



## Vložené řídicí systémy

### Úvod do vložených řídicích systémů

Pavel Balda  
ZČU v Plzni, FAV, KKY



## Osnova přednášky

- n Co jsou embedded systémy
- n Charakteristika embedded systémů
- n Architektura SW pro embedded systémy
- n Moderní přístup k návrhu
- n Doporučená literatura

2



## Co jsou embedded systémy?

- n **Embedded systém** (systém vloženého řízení) je speciální systém, ve kterém je **počítač** vestavěn přímo do zařízení, které řídí
- n Embedded systém je určen pro konkrétní úlohy
  - n Tím se podstatně liší např. od obecného PC
- n Embedded systémy jsou při návrhu optimalizovány
  - n Z hlediska rozměrů, ceny výrobku, spolehlivosti a výkonu
- n Termín „Embedded systém“ není však definován zcela přesně
  - n Některé embedded systémy jsou programovatelné

3



## Příklady embedded systémů

- n Osobní použití: Mobilní telefony, přehrávače MP3, CD, DVD
- n Automobily: řídicí jednotky motorů, jednotky ABS
- n Domácí automatizace: termostaty, klimatizace, zabezpečovací systémy
- n Domácí spotřebiče: mikrovlnné trouby, pračky, televizory, hrací konzole
- n Telekomunikace: telefonní ústředny, routery, datové bridge
- n Doprava: navigace, GPS, řízení křižovatek
- n Přístroje užívané v lékařství
- n Letectví: řídicí systémy letadel a raket
- n Průmysl: řídicí systémy strojů

4

## Z historie embedded systémů

- n Za první moderní embedded systém je považován **Apollo Guidance Computer**, který vyvinul Charles Stark Draper v MIT Instrumentation Laboratory



- n Od prvních aplikací v 60. letech 20. století se embedded systémy neustále trvale překotně zmenšují a zlevňují
- n Enormně roste i jejich výkon

5

## Charakteristiky embedded systémů (ES)

- n **ES jsou navrženy k provádění konkrétních úloh**
  - n Některé musí pracovat v reálném čase, jiné mají nižší požadavky na výkon a mohou být zjednodušeny pro úsporu nákladů
  - n SW (často nazývaný firmware) je častěji uložen v ROM nebo FLASH paměti než na pevném disku
  - n Je požadován dlouhodobý běh (několik let) bez poruch, proto je nezbytný pečlivý vývoj i testování SW
  - n Ze stejného důvodu se minimalizuje použití nespolehlivých mechanických komponent jako disků, ventilátorů, přepínačů, apod.
- n **Masově vyráběné systémy** (např. mobilní telefony, MP3 přehrávače):
  - n Nejdůležitějším požadavkem pro návrh je cena
  - n Proto je HW volen tak, aby byl pro daný úkol právě odpovídající
  - n Často se používají zákaznické integrované obvody
- n **Systémy vyráběné kusově nebo v malých sériích:**
  - n Může se používat i HW osobních počítačů s omezeným programovým vybavením nebo s operačním systémem reálného času.
  - n Používají se též programovatelné automaty (PLC = Programmable Logic Controller)

6

## Uživatelské rozhraní embedded systémů

- n Velké rozdíly v uživatelském rozhraní
  - n - od vůbec žádného uživatelského rozhraní (jednoučlové systémy)
  - n - po plnohodnotné (jako na stolních počítačích), např. PDA
- n Jednoduché systémy obvykle využívají:
  - n Tlačítka, LED, malé znakové nebo jen číselné displeje, často s jednoduchým menu
- n Složitější systémy:
  - n Plně grafické snímky, dotykové obrazovky nebo tlačítka podél obrazovky, jejichž význam se může měnit
  - n U zařízení se správou přes internet může být obrazovka vypuštěna (zlevnění zařízení) a konfigurace s provádí přes webové rozhraní. Časté např. u routerů.

7

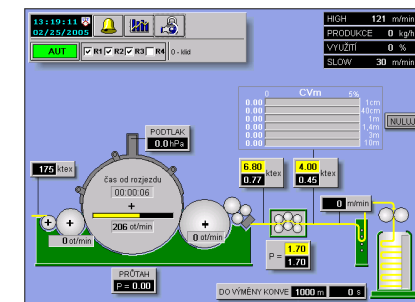
## Ukázky uživatelského rozhraní



User Interface Board firmy Ingenia



Řídicí systém kogeneračních jednotek firmy TEDOM



Řízení mykacího stroje VÚTS Liberec, panel 640x480 bodů, Windows CE a Indusoft

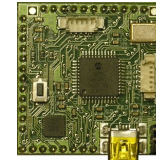
8

## CPU embedded systémů

- n Používá se mnohem víc HW platformem než pro PC
  - n Mikroprocesory ( $\mu$ P)
  - n Mikrokontroléry ( $\mu$ C) – na rozdíl od  $\mu$ P mají na čipu mnohem víc periférií => úspora prostoru a ceny
  - n Signálové procesory (DSP)
- n Běžně používané architektury:
  - n ARM, 8051, PIC, Coldfire/68k, Power PC, MIPS, x86, SHARC, a mnoho dalších...
- n Používají se též speciální desky (např. standardu PC104)
  - n Operační systémy: DOS, Linux, Windows CE, VxWorks, Phar Lap ETS,...
  - n OS pro embedded systémy: MicroC/OS-II, QNX, FreeRTOS, eCos, OSEK, ...
- n Pro masově vyráběné systémy:
  - n Systém na čipu – SoC (System on Chip)
  - n ASIC (Application Specific Integrated Circuit)
  - n FPGA (Field Programmable Gate Array)

9

## Ukázky různých HW platformem



Destička iCM4011  
firmy Ingenia  
(48x48 mm)



Automation PC  
firmy B&R  
Automation



PLC CompactLogix firmy Rockwell



PC+PLC WinCon-8000 firmy ICP DAS

10

## Periferie embedded systémů

- n **Sériová rozhraní:** RS-232, RS-422, RS-485, USB,...
- n **Synchronní sériová rozhraní:** I2C, JTAG,...
- n **Sítě:** Ethernet, CAN (Controller Area Network), LonWorks, ...
- n **Bezdrátové sítě:** WiFi, GSM, GPS, ZigBee, Bluetooth,...
- n **Digitální vstupy/výstupy:** GPIO (General Purpose Input/Output)
- n **Analogové vstupy/výstupy:** AD a DA převodníky

11

## Architektura SW emb. systémů (1/2)

Běžně se používá několik architektur:

- n **Jednoduchá řídicí smyčka** (obvykle realizující stavový automat)
  - n Smyčka volá podprogramy obsluhující části HW nebo SW
  - n Výhoda: jednoduchost
  - n Nevýhody: nezaručená doba odezvy, obtížné přidávání nových vlastností
- n **Systém řízený přerušeními**
  - n Úlohy jsou spouštěny událostmi, např. interruptem od časovače nebo přijetí znaku na sériovém portu, apod.
  - n Používají se, je-li potřebná krátká latence k obslužení události
  - n Obvykle i zde běží smyčka, řešící úlohy méně citlivé k neočekávaným zpožděním
- n **Nepreemptivní (kooperativní) multitasking**
  - n Podobné jednoduché smyčce, často se používá fronta události, které se postupně zpracovávají
  - n Po ukončení se úloha sama vzdá času procesoru => největší nevýhoda

12

## Architektura SW emb. systémů (2/2)

### Preemptivní multitasking

- n Úlohy (nebo vlákna) se přepínají plánovačem založeným na systémovém časovači
- n Obvykle se používá nějaký **operační systém reálného času**
- n Jakákoliv část kódu úlohy může poškodit data jiné úlohy!
- n Přístup ke sdíleným datům musí být synchronizován (např. semaforey)
- n **Mikrojádra a Exojádra** (microkernels, exokernels)
  - n Mikrojádro je minimální jádro OS, které neposkytuje vyšší služby OS. Implementuje jen nízkourovňové služby jako správu paměťového prostoru a threadů a meziprocesovou komunikaci
  - n S exojádrem se komunikuje pomocí volání procedur (API)
- n **Monolitická jádra**
  - n Plnohodnotná jádra OS přizpůsobená pro účely ES
  - n Velmi produktivní vývoj, jako ve „velkých“ verzích OS
  - n Náročné na hardwarové zdroje, přesto získává na popularitě
  - n Příklady: Windows CE, Embedded Linux, Windows XP Embedded, apod.
- n **Exotické zákaznické operační systémy**

13

## Další SW komponenty

Kromě operačních systémů používá mnoho ES další komponenty:

- n **Síťové protokoly**
  - n TCP/IP, TFTP, FTP, HTTP, HTTPS,...
- n **Souborové systémy**
  - n Většinou FAT (jednoduchost)
  - n Práce s pamětí FLASH
- n **Audio/Video**
  - n Příslušné ovladače a kodeky
  - n Většinou dostupné v monolitických OS, v některých RTOS „za příplatek“

14

## Návrh SW pro vložené řídicí systémy

- n Tradiční „**ruční**“ psaní je **málo efektivní**
  - n Je v něm „moc“ chyb i v případech, kdy se používají knihovny pro opakující se činnosti
- n Moderní techniky vývoje řídicích systémů zahrnují:
  - n Simulaci řídicího systému před nasazením
  - n Automatické generování kódu z grafického návrhu řídicího algoritmu (např. podle normy IEC 61131-3)
  - n Možnost ověření vývojové verze na prototypu pomocí techniky „**hardware in the loop**“
  - n **Podrobněji se tomuto tématu budeme věnovat v samostatné přednášce**

15

## Doporučená literatura

- n Simon, D.E.: **An Embedded Software Primer**. Addison-Wesley, 2006.
- n Qing Li, Yao, C.: **Real-Time Concepts for Embedded Systems**. CMP Books, 2003.
- n Lamie E. L.: **Real-Time Embedded Multithreading**. CMP Books, 2005.
- n IEC 61131-3 final draft, 2nd Edition: **Programmable Controllers – Programming Languages**.
- n **Funkční bloky systému REX** – Referenční příručka. REX Controls, 2008.
  
- n PLC Open: [www.plcopen.org](http://www.plcopen.org)
- n OPC Foundation: [www.opcfoundation.org](http://www.opcfoundation.org)
- n Wikipedia: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

16