

Přehled operačních systémů reálného času (2)

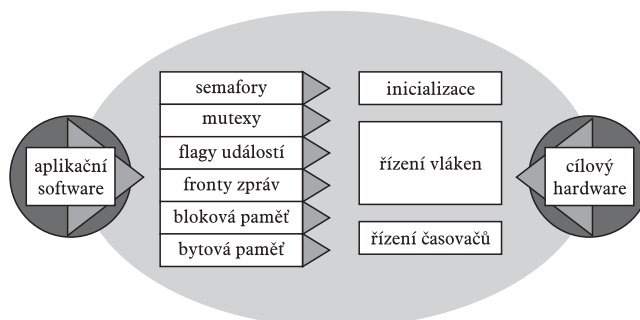
Vilém Srovnal

Druhou skupinu operačních systémů pro řízení jsou RTOS pro vestavěné (Embedded Systems) nebo jednodeskové systémy [5]. U těchto aplikací lze konstatovat, že se jedná o nejrychlejší nárůst použití RTOS ze všech aplikačních oblastí. Aplikační oblasti použití vestavěných řídicích systémů s mikropočítači se neustále rozšiřují a v současné době je lze nalézt ve všech oblastech lidské činnosti [3], [4]. Nejrozšířenějšími aplikacemi jsou systémy v automobilní a dopravní technice, kde je hlavním představitelem vestavěných RT operačních systémů OS OSEK/VDX. Mezi tyto operační systémy patří:

- **CMX RTOS** lze provozovat na 8, 16, 32 a 64-bitových mikroprocesorech, DSP a mikropočítačích (25 rodin procesorů). Aplikace zahrnují oblasti: automobilová technika, lékařská technika, spotřební elektronika, komunikace, avionika, výrobní automatizace a další průmyslové aplikace.
- **DeltaOS** se původně jmenoval CRTOS neboli čínský RTOS a byl využit v řadě vojenských projektů v Číně včetně elektronického řídicího systému bitevního letadla. Podporuje 32-bit mikroprocesory jako X86, 68K, PowerPC, ARM a MIPS.
- **eCos** poskytuje plnou preempci, minimální dobu latentního času přerušení a vše nezbytné jako jsou synchronizační služby, plánování procesů a obsluha přerušení. eCos poskytuje veškeré funkce, které vyžadují vestavěné aplikace včetně ovladačů zařízení, řízení paměti, obsluhy výjimek, C jazyka, matematické knihovny, aj.
- **embOS** je obecný RT operační systém určený pro procesory od 8 do 32 bitů. Je snadno přenositelný podle požadavků na CPU. Patří k nejmenším a nejrychlejším jádrům bez licenčního poplatku.
- **FreeRTOS** je určen pro návrh malých vestavěných systémů. Volně je k dispozici pro řadu procesorů (ARM7, MSP430, H8/S, AMD, AVR, Microchip PICMicro a 8051), volně není k dispozici pro ColdFire nebo HCS12.
- **Fusion Embedded** je RTOS, který umožňuje sdílení společného zásobníku pro hardwarová přerušení, softwarová přerušení a úlohy na pozadí. Má většinu standardních funkcí pro synchronizaci a komunikaci a rozšířenou sadu možností řízení v čase. Časovače mohou být konfigurovány jako jednorázové (náhodné) nebo periodické.
- **Nimble** je plně preemptivní RTOS i při systémových voláních. Umožňuje libovolnému vláknu bezpečné odložení v kterémkoliv okamžiku i uvnitř RTOS. Takto je snížena čekací doba vláken s vysokou prioritou. Vlákna s vysokou prioritou jsou také předpokladem pro systém prioritních semaforů.
- **OSEK/VDX** je nejpoužívanější operační systém v oblasti vestavěných řídicích systémů v automobilovém průmyslu (OSEK-Offene Systeme und deren Schnittstellen für die Elektronik im Kraftfahrzeug, VDX-Vehicle Distributed eXecutive). Stal se průmyslovým standardem s otevřenou architekturou v distribuovaných systémech řízení v dopravních prostředcích. Umožňuje vývoj kritických aplikací v reálném čase, které se u dopravních systémů často vyskytují. Počet vestavěných systémů v jednom automobilu nebo jiném dopravním prostředku neustále roste, řádově desítky systémů. Je použit v systémech od minimálních konfigurací s minimálním rozsahem operační paměti, až po výkonné systémy. OSEK lze charakterizovat řadou vlastností mezi které patří: rozšiřitelnost, přenositelnost, konfigurovatelnost, statické rozvrhování procesů, podpora časového řízení. OSEK umožňuje použití celé řady řídicích jednotek (zejména jej lze využít u systémů s minimálními hard-

warovými požadavky na paměti RAM a ROM a na čas CPU, především u 8 bitových mikro-řídicích systémů – mikrokontrolérů). Není podporována ochrana paměti. Všechny objekty a prostředky operačního systému jsou přidělovány staticky, což zjednodušuje činnost operačního systému, ale je zcela odlišné od dynamického přístupu, který je běžný u jiných operačních systémů odpovídajících standardu POSIX. Standard operačního systému OSEK umožňuje specifikaci jako operačního systému s časovým řízením. Při zpracování procesů používá operační systém OSEK pevné přidělování priorit. Procesy mohou být v systému dvojího typu buď základní procesy (BT) nebo rozšířené procesy (ET) (rozšířené procesy jsou prakticky základní procesy, které mohou být aktivovány externími asynchronními událostmi). Každému procesu je přiřazena již při kompilaci pevná priorita a plánovač vždy vybírá proces s nejvyšší prioritou z prioritní fronty aktivních procesů, které jsou ve stavu připraveny na zpracování. Přerušení zajišťuje přepnutí kontextu při plánování procesů.

- **Salvo** je RT operační systém navržený pro velmi rychlý návrh levných vestavěných systémů s omezenou velikostí paměti ROM a RAM. Typické aplikace používají 1-2 KB ROM a 50-100 B RAM. Umožňuje RT multitasking pro nejširší okruh vestavěných procesorů, má dostatečný výkon pro rychlé vytvoření levných a sofistikovaných výrobků využívajících Internet. V současnosti je Salvo certifikováno pro použití následujících procesorů: rodina 8051 a její deriváty, ARClite mikroRISC se slučitelným 8-bitovým jádrem, ARM ARM7TDMI, Atmel AVR a MegaAVR, Motorola M68HC11, TI MSP430, Microchip PIC12|14000|16|17|18 PICmicro MCU a TI TMS320C2000 DSP, aj.
- **ThreadX** je velmi rychlý RT operační systém specificky navržený pro chytré vestavěné aplikace. ThreadX má mnoho pokročilých vlastností včetně své architektury s piko-jádrém, preempcí s prahovou hodnotou a bohatou sadou systémových služeb. ThreadX je implementován jako knihovna C. Pouze vlastnosti, které využívá aplikace, jsou přeneseny do konečného obrazu systému (obr. 5). Minimální velikost ThreadX je menší než 2,5 KB na CISC procesorech. ThreadX je deterministický a má velmi rychlou odezvu na externí události. Vlákna s vysokou prioritou jsou spouštěny v časovém pořadí jako odezva na externí událost, což umožňuje vysoce optimalizované přepnutí kontextu.



Obr.5 Architektura RTOS ThreadX

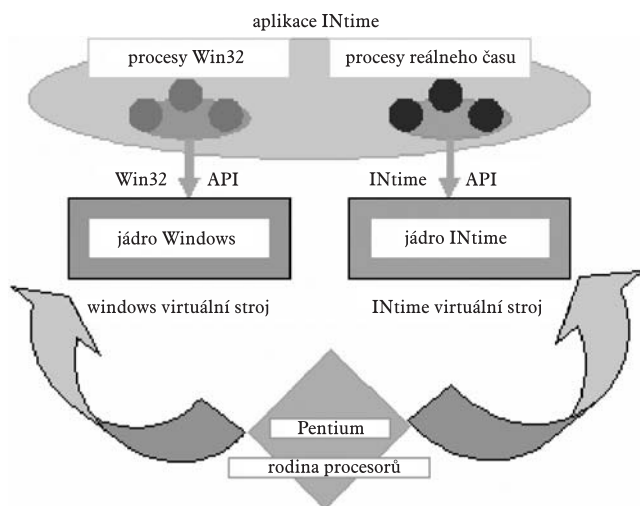
Třetí skupinu RT operačních systémů tvoří ty, které jsou orientovány pouze na skupinu procesorů Intel jako u PC, ale jsou použity pro vestavěné PC systémy. Mezi tyto operační systémy patří:

- **eRTOS** je navržen pro vestavěné aplikace s procesorem Intel 386Ex a vyšším nebo pro kompatibilní procesory.

- **Phar Lap ETS** poskytuje robustní vývojové prostředí pro vestavěné systémy, který využívají vlastností kritického RT operačního systému kompatibilního s Windows.
- **On Time RTOS-32** je kompatibilní s Win32 API. Používá se jako RTOS pro vestavěné systémy s 32-bitovými x86. Je to RT vestavěný OS pro kritické úlohy s podmnožinou jádra Windows pouze na 16k paměti. Lze jej plně integrovat do Microsoft Visual Studio a podporuje okolo 250-ti Win32 API funkcí.

Čtvrtou skupinu RTOS tvoří doplňující moduly jádra, které umožňují operačním systémům používaných u osobních počítačů PC, které tvoří nejrozšířenější skupinu výpočetní techniky, řešení úloh reálného času, často to však nejsou kritické úlohy reálného času.. Nadstavby pro operační systémy Windows jsou následující:

- **INtime** je kombinací přísně deterministického RT systému se standardním operačním systémem Windows (včetně Windows XP, Windows XP Embedded, Windows 2000, Windows NT a Windows NT Embedded) bez požadavků na přídavný hardware (obr. 6). INtime byl speciálně navržen tak, aby využil výhody výkonnosti architektury procesoru x86 a operačního systému Windows.
- **iRMX** je plnohodnotný RT operační systém pro Windows, který běží současně na stejné platformě s běžným OS Windows. Pomocí iRMX pro Windows mohou vývojáři vytvořit vysoce komplexní systém kombinací Windows a RT aplikace na téže počítači. Takto je redukována cena a složitost RT systému.
- **RTX** je výkonné RT řešení pro MS Windows. RTX zvětšuje univerzalitu Windows a přizpůsobuje se prostředí, které požadují vývojáři RT systémů jako je determinismus, lepší řízení a další vlastnosti. Snižuje cenu systému s vyloučením potřeb pro zákaznické nebo specializační hardwarové platformy a zvyšuje spolehlivost pro standardní x86. Umožňuje rychlé zavedení na trh pomocí intuitivních vývojových nástrojů, které lze snadno spojit se standardními Windows IDE, a vytvoření sledovatelných a říditelných aplikací s neomezeným počtem vláken a až 1000 procesů s latentním čase pod mikrosekundu.

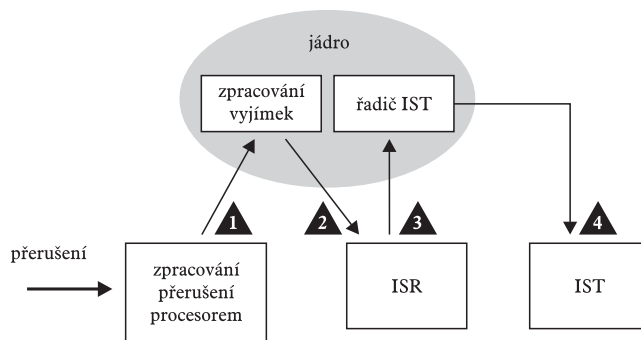


Obr.6 Architektura RTOS INtime

Pátou skupinu operačních systémů tvoří operační systémy, které se používají u mobilní výpočetní techniky jako jsou např. PDA, ale také u různých měřicích přístrojů. Většinou se však nejedná o kritické úlohy reálného času. Mezi tyto operační systémy patří Palm OS, Pocket PC, Windows CE 3.0, Windows CE. NET, Windows XP Embedded, aj.

Windows CE je preemptivní víceúlohový systém, který byl navržen jako operační systém pro obecné použití. Primárně je určen pro vestavěná zařízení neobsahující rotační paměťová média. Vzhledem k tomu, že nebyl napsán pouze pro jeden typ hardwaru, musí vždy mezi operačním systémem a vlastním zařízením existovat speciální spojovací vrstva softwaru, která se nazývá

OEM Adaptation Layer (OAL). K dispozici je 255 prioritních úrovní. Nejvyšší priorita odpovídá číslu 0 a nejnižší číslu 255. Operační systém Windows CE má preemptivní a prioritní systém, který určuje, jak jsou postupně přidělována časová kvanta jednotlivým běžícím vláknům. Velikost časového kvanta odpovídá době kdy je vláknům přidělen procesor, u starších verzí byl konstantní a měl implicitně hodnotu 100 ms. Verze 3.0 oproti předchozím verzím přináší již možnost změny velikosti přidělovaného kvanta individuálně pro každé vlákno. Výsledná doba zpracování jednotlivých vláken pak nezáleží pouze na prioritním schématu, ale i na délce nastavených časových kvant. Přiřazení vláken do jednotlivých prioritních skupin je definováno podle přidělení časových kvant jádrem OS. Základní pravidlo určuje posloupnost zpracování tak, že jsou nejdříve obsluhována vlákna s vyšší prioritou. Pokud však je v systému více vláken se stejnou prioritou, pak jsou jim časová kvanta přidělována cyklicky. Aktuálně běžící vlákno tak může být přerušeno pouze jádrem při vypršení kvanta, vláknem s vyšší prioritou a samozřejmě obsluhou hardwarového přerušování. Jedinou výjimkou jsou vlákna s prioritou 0, která jsou označována jako `THREAD_PRIORITY_TIME_CRITICAL`. Běh vlákna s touto prioritou pak není nikdy jádrem přerušeno a vlákno je zpracováváno až do svého konce nebo do okamžiku, kdy se dostane do stavu čekání na systémový prostředek (obr. 7). V takovém případě je ovšem nutné, aby vlákno nebylo zpracováváno příliš dlouho, neboť by mohlo dojít k degradaci odezvy operačního systému na vnější události.



Obr.7 Obsluha přerušování v systému Windows CE

Literatura

- [1] ČERNOHORSKÝ, J., SROVNAL, V.: Systémy reálného času, AT&P journal, Issue 6-8, Volume 12, June-August 2005, ISSN 1335-2237, p. 20 – 21, p. 93, p. 57 – 59
- [2] ČERNOHORSKÝ, J., SROVNAL, V.: Základní koncepce operačních systémů pracujících v reálném čase (RTOS), AT&P journal, Issue 9-, Volume 12, September 2005, ISSN 1335-2237
- [3] BARR, M.: Programming Embedded Systems in C and C+++, O'REILLY 1999. ISBN 1-56592-354-5.
- [4] EDWARDS, L.: Embedded System Design on Shoestring: Achieving High Performance with a Limited Budget. LLH Technology Publishing 2001. ISBN 0-7506-7609-4
- [5] KOCIS, T., SROVNAL, V.: Operating Systems for Embedded Computers. In : Programmable Devices and Systems 2003-IFAC Workshop. Pergamon Press-Elsevier 2003, Great Britain, ISBN 0- 08-044130-0, p. 359 – 364
- [6] SROVNAL, V.: Operační systémy pro řízení v reálném čase, VŠB Technická universita Ostrava 2003, ISBN 80-248-0503-0

Pokračovanie v budúcom čísle.

prof. Ing. Vilém Srovnal, CSc.

Katedra měřicí a řídicí techniky, FEI
VŠB Technická univerzita Ostrava, ČR

38