúži na kontrolu správnosti prenosu informácie. Jeho hodnota sa určí podľa prenášaného dátového slova, čím možno odhaliť chyby pri prenose signálu. Asynchrónny sériový prenos sa najčastejšie používa v podobe protokolov RS-232, RS-422 a RS-485, FireWire IEEE 1394, CAN bus atď.

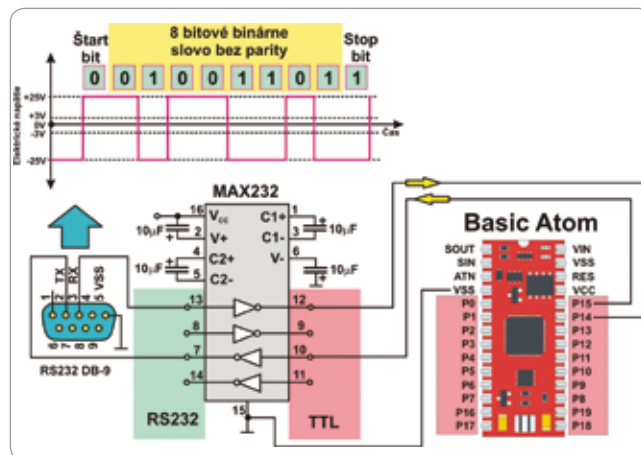
Nositelom informácie sú napätové impulzy reprezentujúce logické stavy „0“ a „1“. Tie môžu byť reprezentované rozličnými hodnotami elektrického napätia [6]. Mikro počítač Basic Atom napríklad disponuje tromi rôznymi režimami (obr. 44), resp. vyjadreniami



Obr. 44 Hodnoty elektrického napätia logických úrovní

logických stavov (RS-232 invertovaná logika, I2C logika a TTL logika dostupná na dátových pinoch). RS-232 invertovaná logika využíva na vyjadrenie logických úrovní aj záporné elektrické napätie, ktorého hodnota je niekoľkonásobne vyššia ako pri TTL logike. Pripojením signálu invertovanej logiky na pin s TTL logikou by došlo k zničeniu príslušného pinu alebo celého mikro počítača [5, 6, 7, 8, 9].

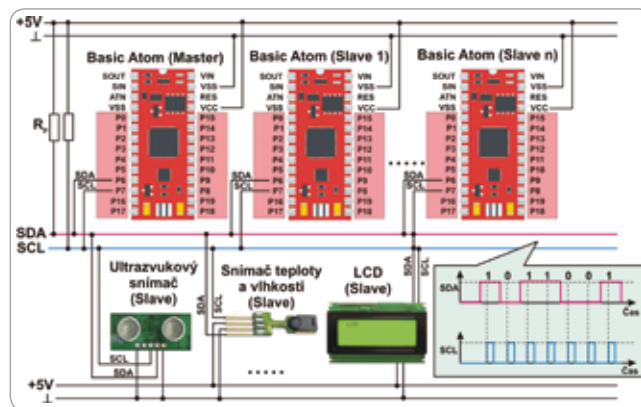
V prípade vzájomného prepojenia mikro počítačov alebo iných zariadení treba zosúladiť tieto vyjadrenia logických stavov, aby bolo možné dosiahnuť úspešnú komunikáciu. Na to existujú obvody na konverziu týchto logických signálov. Signálovú TTL logiku potom možno konvertovať do invertovanej logiky využívanej v protokole RS-232 [7, 8].



Obr. 45 Vytvorenie ďalšej RS232 komunikačnej linky na mikro počítači

## Čím menej káblov, tým lepšie

Technické a ekonomické faktory sú pri vývoji komunikačných zberníc a protokolov hnacím faktorom. Komunikačná zbernica a Xprotokol by mali mať čo najvyššiu rýchlosť prenosu dát, mali by byť imúnne proti rušeniu a mali by umožniť pripojenie čo najviac zariadení pri čo najmenšom počte káblov. Pri vývoji mechatronických a robotických zariadení je bežné, že zariadenie obsahuje často vyšší počet snímačov, akčných členov a ďalších orgánov, s ktorými musí mikro počítač komunikovať. Jednou z možností je zbernica I2C (z angl. InterIntegrated Circuit). Tento protokol a zbernicu vyvinula firma Philips Semiconductor pôvodne pre svoje TV prijímače v roku 1980 na komunikáciu medzi zariadeniami na jednej doske plošných spojov (DPS) pri použití minimálneho množstva pinov [9]. Táto zbernica (obr. 46) využíva synchronný sériový prenos dát s polovičným duplexom. Na jej realizáciu sú potrebné dva vodiče – dátová (Serial Data – SDA) a synchronná linka (Serial Clock – SCL) a spoločná zem. Každé zariadenie pripojené na túto zbernicu je identifikovateľné svojou jedinečnou adresou. Obidve linky SDA aj SCL sú pripojené na napájacie napätie pomocou tzv. pull-up rezistorov, to znamená, že každé zariadenie na zbernici môže stiahnuť danú linku na nízku úroveň „0“ pomocou tranzistorov s otvoreným kolektorom.



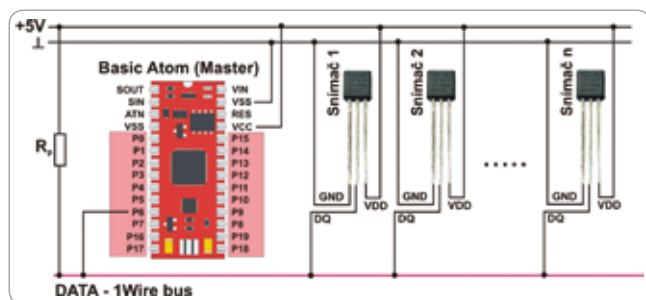
Obr. 46 Architektúra zbernice I2C

Rýchlosť prenosu je daná frekvenciou synchronizačných hodinových impulzov na linke SCL. Maximálna prenosová rýchlosť môže dosahovať až 3,4 Mbit/s. Okrem samotných dát sa musí prenášať aj adresa zariadenia, pre ktoré sú dáta určené, požiadavka na zápis alebo načítanie dát, potvrdenie pripravenosti prijať dáta a štartovací a ukončovací znak pre prenos informácie [9].

Mikro počítač Basic Atom priamo disponuje takouto zbernicou. Ako je z architektúry tejto zbernice (obr. 46) vidno, na komunikáciu so všetkými zariadeniami stačia len dve komunikačné linky. Na túto zbernicu možno pripojiť pomerne veľké množstvo zariadení. Dnes sú už s touto zbernicou dostupné aj rôzne snímače, pamäte EEPROM, LCD displeje a ďalšie zariadenia (obr. 46) [5, 9].

Ďalšou možnosťou komunikácie je použitie tzv. jednodrôtovej zbernice (obr. 47) 1-Wire® bus, známej tiež pod názvom MicroLAN™, pričom bola definovaná spoločnosťou Dallas Semiconductor ako komunikačný systém medzi elektrickými zariadeniami. Protokol tejto zbernice využíva napäťové úrovne zhodné s TTL logikou (obr. 44). Táto zbernica pozostáva z jedinej dátovej linky a vodiča spoločnej zeme [10]. Umožňuje polduplexnú obojsmernú komunikáciu medzi pripojenými zariadeniami. Komunikačný vodič môže byť využitý aj na napájanie jednotlivých zariadení, čím sa vylúči ďalší vodič potrebný na pripojenie zariadenia. V prípade zariadení s rôznymi hodnotami napájacích napätí možno jednotlivé zariadenia napájať samostatne [10].

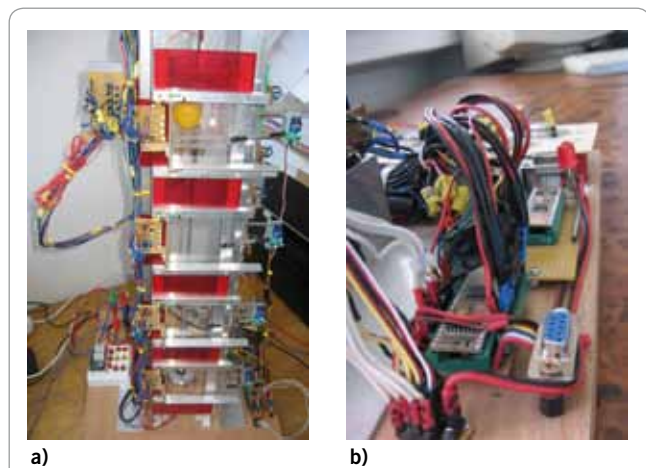
Dátový vodič (obr. 47) je pripojený pomocou pull-up rezistora trvale ku kladnému napätiu, čo znamená, že v pokojnom stave je na dátovej linke logický stav „1“. Na linku možno pripojiť až 150 zariadení, pričom každý z nich má jedinečné sériové číslo na jednoduchú identifikáciu na zbernici [5, 10].



Obr. 47 Architektúra jednodrôtovej zbernice 1-Wire® bus

### Aplikácie siete mikro počítačov

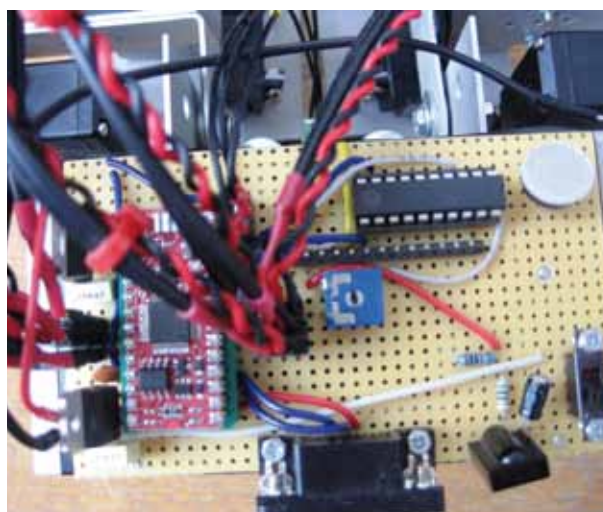
Pri riešení mechatronických a robotických sústav sa často vyskytnú situácie, keď je výhodné navrhnuť a aplikovať ako vnorený systém štruktúru pozostávajúcu z viacerých mikro počítačov. Didaktický model výťahu (obr. 48) si pri svojom riadení vyžaduje paralelný beh niektorých procesov, čo bolo len ťažko realizovateľné jedným mikro počítačom. Navyše celý model pokrýva 40 signálov rôzneho typu.



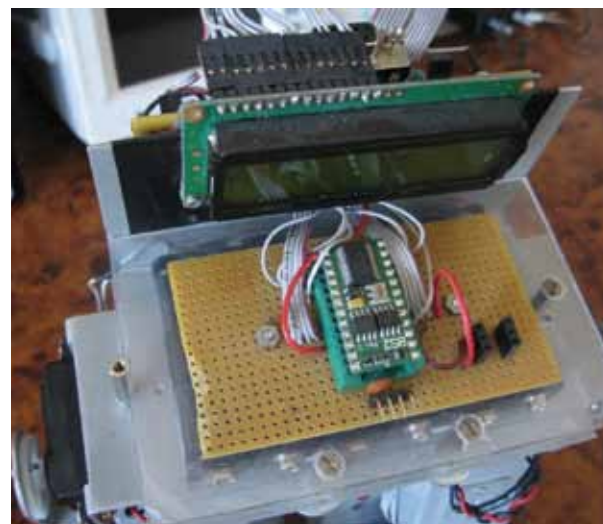
Obr. 48 Vnorený systém didaktického modelu výťahu tvorený dvoma mikro počítačmi

Z týchto dôvodov sa ako vnorený systém použila sústava dvoch jednočipových mikro počítačov Basic Stamp 2p40.

Na riadenie pohybu dvojnohého robota Wirgil (obr. 49) bola navrhnutá sieťová štruktúra s tromi mikro počítačmi, pričom zosieťované boli tri rôzne mikro počítače (Basic Stamp, Basic Atom, AT Tiny) každý so svojim špecifickým použitím.



a)



b)

Obr. 49 Vnorený systém didaktického modelu dvojnohého robota Wirgil

Basic Stamp má na starosti komunikáciu s dvojstavovými snímačmi. AT Tiny má na starosti obsluhu LCD displeja a Basic Atom je v pozícii MASTER-a, t. j. je nadradeným mikro počítačom a ovláda pohyb robota podľa údajov od podriadených mikro počítačov.

### Záver

Bez vnoreného systému by mnoho výrobkov predstavovalo iba kopu nefunkčného šrotu. Práve vnorený systém dodáva výrobkom tú ohromnú „moc“ zvládnuť tak veľa komplikovaných činností naraz. Niektoré výrobky by dokonca bez vnorených systémov ani neexistovali. Pre zákazníkov sú na trhu tiež oveľa zaujímavejšie výrobky s určitou mierou inteligencie a používateľského komfortu, ktorá je možná práve vďaka vnoreným systémom [11].

Tento seriál článkov sa zaoberal niektorými možnosťami jednočipového mikro počítača, ktorý je vzhľadom na svoje rozmery, fantastické možnosti a cenovú nenáročnosť priam ideálnym vnoreným systémom. Spektrum toho, čo s ním možno dokázať, je takmer neobmedzené, takže v budúcnosti bude už len málo sofistikovaných výrobkov bez vnorenia mikro počítača [1, 2, 3, 4].

## PodĎakovanie

Tento článok vznikol vĎaka realizácii projektu Centrum výskumu riadenia technických environmentálnych a humánnych rizík pre trvalý rozvoj produkcie a výrobkov v strojárstve (IMTS:26220120060) na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Príspevok bol spracovaný aj s príspevom grantovej agentúry VEGA 1/1205/12 Numerické modelovanie mechatronických sústav. Vznikol aj s podporou Nadácie Tatra Banky v rámci grantového programu E-talent – projekt LO-COSNAKE – pohyb robotických mechanizmov s podporou riadiaceho softvéru.

## Literatúra

- [1] Kelemen, M. – Miková, L. – Kelemenová, T.: Vnorené systémy – vnorená inteligencia(1). In: AT&P Journal, č. 2/2012, s. 39 – 41. ISSN 1335-2237.
- [2] Kelemen, M. – Miková, L. – Kelemenová, T.: Vnorené systémy – vnorená inteligencia (2). In: AT&P Journal, č. 3/2012, s. 38 – 40. ISSN 1335-2237.
- [3] Kelemen, M. – Miková, L. – Kelemenová, T.: Vnorené systémy – vnorená inteligencia (3). In: AT&P Journal, č. 4/2012, s. 34 – 36. ISSN 1335-2237.
- [4] Kelemen, M. – Miková, L. – Kelemenová, T.: Vnorené systémy – vnorená inteligencia (4). In: AT&P Journal, č. 5/2012, s. 53 – 55. ISSN 1335-2237.
- [5] Basic Micro Studio Syntax Manual - Basic Micro Studio Reference Manual. Version 2.1. [online]. [cit. 2012-01-29]. Dostupné na internete [http://downloads.basicmicro.com/downloads/datasheets/reference\\_manual\\_V2\\_1.pdf](http://downloads.basicmicro.com/downloads/datasheets/reference_manual_V2_1.pdf)
- [6] Leroy, D.: Interface Threshold Voltage Levels. Comparison of Input and Output [I/O] logic switching levels. [online]. Modified 12/23/11. [cit. 2012-05-09]. Dostupné na internete [http://www.interfacebus.com/voltage\\_interface.html](http://www.interfacebus.com/voltage_interface.html)
- [7] TIA-232-F Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit-Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange, issued in 1997. The Telecommunications Industry Association (TIA). Washington. USA. 1997.
- [8] Maxim Integrated Products, Inc.: MAX220–MAX249. +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers. 19-4323; [online]. Rev 16; 7/10. [cit. 2012-05-09]. Dostupné na internete <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>
- [9] NXP Semiconductors. UM10204 I2C-bus specification and user manual. [online] - Rev. 4 – 13th February 2012. [cit. 2012-05-09]. Dostupné na internete [http://www.nxp.com/documents/user\\_manual/UM10204.pdf](http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf)
- [10] Awtrey, D. – Smith, K. – Lissiuk, D.: Understanding 1-Wire Series. Version 1.0 8/19/04. [online] Innovative hardware and software. Design guide v. 1.0. Springbok Digitronics. [cit. 2012-05-09]. Dostupné na internete <http://www.1wire.org/Files/Articles/1-Wire-Design%20Guide%20v1.0.pdf>
- [11] Vitko, A. – Jurišica, L. – Klúček, M. – Murár, R. – Duchoň, F.: Embedding Intelligence Into a Mobile Robot. In: AT&P Journal Plus, č. 1: Mobilné robotické systémy (2008), s. 42 – 44. ISSN 1336-5010.

*Záver seriálu.*

doc. Ing. Michal Kelemen, PhD.

Ing. Ľubica Miková, PhD.

Ing. Tatiana Kelemenová, PhD.

Ing. Martina Vacková

Ing. Ivan Virgala

Ing. Róbert Surovec

Ing. Erik Prada

Technická univerzita v Košiciach

Strojnícka fakulta

Ústav špeciálnych technických vied

Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania

Letná 9, 042 00 Košice

michal.kelemen@tuke.sk