

# Vnorené systémy – vnorená inteligencia (1)

Tento seriál príspevkov sa bude zaoberať vnorenými systémami, ktoré v podstate predstavujú počítač implementovaný do výrobu s cieľom zlepšiť jeho vlastnosti alebo mu pridať nové funkcie. Bez týchto systémov by mnohé dnešné výrobky prakticky vôbec neexistovali. Z praktického hľadiska vnorené systémy pridávajú výrobkom určitú mieru inteligencie a výrobky tak dosahujú omnoho lepšie parametre. Vnorené systémy preberajú na seba niektoré činnosti, ktoré dosiaľ vykonával človek, a výrazne uľahčujú používanie takéhoto výrobku. S takýmto výrobkom sa, samozrejme, dá lepšie presadiť na trhu. Prvá časť seriálu poukazuje na prvopočiatky aplikácií vnorených systémov a súčasný trend vývoja týchto systémov.

V súčasnosti sa vyrába niekoľko miliónov procesorov ročne, avšak iba malé percento z toho sa stáva mozgom nového osobného počítača alebo pracovnej stanice. Drvivá väčšina z nich sa stáva súčasťou tzv. vnorených systémov (angl. embedded systems). Vnorené systémy sú špeciálne počítačové systémy, ktoré sú kompletne vnorené v zariadení, ktorého činnosti ovláda. Sú základom každého moderného elektronického zariadenia. Vlastne to mnohí ani netušia, ale stretávame sa s nimi každodenne. Sú obsiahnuté v hračkách, práčkach, mikrovlnných rúrach, fotoaparátoch, mobilných telefónoch, GPS navigačných systémoch, automobiloch (ABS, ASR, ESC/ESP, airbag atď.), vo výrobných linkách, v zariadeniach energetickej techniky, v inteligentných vojenských systémoch atď.

Processory, ktoré sú v týchto vnorených systémoch, sa vyberajú podľa predpokladaného súboru činností, ktoré bude produkt vykonávať. Môžu byť pritom použité od jednoduchých 4-bitových cez štandardné 16- a 32-bitové bežne používané platformy až po výkonné 128-bitové mikroprocesory a tzv. multiprocessorové systémy. Činnosti takýchto produktov s vnorenými systémami sa pritom musia vykonávať v reálnom čase. Masívny rozvoj týchto vnorených systémov nastal vďaka pokroku v oblasti miniaturizácie elektronických súčiastok a zariadení [1, 2, 3].

## Prvé kroky vnorených systémov

Jedným z prvých moderných vnorených systémov bol navádzací počítač (obr. 1) pre vesmírnu loď Apollo (angl. Apollo Guidance Computer – AGC). Vyvinul ho Charles Stark Draper (MIT). Používal sa v rámci vesmírneho programu APOLLO (1961 – 1972) – americký program pilotovaných kozmických letov realizovaný americkým Národným úradom pre letectvo a kozmonautiku (NASA) s cieľom pristáť na Mesiáci [4].

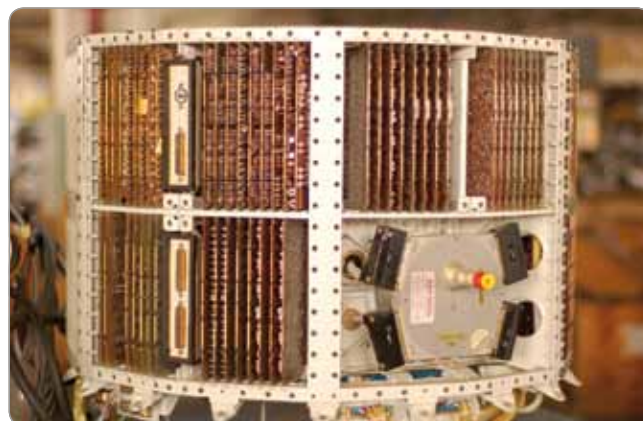
Prvým hromadne vyrábaným vnoreným systémom bol vojenský navádzací systém D-17 (obr. 2) firmy Autonetic pre rakety Minuteman, uvedený v roku 1961. Bol vytvorený z jednotlivých tranzistorov a ako hlavnú pamäť používal harddisk. V balistických strelách Minuteman II v roku 1966 bol systém D-17 nahradený novým počítačom, ktorý ako prvý používal veľké množstvo integrovaných obvodov [5].



Obr. 1 Navádzací počítač pre vesmírnu loď Apollo [4]

Prvý komerčne dostupný mikroprocesor Intel 4004 (r. 1972), ktorý sa uplatnil v kalkulačkách (obr. 3) a ďalších malých systémoch, vyžadoval vonkajšiu pamäť a ďalšie podporné obvody. V osemdesiatych rokoch minulého storočia bola väčšina pôvodne externých súčiastok integrovaná na jednom čipe (integrovaný obvod) spolu s procesorom a táto súčiastka sa začala označovať ako mikrokontrolér (angl.

microcontroller – jednočip, prípadne jednočipový počítač) a umožnila tak masívne rozšírenie vnorených systémov. Jednočipový počítač je integrovaný obvod obsahujúci kompletný počítač. Vyznačuje sa vysokou spoľahlivosťou a malými rozmermi [6].



Obr. 2 Navádzací systém D-17 firmy Autonetic pre balistické rakety Minuteman [5]



Obr. 3 Kalkulačka s mikroprocesorom Intel 4004 [6]

Približne v tom istom čase bol vyvinutý mikroprocesor aj v spoločnosti Garrett (1968 – 1970). Išlo o hlavný počítač letovej kontroly CADC (Central Air Data Computer, obr. 4) vtedy novej stíhačky F-14 Tomcat Námorníctva USA – US Navy.

Návrh bol hotový do roku 1970 a ako jadro používal súbor čipov založený na MOS (technológia výroby polovodičových súčiastok). Návrh bol menší a oveľa spoľahlivejší ako mechanické systémy, s ktorými súperil, a bol použitý vo všetkých raných modeloch Tomcat. Systém však americké námorníctvo považovalo za taký vyspelý, že zamietli žiadosť o zverejnenie návrhu a v tom pokračovali až do roku 1997. Z toho dôvodu je CADC a čipset MP944, ktorý používal, pomerne neznámy ešte aj dnes [7].

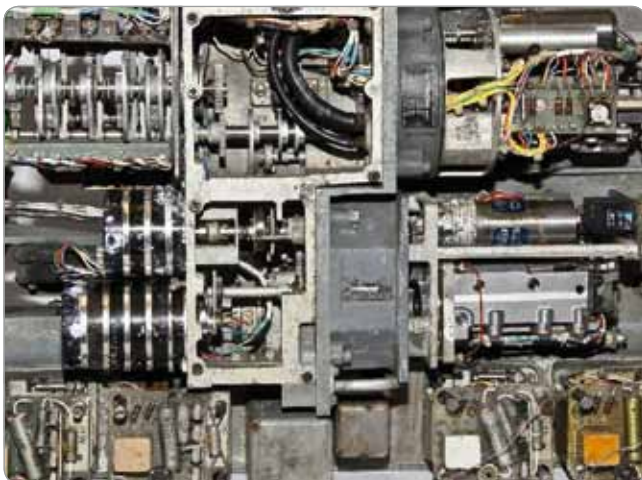
Systém CADC používal redundantnú štruktúru dvoch počítačov, dva napájacie zdroje, štyri snímače letových veličín a dve súpravy

A/D a D/A prevodníkov na spracovanie vstupno-výstupných veličín. Systém CADC má na konte niekoľko prvenstiev. Je prvým systémom, ktorý obsahuje mikroprocesorový čipset, prvým mikroprocesorovým systémom využívaným vo vojenskej technike a prvým systémom využívajúcim technológiu fly-by-wire, t. j. nahrádza ručné ovládanie letu elektronickým riadením. Disponoval 20-bitovým mikroprocesorom, čo bolo na vtedajšiu dobu niečo nepredstaviteľné. Mikroprocesor dokonca obsahoval diagnostické procedúry a bol schopný vykonávať paralelné procesy [7].



Obr. 4 Hlavný počítač letovej kontroly CADC [7]

Za zmienku stojí aj jeho predchodca F4 Phantom CADC s označením A24G-33 (obr. 5). Je to hlavný počítač letovej kontroly používaný v starších stíhačkách typu F4. Bol založený na elektromechanickom princípe a vykazoval značnú poruchovosť a nespoľahlivosť. O tomto CADC nie sú dostupné žiadne informácie [8].



Obr. 5 CADC pre stíhačku F4 Phantom [8]

### Prečo použiť vnorený systém?

Vnorený systém je z praktického pohľadu naprogramované hardvérové zariadenie. Programovateľný hardvérový čip alebo všeobecne kontrolér (riadiaci, resp. regulačný člen) je len „hrubým materiálom“

a programuje sa špeciálne pre danú aplikáciu. V kombinácii so snímačmi a akčnými členmi získavajú takéto výrobky inteligenciu, a teda aj schopnosť samostatne sa rozhodnúť a zasiahnuť do riešenej situácie. V mnohých prípadoch vnorený systém poskytuje výrobu aj akýsi „pud sebazáchovy“, t. j. rieši problémovú situáciu tak, aby bola zachovaná existencia výrobku a jeho funkcie.

Vnorený systém si však nevystačí len s mikropočítačom a softvrom. Okrem toho musí často obsahovať aj analógovo-digitálne a digitálno-analógové prevodníky, snímače, zosilňovače signálov, obvody komunikačných zberník a rôzne iné podporné obvody. Vnorený systém je často súčasťou väčšieho systému, napr. ABS vnorený systém v automobile.

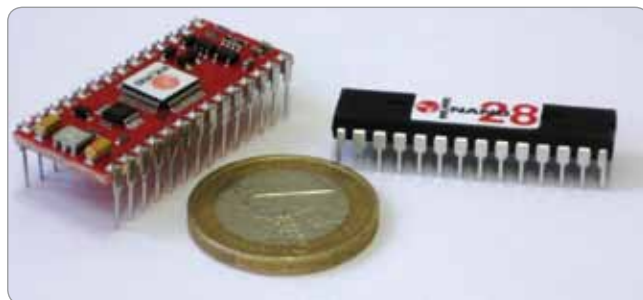
Dôvodov, prečo využiť vnorené systémy, je hneď niekoľko:

- Ako už bolo uvedené, rozširujú možnosti a pridávajú nové funkcie výrobkom. Výrobky majú určitú mieru inteligencie a sú používateľsky priateľskejšie.
- Znižujú počet stavebných prvkov vo výrobku, a teda zároveň znižujú jeho rozmery a cenu.
- Na to nadväzujú, samozrejme, aj nižšie výrobné náklady, konečná cena výrobku a s tým súvisiaca vyššia konkurencieschopnosť.
- Zo znižujúcim počtom stavebných prvkov sa znižuje aj poruchovosť výrobku.
- Výrobok je ľahko pripojiteľný k počítaču a možno tak vykonať diagnostiku a aktualizovať softvér.
- Aplikácia vnoreného systému často znižuje spotrebu energie a poskytuje výrobku akýsi manažment energetickej bilancie.
- Umožňuje vytvárať systémy zvyšujúce bezpečnosť používateľa výrobku.

### Aký vnorený systém použiť?

Dnes môže mať vnorený systém rôznu podobu. Jeho základom môže byť:

1. Mikrokontrolér, t. j. čip, ktorý má v sebe integrované takmer všetky časti počítača a ďalšie podporné prostriedky. Sú známe pod rôznymi obchodnými názvami: ATMEL, PIC, Basic Stamp, Basic Atom, PICAXE atď.
2. Programovateľné logické kontroléry, tzv. PLC (programmable logic controller), ktoré sa väčšinou využívajú na automatizáciu výrobných a iných procesov. Vyrábajú sa v kompaktnej forme a sú typické svojou modularitou. Podľa požiadavky možno priamo na mieru zostaviť presne to, čo potrebujete. V podstate môžu byť tieto kontroléry tiež vnorenými systémami. Ich cena však prevažuje cenu mikrokontrolérov.
3. Jednodoskové počítače predstavujú ďalšiu možnosť vnoreného systému, ktorý je vlastne miniatúrnym počítačom, pričom takmer všetko je sústredené na jednej doske s rozmermi napr. 7 x 10 cm (obr. 8).



Obr. 6 Mikrokontrolér Basic Atom

### Záver

Vnorené systémy sú obsiahnuté takmer v každej oblasti produktov a ich aplikácia závisí len od našej fantázie. Počnúc inteligentnou nabíjačkou akumulátorov až po riadenie elektrárne je ich pole aplikácií neobmedzené. Vynikajúcou oblasťou sú mechatrické a robotické sústavy [10]. Ďalšie pokračovania tohto článku budú venované možnostiam aplikácie a riešeniu jednotlivých parciálnych úloh pomocou mikrokontroléra Basic Atom (obr. 6).



Obr. 7 Programovateľný logický kontrolér [9]



Obr. 8 Jednodoskový mikropočítčový vnorený systém

## Podakovanie

Tento článok vznikol pri 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.

## Literatúra

- [1] Barr, M.: Embedded Systems Glossary [online]. [cit. 2012-01-21] Dostupné na internete: <<http://www.netrino.com/Embedded-Systems/Glossary>>. Netrino. The Embedded systems expert.
- [2] Engineering Stuffs. What is Embedded System [online]. [cit. 2012-01-21]. Dostupné na internete: <<http://www.engstuff.info/2011/02/what-is-embedded-system.html>>.
- [3] Jurišica, L. – Vitko, A.: Imbedding Intellegence nto Mechatronic Systems. In: Metalurgija. Metallurgy. roč. 49, č. 2 (2010), s. 99 – 102. ISSN 0543-5846.
- [4] Hall, E. C.: Journey to the Moon: The History of the Apollo Guidance Computer, Reston, Virginia, USA: AIAA, (1996), p. 196, ISBN 156347185X.
- [5] Lin, T. C.: Development of U.S. Air Force Intercontinental Ballistic Missile Weapon Systems. In: Journal of Spacecraft and Rockets, vol. 40, no. 4, 2003. pp. 491 – 509.
- [6] Benito, F.: The 4004 is the world's first microprocessor [online]. [cit. 2012-01-21]. Dostupné na internete: <<http://www.c4004.com/index.html>>.
- [7] Holt, R. M.: Architecture Of A Microprocessor. original date: January 1971. Tento článok bol podaný a akceptovaný pre

publikovanie v „Computer Design magazine“ v roku 1971, avšak z bezpečnostných dôvodov U.S. Navy nepovolili jeho publikovanie. Neskôr publikovaný: Holt, R.M.: LSI Technology State of the Art in 1968, Vintage Computer Festival, September 26, 1998 at the Santa Clara Convention Center, Santa Clara, CA.

- [8] Glenn's Computer Museum. Old Bombsights, Gun Sights & Navigation Computers [onli-ne]. [cit. 2012-01-21]. A24G-33 Air Data Computer (F-4 Fighter). Dostupné na internete: <<http://www.glennsmuseum.com/bombsights/bombsights.html>>.
- [9] SIMATIC S7-300: the modular universal controller for the manufacturing industry [online]. [cit. 2012-01-21]. Dostupné na internete: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-300/Pages/Default.aspx>>.
- [10] Vitko, A. – Jurišica, L. – Klúčik, M. – Murár, R. – Duchoň, F.: Embedding Intelligence Into a Mobile Robot. In: AT&P Journal Plus. ISSN 1336-5010. č. 1: Mobilné robotické systémy (2008), s. 42 – 44.

*Pokračovanie v ďalšom čísle.*

doc. Ing. Michal Kelemen, PhD.,  
 Ing. Lubica Miková, PhD.,  
 Ing. Tatiana Kelemenová, PhD.  
 Technická univerzita v Košiciach  
 Strojnícka fakulta  
 Ústav špeciálnych technických vied  
 Katedra aplikovanej mechaniky a mechatniky,  
 Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania  
 Letná 9, 042 00 Košice  
 Tel.: 055/ 602 2388  
 michal.kelemen@tuke.sk