

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ústav informatiky a výpočetní techniky

**Doc. Ing. Miroslav Švéda, CSc.**

## **SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA POČÍTAČÍCH**

TEZE PŘEDNÁŠKY K PROFESORSKÉMU JMENOVACÍMU ŘÍZENÍ

*Obor: Výpočetní technika a informatika*



BRNO 2001

© 2001 M. Švéda  
ISBN 80-214-1937-7  
ISSN 1213-418X

## **OBSAH**

1 ÚVOD .....	5
2 SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA POČÍTAČÍCH .....	5
3 VESTAVĚNÉ SYSTÉMY .....	7
4 POČÍTAČOVÉ SÍTĚ .....	7
5 VLASTNÍ PŘÍNOS K ROZVOJI OBORU: VĚDA A VÝZKUM.....	8
Průmyslový výzkum a vývoj .....	8
Formální specifikace a návrh vestavěných systémů .....	9
Komunikační sítě a protokoly pro vestavěné systémy.....	11
6 VĚDECKO-ORGANIZAČNÍ ČINNOST .....	13
7 ROZVOJ VÝUKY V OBORU .....	15
8 ZÁVĚR .....	17
LITERATURA .....	17
Abstract .....	20

**Miroslav Švéda** se narodil v roce 1950 v Brně, kde v r. 1974 ukončil s vyznamenáním vysokoškolské studium na Fakultě strojní VUT v oboru Regulace a automatizace. Pak nastoupil do útvaru automatizace Výzkumného ústavu makromolekulární chemie v Brně a v r. 1975 byl přijat na interní vědeckou aspiranturu v oboru Technická kybernetika na Ústav automatizovaných systémů řízení VŠCHT v Praze, kde v r. 1978 pod vedením Prof. Slavíčka a Prof. Schmidta obhájil disertační práci *Užití nepravidelných sítí pro číslicovou simulaci některých dynamických systémů s rozloženými parametry*.

Po aspirantuře nastoupil na základě konkurzu do odboru elektronických řídicích systémů Výzkumně-vývojového ústavu Závodů všeobecného strojírenství v Brně nejdříve jako samostatný výzkumný pracovník a posléze jako vědecký pracovník se zaměřením na architekturu a programové vybavení systémů řízení reálného času. V roce 1987 přešel na základě konkurzu do oddělení mikroelektronika Výzkumného a vývojového ústavu elektrických strojů točivých v Brně jako vědecký a poté jako samostatný vědecký pracovník se zaměřením na architekturu a programové vybavení řídicích systémů. V r. 1988 získal vědecký kvalifikační stupeň II A.

V r. 1991 byl přijat po konkurzu jako odborný asistent II do Oblastního výpočetního centra VUT v Brně do oddělení výzkumu Prof. Kopřivy. V lednu 1993 byl na základě habilitační práce *Návrh a implementace vestavěných distribuovaných systémů* jmenován docentem v oboru Technická kybernetika a v r. 1994 přešel na základě konkurzu na Ústav informatiky a výpočetní techniky Fakulty elektrotechniky a informatiky VUT v Brně. Byl členem vědecké rady fakulty a předsedou oborové rady inženýrského studia Informatika a výpočetní technika. Nyní je předsedou oborové rady bakalářského studia Výpočetní technika a informatika a členem oborové rady doktorského studijního programu Kybernetika a informatika.

Je autorem resp. spoluautorem 96 cizojazyčných publikovaných prací včetně 2 zahraničních knižních publikací s původními částmi, 5 příspěvků v zahraničních knižních publikacích a 12 příspěvků v mezinárodních vědeckých časopisech. Jeho publikace v češtině zahrnují více jak 70 položek. Je spoluautorem 10 vynálezů.

Je předsedou pracovní skupiny pro formální specifikace systémů založených na počítačích v rámci Technického výboru pro inženýrství systémů založených na počítačích (TC-ECBS) mezinárodní vědecké inženýrské společnosti IEEE Computer Society, zakladatelem a spolupředsedou workshopů IEEE/IFIP Formal Specifications of Computer-Based Systems. Je stálým členem výkonného výboru ExCom IEEE TC-ECBS, programového výboru mezinárodních konferencí IEEE ECBS a pracovní skupiny IFIP WG 10.1 teorie počítačových systémů.

## 1 ÚVOD

Výpočetní technika a informatika patří mezi obory s relativně krátkou historií, ale s velmi rychlým vývojem. Engineering of Computer-Based Systems (ECBS) — Systémy založené na počítačích — je po Computer Science, Computer Engineering a Software Engineering čtvrtou disciplinou tohoto oboru se samostatným magisterským programem, která se ve vývoji posledních několika let vyčleňuje jako inženýrsky orientovaná a vysoce mezioborová oblast výzkumných, vývojových, produkčních a vzdělávacích aktivit. Navazuje na všechny tři předcházející počítačové disciplíny a na poslední zkušenosti z návrhů systémů s vestavěnými počítači v průmyslu. Jak bývá obvyklé při vzniku nové disciplíny, v technické praxi se již delší dobu intenzívně realizují projekty, jejichž klasifikace je zařazuje do nově vymezované oblasti. Zkušenosti, nashromážděné ve výzkumných i produkčních sférách a průběžně obohacované o nové teoretické základy, byly shrnuty a utříděny tak, že v listopadu 1994 rozhodla IEEE Computer Society o oficiálním ustavení své technické komise TC-ECBS [1].

## 2 SYSTÉMY ZALOŽENÉ NA POČÍTAČÍCH

Systémy založené na počítačích jsou systémy, jejichž chování je v podstatné míře ovlivňováno nebo řízeno počítači. V současné době jsou takové systémy součástí téměř všech složek lidské činnosti od složitých, geograficky rozlehlých telekomunikačních systémů, přes řízení průmyslových procesů, dopravních systémů, inteligentních budov, vojenských aplikací a medicínských přístrojů až po systémy automobilní a spotřební elektroniky. CBS jsou tvořeny technickými a programovými počítačovými prostředky, které intenzívně komunikují s jinými, nejčastěji technickými systémy, při nutnosti dosahovat vysokých provozních parametrů, zejména spolehlivosti a bezpečnosti. Nebývalá výpočetní výkonnost počítačů, široká funkčnost ovládaných technických komponent a jejich mohutné vzájemné provázání vytváří v komplexu dříve neznámou složitost při tvorbě těchto systémů úzce svázaných s různými aplikačními oblastmi.

Vnitřní strukturu disciplíny ECBS lze popsat prostřednictvím poslání pracovních skupin, které se ustavily v rámci TC-ECBS. Patří mezi ně skupiny pro procesní a informační modelování, architekturu, modelové integrační nástroje a pro hodnocení systémů, které vymezují specifický základ oboru. Tento základ byl doplněn o pracovní skupiny adaptující nebo nahrazující pro potřeby CBS jinde vyvinuté artefakty, nástroje, techniky a procedury pro formální specifikace, opakovanou využitelnost, standardizaci, případové studie, právní problémy aplikací a pro vzdělávání.

Procesní model CBS slouží pro dekompozici systému. Subsystemy analyzuje jako komponenty až po specifikaci technického a programového vybavení a úloh obsluhy. Informační model chování systému vychází ze stavového modelování přechodových systémů jako systémů diskrétních událostí a hybridních systémů. Oba uvedené modely jsou úzce spojeny s architekturou CBS, která je definována prvky z množiny generických komponentních typů, vlastnostmi těchto typů, pravidly vzájemného propojení a interakce, včetně interakce s okolím, a konečně i způsobem agregace těchto typových komponent do vyšších celků nebo dekompozice na prvky nižší úrovně. Architektura CBS může být reprezentována pohledy definujícími dílčí modely, přičemž

- funkční model nahlíží na systém jako na soubor komponentních funkcí se vzájemnou interakcí a interakcí s okolím (model „co“),
- návrhový model pojímá systém jako soubor komponentních částí, které jsou propojeny navzájem i s okolím (model „jak“),
- zdrojový model vnímá systém jako soubor výpočetních a komunikačních prostředků (model „z čeho“),
- specifikace přiřazení vyjadřují způsob zobrazení návrhového modelu do zdrojového modelu (model „čím“),
- implementační model je návrhový model rozvinutý podle specifikace přiřazení prvky zdrojového modelu a obohacený infrastrukturou a potřebnými spojovacími komponentami (model „kde“),
- exekuční model pojímá systém jako soubor procesních a komunikačních prvků dynamicky plánovaných a spouštěných při běhu systému (model „kdy“).

Specifikace požadavků, návrh, implementace, testování a provoz výsledného heterogenního systému vyžaduje nástroje, které respektují různorodost složek systému a současně umožňují holistický náhled na analýzu a syntézu systémů. Hodnocení CBS prověřuje systémy v celé šíři jejich životního cyklu, od analýzy požadavků a počátečních specifikací, přes návrh, vývoj a implementaci systému, běžný provoz a údržbu, až po inovační cykly. Nástroji používanými pro hodnocení jsou nejčastěji prostředky analýzy požadavků, simulace, testování a formální verifikace, používané na různých úrovních abstrakce systému.

Lze tedy shrnout, že ECBS se zabývá takovými komplexními systémy, jejichž podstatnými komponentami jsou počítače, jejich komunikační propojení a jejich vazba na okolí. Tyto systémy jsou integrovány v rámci aplikace se svým okolím, pracují obvykle v reálném čase a splňují nejen funkční specifikace, ale i specifikace spolehlivostní, bezpečnostní a další, které vyplývají z požadavků aplikací.

### 3 VESTAVĚNÉ SYSTÉMY

Jako vestavěné systémy se označují počítačové systémy vestavěné v aplikacích běžících v reálném prostředí a čase [2]. Jsou vlastní podmnožinou systémů založených na počítačích v tom smyslu, že se netýkají takových informačních systémů, které obsahují pouze klasické počítače a počítačové sítě, jako jsou např. účetní systémy či běžné internetové aplikace. Naopak typickými komponentami vestavěných systémů jsou jednočipové a jednodeskové mikropočítače nebo i běžné osobní počítače bez standardní klávesnice a obrazovky, přímo připojené svými vstupy a výstupy na procesy okolí, jež monitorují či řídí a jejichž časování respektují.

Architektura vestavěných systémů musí realizovat predikovatelné chování aplikace i v případě nepredikovatelného chování okolí, musí zajistit požadovaný stupeň spolehlivosti včetně odolnosti proti poruchám, robustnost při laické obsluze a další vlastnosti vyžadované danou aplikační oblastí. Protože se často jedná o produkty určené pro hromadnou výrobu, jako např. systémy automobilní elektroniky, mobilních telefonů apod., je třeba respektovat i další požadavky, jako je testovatelnost, nízká výrobní cena, vícenásobná využitelnost modulů a jiné.

Teorie vestavěných systémů je v současnosti založena zejména na stavových modelech doplněných o vhodnou diskrétní, spojitou, či hybridní reprezentaci času [3]. Jde o časované přechodové systémy a o temporální logiky a algebry procesů reálného času. Teorie je budovaná zejména pro podporu verifikace vlastností formálně specifikovaných vestavěných systémů s dlouhodobým cílem podpory automatického generování implementací [4].

### 4 POČÍTAČOVÉ SÍŤE

Počítačové sítě patří k základním komponentám systémů založených na počítačích. Pokud vestavěné systémy obsahují počítačové sítě, pak obvykle specializované na přenos aplikačních příkazů a stavových hlášení protokoly určenými pro práci v reálném čase [5]. V současnosti jsou vestavěné systémy nebo jejich jednotlivé komponenty často připojovány k Internetu. To umožňuje jednak snadno vzájemně propojit i geograficky velmi vzdálené komponenty přes Internet, jednak je vzdáleně monitorovat či ovládat z počítače, který má k Internetu přístup [2, 6].

Síťovou aplikaci včetně využívané sítě lze opět považovat za CBS. Nejsou-li časové požadavky v síťové aplikaci kritické, lze zde užívat teoretické modely

vycházející z diskrétního stavového prostoru, tedy přechodové systémy a klasickou temporální nebo modální logiku [7]. Jsou-li časové požadavky síťové aplikace kritické, je teorie těchto systémů společná s teorií vestavěných systémů a příslušné modely obsahují tedy explicitní čas.

## **5 VLASTNÍ PŘÍNOS K ROZVOJI OBORU: VĚDA A VÝZKUM**

Můj přínos k rozvoji oboru systémů založených na počítačích je tvořen (1) výzkumně vývojovou činností a inženýrskými díly realizovanými během mého působení v průmyslovém výzkumu v letech 1978 až 1991, (2) vědecko výzkumnou činností v oblasti formálních specifikací a (3) komunikačních sítí a protokolů na OVC (CVIS), FS a FEI VUT v Brně od roku 1991. Další aktivity takto zaměřené, spadající do vědecko organizačních činností a do rozvoje výuky v oboru, jsou diskutovány v následujících kapitolách.

### **Průmyslový výzkum a vývoj**

Do období mého působení v průmyslovém výzkumu a vývoji ve VVÚ ZVS Brno a VÚES Brno náleží v první řadě podíl na řešení resp. řešení konkrétních průmyslových vestavěných systémů včetně spoluautorství 10 patentů. Sem patří samostatně řešené úkoly, zejména programové vybavení vzorovacího systému s minipočítačem JPR-12 pro elektronicky řízené pletáčky pro VÚP Brno (1978-1979), architektura a programové vybavení řídicích systémů s jednočipovými mikropočítači nové generační řady výdejních stojanů pohonných hmot pro ADAST Adamov (1983-88) [8, 9], architektura mikroprocesorem řízeného snímače debetních poukázek a jednočipovými mikropočítači řízeného kreditního snímače pro ADAST Adamov (1984-86), koncepce a architektura distribuovaného řídicího systému velkovýdeje pohonných hmot pro ADAST Adamov (1985-1986), architektura a programové vybavení řídicího systému pračky s jednočipovým mikropočítačem pro Philco Arabic (1987-1988), koncepce a architektura řídicích systémů skupin rychlovýtahů jako systémů distribuovaných pro Tranzu Břeclav (1989-90) [10] a koncepce a architektura distribuovaného automatizovaného měřicího systému pro asynchronní motory na zkušebně MEZ Frenštát (1990-91) [11].

K významnějším vývojovým nástrojům zaměřeným na vestavěné systémy, které jsem navrhl a implementoval, patří linkové monitory malých sítí s protokoly BITBUS a NBIP pro Eltos-IMA Praha (1988-1990) [12] a také prostředí pro vývoj programového vybavení aplikací jednočipových mikropočítačů pro VÚES Brno (1988-91) [13]. K obecněji zaměřeným úspěšně řešeným úkolům patří



podíl na koncepci mikroprocesorového řízení textilních strojů v rámci státního úkolu aplikovaného výzkumu řešeného VVÚ ZVS Brno (1980-1984), podíl na koncepci mikroelektronických řídicích systémů v elektrických pohonech jako systémů distribuovaných v rámci státního úkolu aplikovaného výzkumu řešeného VÚES Brno (1987-1990) a vypracování srovnávací studie komunikačních propojení jednočipových mikropočítačů pro Teslu Kolín (1989).

## **Formální specifikace a návrh vestavěných systémů**

Moje vědecko výzkumná činnost na VUT v Brně je demonstrována habilitační prací a vedením či podílem na řešení výzkumných grantů. Moje habilitační práce *Návrh a implementace vestavěných distribuovaných systémů* vznikla na základě zobecnění zkušeností z průmyslového výzkumu a vedla k formulaci původní metody lokálního času pro návrh průmyslových vestavěných systémů [14, 15, 16]. Na ÚIVT jsem byl spoluřešitelem grantu EU COST 247 (1994-1996): *Verification and Validation Methods for Formal Description* a řešitelem grantu FEI VUT (1995-1996): *Testbed for Formal Specifications*. V rámci tohoto výzkumu jsem vytvořil metodu formálních specifikací vycházející z koncepce lokálního času, jež doplňuje shora zmíněnou metodu lokálního času pro návrh vestavěných distribuovaných systémů [17]. V grantu EU Copernicus (1995-1998): *Stimulating European Industry through High Performance Computing* jsem navázal na obě předchozí témata vytvořením koncepce a pilotní implementace nástrojů pro podporu formálních specifikací a návrh vestavěných systémů respektující lokální čas [18, 19].

Model lokálního času odpovídá měření času v každém uzlu distribuovaného systému lokálními hodinami založenými na vhodných periodických oscilacích. Jednotlivé údaje lokálních hodin se v daném okamžiku mohou lišit z důvodu posunutí počátku měření (geografický čas), různé jemnosti časové škály (analogové hodiny či číslicové hodiny odměřující po 1 ms resp. 1 s), nepřesnosti měření (vzájemně se rozcházející hodiny) a vlivem relativistických jevů. Obvyklé prostředky oblasti formálních specifikací vestavěných distribuovaných systémů jsou založeny na globálním času, který výše uvedené problémy měření času nemůže postihnout. Tato koncepce, která má ve srovnání s koncepcí lokálního času jednodušší a v průmyslu již využívaný formální aparát, vede obvykle na komplikovanější implementace vzhledem k nezbytnosti průběžně synchronizovat časovače v jednotlivých procesorech distribuovaného systému. Na druhé straně není v současnosti koncepce lokálního času pro specifikace prakticky využívána z důvodu složitosti jejích známých formalizací [3]. Mým hlavním teoretickým přínosem je nová formalizace lokálního času umožňující přistupovat k formálním specifikacím stejným způsobem, jak se v průmyslové praxi implementují jednoduché vestavěné aplikace, tedy bez použití globálních

hodin, jejichž realizace je nákladná zvláště v případě požadavků na odolnost proti poruchám.

Princip formalizace lokálního času je následující. Model lokálního času zavádí částečné uspořádání  $(L_{\text{LOC}} \times T, <)$  na množině událostí  $E$  v distribuovaném systému s diskrétními lokalitami  $L_{\text{LOC}}$  (tj. prostorově rozmístěnými procesory) pro časování událostí  $E \rightarrow T$ , kde  $T$  je časová doména. Lokalitu lze definovat jako relaci ekvivalence na událostech  $L_{\text{LOC}} = (E, \sim)$  a pro každou třídu této ekvivalence specifikovat zvláštní časování. Sémantiku lokálního času pro potřeby formálních specifikací jsem definoval užitím (1) Lamportova logického času, což je částečné uspořádání pomocí relace "předchází" časově bodových událostí v distribuovaném systému souběžně běžících sekvenčních procesů komunikujících posíláním zpráv při nenulové době přenosu, a (2) fyzického generátoru událostí daného typu. Zúplněný reflexivní uzávěr relace "předchází", tedy relace "předchází nebo je souběžné", označme jako  $\Rightarrow$ . Dále zavedeme abstraktní objekt `Event-Count`, který čítá události daného typu  $\eta \in E$ ,  $e = |\eta|$  tak, že při výskytu takové události vyvolá interní operaci `Advance( $\eta$ )` :  $e := e + 1$ . Externí operace `Wait( $\eta, \sigma$ )` suspenduje volající proces dokud platí  $e < \sigma$ . Časové uspořádání výskytů externí a interní operace ovlivňuje chování objektu `Event-Count` tak, že když `WE` je provedení operace `Wait( $\eta, \sigma$ )`, potom existuje alespoň  $\sigma$  prvků množiny  $\{AE \mid AE \text{ je provedení } \text{Advance}(\eta) \text{ a } AE \Rightarrow WE\}$ , V případě měření času tedy jde o čítání periodických událostí, jimiž jsou tiky příslušných lokálních hodin. Stejným způsobem lze formalizovat monitorování i libovolné neperiodické události při popisu synchronizace s procesy okolí.

Z výše uvedeného vyplývá, že objekt `Event-Count` může monitorovat jak periodické tiky lokálních hodin tak i externí události reprezentující fyzické časování některého procesu systémového okolí. Model lokálního času se tedy týká vnitřního a případně dostupného okolního časování jedinečného pro každý procesor distribuovaného systému, zatímco interní lokální časy nemusí být synchronizovány, pokud to aplikace nevyžaduje. Tento model definuje operační sémantiku časových konstruktů procesně orientovaného specifikačního jazyka, který umožňuje verifikaci vlastností specifikovaného distribuovaného vestavěného systému metodou *model checking* efektivním prohledáváním stavového prostoru, kdy je přirozeně redukována složitost obvyklého přístupu generování všech možných úplných uspořádání souběžných událostí.

Další výzkum v této oblasti orientuji na aplikaci temporálních logik reálného času pro formální specifikace a jejich rychlé prototypování, využití dokazovacích systémů při ověřování vlastností specifikovaných CBS a na znalostní podporu metodami umělé inteligence [20, 21, 22, 23], viz podaný

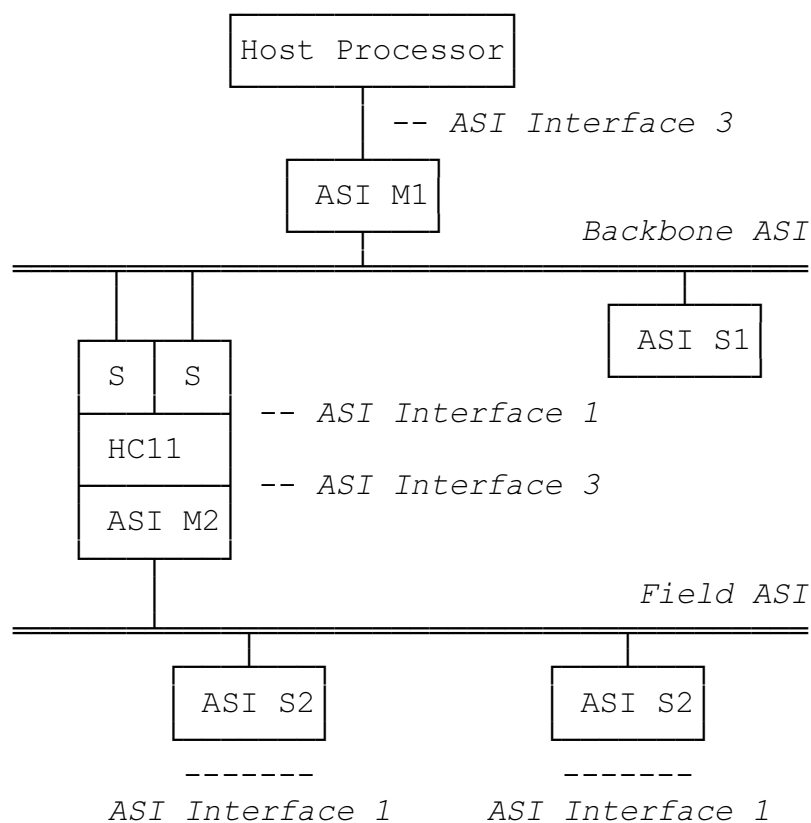
grant GAČR (2002-2004): *Specifikace a návrh systémů založených na počítačích*, jehož jsem navrhovatelem.

## **Komunikační sítě a protokoly pro vestavěné systémy**

Můj druhý hlavní směr výzkumu se týká komunikačních sítí a protokolů pro vestavěné systémy. Také tento směr vychází z mých zkušeností získaných v průmyslovém výzkumu a vývoji a prezentovaných i v habilitaci, neboť komunikační sítě a protokoly tvoří základ architektury vestavěných distribuovaných systémů. Formální specifikace a návrh architektury CBS jsou těmi kroky vývojového cyklu, které vymezují dosažitelné parametry kvality výsledného produktu a rozhodujícím způsobem tedy ovlivňují celkový výsledek. Proto je těmto etapám věnovaná mimořádná pozornost v současném akademickém i průmyslovém výzkumu a vývoji.

Na OVC (později CVIS) a na ÚIVT jsem byl spoluřešitelem grantu VUT B3 (1993-94): *Technické a programové prostředky komunikačních systémů nejnižší úrovně řízení technologických procesů, linek a strojů* a spolupracovníkem na grantu GAČR (1995-97): *Heterogenní průmyslové sítě typu fieldbus*, kde jsem zformuloval principy instrumentace a původní architekturu a metody propojování fieldbusů [24, 25, 5]. Na grantu GAČR (2000-2001): *Tlakový analyzátor TLAKAN* se podílím koncipováním komunikačního subsystému a objektově-orientované architektury připojování čidel k Internetu. Navržené původní řešení, využívající kombinaci nejnovějších standardů IEEE 1451.1 a 1451.2 a připravovaného standardu Virtual Interface Architecture, nabízí opakovaně využitelný objektový rámec a návrhový vzor pro efektivní řešení perspektivní třídy vestavěných systémů založených na čidlech kompatibilních s Internetem [6].

Původní metoda propojování fieldbusů vychází z referenčního modelu otevřených systémů ISO/OSI a adaptuje architekturu propojení podle konkrétních protokolových profilů spojovaných fieldbusů. Vytvořil jsem návrhové vzory typu směrovač, most a brána pro hierarchické připojení fieldbusů s řízením přístupu pomocí vyzývání a výběru. Tato metoda umožnila například i hierarchické spojování sítí s protokolem ASI, který takovou architekturu nepodporuje [5], viz obr. 1.

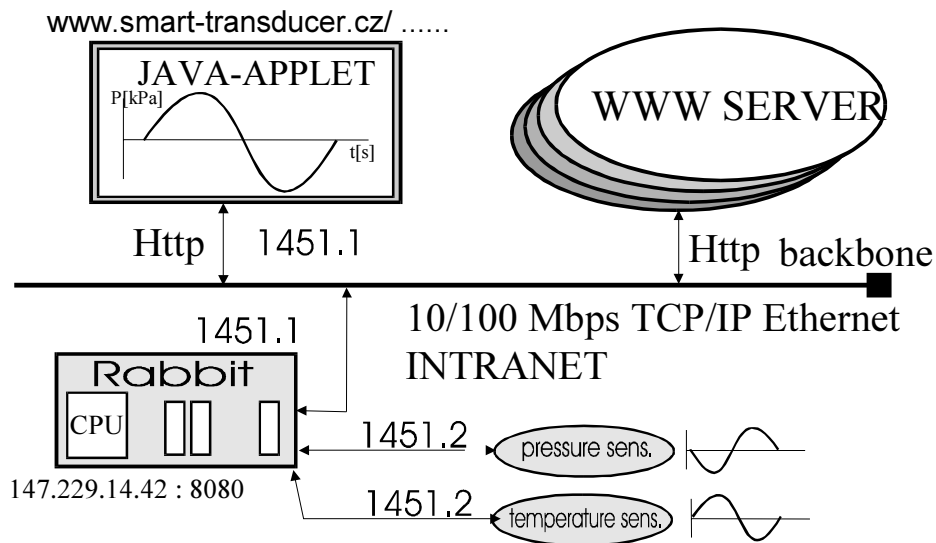


Obr. 1 Hierarchické spojování sítí s protokolem ASI

Metoda je doplněna nástroji pro prototypování implementovanými v rámci průmyslových případových studií [23]. Nástroje pokrývají vytváření prototypů v následujících krocích: (1) syntaxe a statická sémantika jazyka pro specifikaci architektury propojení je definovaná užitím vhodné atributové gramatiky; (2) pro rychlé prototypování překladače tohoto jazyka je využit Prolog; (3) je vytvořen prototyp technického vybavení propojovací komponenty na základě opakovaně využitelné jednodeskové sestavy obsahující dva jednočipové mikropočítače, elektroniku pro implementaci fyzických vrstev fieldbusů a dále programovatelné logické pole; a (4) je vytvořen prototyp programového vybavení brány jednak na základě flexibilních modulů jádra operačního systému reálného času s preemptivním plánováním úloh s prioritami, jednak na základě komunikační úlohy konfigurovatelné pro konkrétní protokoly.

Původní návrhový vzor pro vestavěné systémy založené na čidlech přímo připojitelných k Internetu využívá (1) objektově orientovaný model síťového procesoru NCAP podle standardu IEEE 1451.1, (2) standardní rozhraní a protokol přístupu k čidlům a akčním členům IEEE 1451.2 a (3) model Virtual Interface Architecture firem Compaq, Intel a Microsoft pro posílání zpráv v Internetu. Tento návrhový vzor založený na moderních standardech usnadňuje opakované využívání vyvinutého programového vybavení při řešení aplikací

vestavěných systémů s touto perspektivní architekturou, jež byla poprvé použita pro aplikace měření tlaku [6], viz obr. 2.



Obr. 2 Příklad použití návrhového vzoru

Další výzkum zde směřuji na zobecnění této architektury pro distribuované vestavěné systémy s využitím moderních protokolů Internetu pro skupinové adresování a efektivní posílání zpráv, viz také podaný grant GAČR (2002-2004): *Vestavěné řídicí systémy a jejich vzájemná komunikace*, jehož jsem navrhovatelem.

## 6 VĚDECKO-ORGANIZAČNÍ ČINNOST

Má odborná činnost v oblastech formální specifikace, vestavěné systémy a komunikační protokoly a sítě našla odezvu jak v domácí, tak i mezinárodní odborné komunitě. Domácí ohlas je demonstrován mimo jiné vyžádáním 3 oponentních posudků na takto zaměřené habilitační práce Fakultou informatiky MU v Brně a Fakultou elektrotechniky ČVUT v Praze, 1 vyžádanou recenzí odborné knihy, 10 vyžádanými posudky výsledků řešení resp. návrhů výzkumných záměrů a grantů, vyžádaným seriálem příspěvků do časopisu *Mikrosystém*, vyžádaným příspěvkem do časopisu *Computer Echo* a členstvím v programových výborech a vedením sekcí u nás pořádaných konferencí a seminářů.

Zahraniční ohlasy souvisejí jednak přímo s ECBS, což diskutují podrobněji následující odstavce, jednak zahrnují 6 citací zahraničními autory, vyžádaný posouzení nově vznikajícího mezinárodního vědeckého časopisu *Journal of Systems Architecture* vydavatelství North Holland, pozvání na 2 mezinárodní

konference na náklady pořadatele, 7 zvaných přednášek na mezinárodních vědeckých konferencích, 7x vedení sekce na mezinárodních konferencích, získání účasti ve 4 mezinárodních projektech, 13 recenzí příspěvků pro mezinárodní vědecké časopisy (1x *IEEE Computer*, 1x *Journal of Systems Architecture*, 3x *Informatica: An International Journal of Computing and Informatics*, 8x *Journal of Universal Computer Science*) a 64 recenzí příspěvků pro mezinárodní konference a workshopy.

Po nástupu na VUT v Brně jsem se zapojil do aktivit týkajících se vestavěných systémů a obecně CBS nejdříve jako člen Euromicro Association, a potom postupně ve vědeckých společnostech IFIP a IEEE Computer Society. V IFIP jsem členem pracovní skupiny WG10.1 pro teorii počítačových systémů technického výboru TC-10: Computer Systems. V IEEE Computer Society jsem aktivní v technickém výboru TC-ECBS pro inženýrství systémů založených na počítačích. Zde jsem se původně angažoval v pracovní skupině pro výuku, což diskutuje následující kapitola. V TC-ECBS jsem také zapojen od roku 1997 jako stálý člen programového výboru mezinárodních konferencí IEEE ECBS a od roku 1998 jako člen výkonného výboru ExCom ECBS. Od roku 1999 jsem předsedou pracovní skupiny pro formální specifikace CBS, v jejímž rámci pořádám jako spolupředseda workshopy Formal Specifications of Computer-Based Systems (FSCBS), sponzorované společnostmi IEEE Computer Society a IFIP. Za vytvoření těchto workshopů jsem byl v roce 2000 oceněn diplomem IEEE Computer Society.

Myšlenka vytvoření těchto společných workshopů FSCBS vznikla na pracovním zasedání výboru IFIP WG10.1 ve Vídni v roce 1999, kde jsem byl pověřen jako člen obou dotyčných výborů koordinací této iniciativy. Iniciativa byla podpořena výkonným výborem ExCom ECBS, který zřídil pracovní skupinu pro formální specifikace a jmenoval mě jejím předsedou. První workshop FSCBS jsme uspořádali v Edinburghu v roce 2000 [26] jako spolupředsedové s Prof. Ch. Rattrayem z University of Stirling, v návaznosti na mezinárodní konferenci IEEE ECBS 2000. Zde jsem byl současně předsedou programového výboru workshopu, organizoval jsem výběr příspěvků pro prezentaci a podílel jsem se na výběru rozšířených textů pro následnou publikaci ve zvláštním čísle mezinárodního elektronického časopisu *Journal of Universal Computer Science* (Springer, New York). V letošním roce jsme rozšířili řídicí výbor o třetího spolupředsedu Prof. J. W. Rozenblita z University of Arizona a zorganizovali jsme v pořadí druhý workshop FSCBS 2001 ve Washingtonu D.C. v návaznosti na mezinárodní konferenci IEEE ECBS 2001 [27]. Zde jsem se podílel také jako spolupředseda programového výboru. V současné době organizujeme výběr a publikaci rozšířených příspěvků ve dvou mezinárodních vědeckých časopisech, neboť počet velmi kvalitních příspěvků prezentovaných na

workshopu od loňského roku podstatně vzrostl. Ve stejném složení řídicího výboru připravujeme již třetí workshop FSCBS 2002 v Lundu ve Švédsku.

V letošním roce výkonný výbor ExCom ECBS navrhl uspořádání mezinárodní konference IEEE ECBS 2004 v Brně a pověřil mě návrhem realizace. Podrobnosti budou dohodnuty a upřesněny na zasedáních ExCom během konferencí IEEE ECBS v roce 2002 v Lundu a v roce 2003 v New Yorku.

## **7 ROZVOJ VÝUKY V OBORU**

Výuku v předmětech, jež patří svou povahou do oboru ECBS, jsem zahájil již v letech 1991-1993 organizací a vlastní výukou v semestrálním distančním studiu celoživotního vzdělávání Počítačové sítě a jejich aplikace na CVIS VUT v Brně. Vytvořil jsem zde předměty Architektura komunikačních systémů a protokolové inženýrství, Principy komunikačních protokolů WAN, LAN a SAN a Protokoly pro průmyslové a administrativní aplikace. Ve školním roce 1991/92 a následujícím jsem také navrhl a podílel se na výuce semestrálních výběrových předmětů Počítačové sítě Novell a Praktické aspekty komunikačních protokolů pro FE VUT. Pro FS VUT jsem vytvořil a od školního roku 1993/94 do loňska učil semestrální předmět Průmyslové sítě na specializaci Integrátor Ústavu konstruování. Na ÚIVT FEI VUT jsem zavedl a učil od školního roku 1994/95 povinný předmět Přenos dat ve 4. ročníku a volitelné předměty Počítačové sítě a Komunikace v počítačových aplikacích v 5. ročníku. Vedl jsem řadu ročníkových a semestrálních projektů a celkem 16 úspěšných diplomových prací na FEI a 3 na FS s tématy patřícími do ECBS.

Od školního roku 1995/96 jsem začal školit doktorandy a učit v doktorandském studiu nové předměty Počítačové systémy pracující v reálném čase a Počítačové sítě. Jeden můj doktorand úspěšně obhájil disertační práci z oblasti formálních specifikací a implementace systémů pracujících v reálném čase. V současné době jsem školitelem 7 doktorandů, z nichž 4 již složili rigorózní resp. doktorskou zkoušku a pracují na disertaci.

V letech 1996 až 1999 jsem se účastnil jako člen pracovní skupiny pro výuku IEEE TC-ECBS formulování studijních programů bakalářské a magisterské úrovně studia oboru ECBS [28, 29]. Tato iniciativa vedla k ustavení ECBS jako po Computer Science, Computer Engineering a Software Engineering v pořadí čtvrtého studijního oboru podporovaného IEEE Computer Society. V té době jsem se stal také předsedou oborové rady pro obor Informatika a výpočetní technika (IVT) na FEI VUT v Brně a podílel jsem se na koordinaci tvorby inovovaného magisterského studijního programu v tomto oboru. V rámci nově

koncipovaného oboru jsme v oborové radě připravili — za podpory grantu FRVŠ: *Inženýrství systémů založených na počítačích*, jehož jsem byl řešitelem a na němž se podíleli spoluřešitelé z ÚIVT, ÚAMT a ÚMEL FEI VUT v Brně — nové studijní zaměření Systémy založené na počítačích (SZP) volitelné v rámci oboru IVT [30].

Pro představu o struktuře a obsahu studia SZP uvádím původní návrh magisterského stupně, který navazoval na 1. stupeň oboru IVT a doplňoval povinné předměty 2. stupně IVT předepsanými povinně volitelnými, členěnými do tří etap. První etapa obsahuje předměty, které pokrývají základní technologie vývoje CBS. Jsou to Architektury počítačů, Architektury programových systémů, Komunikace v počítačových aplikacích a Návrh databázových aplikací. Druhá etapa, tvořící kmen curricula, je tvořena pěti předměty: Metody systémového inženýrství, Modelování a simulace systémů, Diagnostika a bezpečné systémy, Verifikace SZP a Řízení projektů SZP. Třetí etapou je diplomní projekt SZP, zadávaný přednostně z průmyslové praxe. Tyto povinné a povinně volitelné předměty jsou doplněny řadou volitelných předmětů, např. Návrh systémů pracujících v reálném čase, Formální metody a jejich užití, Bezpečnost systémů a dalšími, vybíranými z jiných zaměření informatických i jiných oborů, např. Technická kybernetika a Mikroelektronika.

Vzhledem k malému zájmu našich studentů bylo zaměření SZP zatím otevřeno pouze pro samoplátecké studium a vedlo doposud k jedné úspěšné obhajobě diplomní práce. Mým příspěvkem k implementaci SZP je v tomto zaměření povinně volitelný předmět Data Communications and Interfacing, jehož český ekvivalent Komunikace v počítačových aplikacích přednáším jako volitelný na současném oboru Výpočetní technika a informatika (VTI), a dále jeho povinná prerekvizita Data Communications and Computer Networks a volitelná korekvizita Computer Networks and Communication Protocols, s českými ekvivalenty Přenos dat a počítačové sítě a Počítačové sítě a komunikační protokoly jako povinným a volitelným předmětem na oboru VTI, které přednáším již třetí školní rok. Jako volitelný předmět je využitelný i předmět Systémy pracující v reálném čase, resp. Real-Time Systems, který přednáším na oboru doktorského studia Kybernetika a informatika.

Podílím se na koncipování oboru Počítačové systémy a sítě nového studijního programu Informační technologie návrhem řady předmětů, které budou také základem následně připravovaného samostatného oboru Počítačové sítě. Kromě povinného bakalářského předmětu Počítačové komunikace a sítě budu sám implementovat magisterské povinně volitelné Přenos dat a počítačové sítě a Počítačové sítě a komunikační protokoly a volitelný Specifikace vestavěných systémů. V doktorském studiu budu pak nabízet předmět Specifikace vestavěných systémů a na něj navazující Formální specifikace SZP.



Na základě zkušeností s odezvou našich studentů na výuku CBS připravujeme otevření oboru SZP v rámci nového studijního programu Informační technologie až po uspořádání mezinárodní konference IEEE ECBS 2004 v Brně. Konferenci ECBS se totiž každoročně zúčastňuje nejen mezinárodní akademická komunita, ale i zástupci průmyslového výzkumu a vývoje předních světových firem, což jistě zvýší zájem místního průmyslu o absolventy tohoto oboru, který se tím stane atraktivní i pro studenty.

## 8 ZÁVĚR

Na závěr bych si dovolil vyjádřit přesvědčení, že obor ECBS, jehož celosvětový nástup se nám na VUT v Brně podařilo zachytit hned na počátku, se prosadí v České republice jak v průmyslovém výzkumu, vývoji a úspěšných aplikacích, tak i ve výuce. Uspořádání prestižní mezinárodní konference IEEE ECBS v roce 2004 v Brně, což bude vůbec poprvé ve východní Evropě, nabízí také novou možnost prezentovat naši technickou univerzitu. Příležitost navázat kontakty přímo s reprezentanty výzkumu a vývoje předních světových firem, kteří se pravidelně konferencí ECBS zúčastňují, se tak nabídne všem zájemcům z akademické obce VUT.

## LITERATURA

- 1 Stephanie White, Jerzy Rozenblit, and Bonnie Melhart, "Engineering of Computer-Based Systems: Current Status and Technical Activities," *Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium and Workshop on Systems Engineering of Computer-Based Systems*, IEEE Service Center, Piscataway, New Jersey, 1995, Order No. 95TH8053
- 2 E.A. Lee, "What's Ahead for Embedded Software," *IEEE Computer*, Vol.33, No.9, 2000, pp.18-26
- 3 Ravn A.P., Rischel H. (Editors) *Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems*, Springer-Verlag, 1998, LNCS 1486
- 4 Harel D., "From Play-In Scenarios to Code: An Achievable Dream," *IEEE Computer*, IEEE Computer Society, Vol.34, No.1, 2001, pp.53-60
- 5 Švéda M., Vrba R., Zezulka F., "Coupling Architectures for Low-Level Fieldbuses." *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems '2000*, Edinburgh, Scotland, IEEE Computer Society Press 2000, pp.148-155

- 6 Švéda M., Vrba R., "Sensor Networking." *Proceedings of the Eighth IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems '2001*, Washington D.C., IEEE Computer Society Press 2001, pp.262-268
- 7 Gabbay D.M., Ohlbach H.J. (Editors), *Temporal Logic*, Springer-Verlag, 1994, LNCS 827
- 8 Švéda M., "Microcontroller Software Engineering," *Microprocessing and Microprogramming*, North-Holland, Vol.34, No.1, 1992, pp.11-14
- 9 Švéda M., "Small Area Network Interconnection," *Microprocessing and Microprogramming*, North-Holland, Vol.37, 1993, pp.193-196
- 10 Švéda M., "Multiple Lift Control System." *Proceedings of the 20th Euromicro Conference '94*, Liverpool, England, IEEE Computer Society, 1994, pp.581-587
- 11 Švéda M., "Design and Development of Industrial Measurement System-- Architecture and Software," *Microprocessing and Microprogramming*, North-Holland, Vol.40, No.4, 1994, pp.291-301
- 12 Švéda M., Bureš P., "Real-Time Network Management Tools: Fieldbus Level and Below." *Records IEEE/IFIP Cracow International Workshop on Requirements and Techniques for Network Management*, Cracow, Poland, 1993, pp.7.3:1-9
- 13 Švéda M., "An Implementation-Directed Design Method for Microcontroller Software," *Microprocessing and Microprogramming*, North-Holland, Vol.40, No.4, 1994, pp.291-301
- 14 Švéda M., "Development Environment for Local-Time Design Method," *Cybernetics and Systems*, Taylor & Francis, Vol.27, No.2 1996, pp.197-212
- 15 Švéda M., "Design Method, Fail-Stop Safety Model, and Embedded Application," *Journal of Systems Architecture*, North-Holland, Vol.43, No.1, 1997, pp.47-57
- 16 Švéda M., "An Approach to Safety-Critical Systems Design," *Computer Aided Systems Theory--EUROCAST'97*, Springer-Verlag, Lecture Notes on Computer Science 1333, 1997, pp.34-49
- 17 Švéda M., "Formal Specifications with Local Time Concept," *IEE Proceedings of the Workshop on Discrete Event Systems'96*, IEE Press, Edinburgh, UK, 1996, pp.356-361
- 18 Švéda M., "Asynchronous Specification Language and Design with Local Time," *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems'98*, IEEE Computer Society Press, Maale Hachamisha, Israel, 1998, pp.256-263
- 19 Švéda M., "Formal Specifications with Local Time Concept," *IEE Proceedings of the Workshop on Discrete Event Systems'96*, IEE Press, Edinburgh, UK, 1996, pp.356-361
- 20 Švéda M., Babka O., Freeburn J., "Knowledge Preserving Development: A Case Study," *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop*

- Engineering of Computer-Based Systems '97*, IEEE Computer Society Press, Monterey, California, 1997, pp.347-352
- 21 Švéda M., "Application Patterns for CBS Design Reuse," *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems '99*, IEEE Computer Society Press, Nashville, TN, USA, 1999, pp.256-263
  - 22 Švéda M., "Patterns for Embedded Systems Design," *Computer Aided Systems Theory--EUROCAST'99*, Springer-Verlag, Lecture Notes on Computer Science 1798, 2000, pp. 80-89
  - 23 Švéda M., Vrba R., "Executable Specifications for Distributed Embedded Systems," *IEEE Computer*, IEEE Computer Society, Vol.34, No.1, 2001, pp.138-140
  - 24 Švéda M., "Routers and Bridges for Small Area Network Interconnection," *Computers in Industry*, Elsevier, Vol.22, No.1, 1993, pp.25-29
  - 25 Švéda M., Vrba R., "Actuator-Sensor-Interface Interconnectivity," *Control Engineering Practice*, Pergamon, Vol.7, No.1, 1999, pp.95-100
  - 26 Rattray C., Švéda M. (Editors) *Proceedings of the IEEE TC-ECBS + TF RE and IFIP WG10.1 Joint Workshop on Formal Specifications of Computer-Based Systems*, Edinburgh, Scotland, University of Stirling, UK, 2000
  - 27 Rattray C., Švéda M., Rozenblit J. (Editors) *Proceedings of the IEEE TC-ECBS and IFIP WG10.1 Joint Workshop on Formal Specifications of Computer-Based Systems*, Washington D.C., USA, University of Stirling, UK, 2001
  - 28 Lavi J.Z., Manion M., Melhart B., Pyle I., Švéda M., "Engineering of Computer-Based Systems--A Proposed Curriculum for a Degree Program at Bachelor Level," *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems '98*, IEEE Computer Society Press, Maale Hachamisha, Israel, 1998, pp.369-376
  - 29 Lavi J.Z., Manion M., Melhart B., Pyle I., Švéda M., "Engineering of Computer-Based Systems Enhancement Courses--Proposed Course Outlines," *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems '98*, IEEE Computer Society Press, Maale Hachamisha, Israel, 1998, pp. 377-384
  - 30 Švéda M., Dvořák V., Hruška T., Drábek V., "ECBS Master Degree Study at the Technical University of Brno," *Proceedings of the IEEE Conference and Workshop Engineering of Computer-Based Systems '98*, IEEE Computer Society Press, Maale Hachamisha, Israel, 1998, pp.306-312

## **Abstract**

This lecture reviews the contemporary state of Engineering of Computer-Based Systems (ECBS) as a new and emerging branch of Computer Science and Engineering from the viewpoints of research and education. Attention is focused not only on a holistic view and main features of this discipline, but also on embedded systems as an important class of computer-based systems (CBS) including computer networks and communication protocols, which constitute their important components. Moreover, introductory sections mention also the significant role of formal specifications in this domain. The other sections of the lecture focus on more detailed presentation of selected parts of this discipline employing author's personal experience.

Following the introductory and general sections, main part of the lecture discusses research, professional, and educational activities in the ECBS domain. Research contributions cover industrial research and development of embedded systems, formal specifications in ECBS, and communication networks and protocols for embedded systems.

While spending more than 20 years in industrial research institutes, the author designed and developed system architectures and software of gadgets aiming at pumping technology, textile machinery and electrical drives. Concurrently, he invented and implemented a development method, tools, and environments for dedicated microcontroller-based embedded systems.

Research activities in ECBS at the Brno University of Technology deal both with formal specifications and design methods and with communication networks and protocols for embedded systems. The main contributions in this area consist of (1) local-time formal specification method and supporting tools that complement the related design method and tools developed previously, (2) CBS architecture-related method and framework for interconnecting low-level fieldbuses, and (3) object-oriented framework and design patterns propping the connection of sensor-based embedded systems to the Internet.

The author's membership in the Technical Committee for ECBS of the IEEE Computer Society has enabled him to participate in developing ECBS Bachelor and Master Degree Curricula and implementing them at the Brno University of Technology. As a chairman of the IEEE ECBS Working Group for Formal Specifications, the author runs together with Prof. Rattray and Prof. Rozenblit annual IEEE/IFIP Joint Workshops on Formal Specifications of CBS.