

IB109 Návrh a implementace paralelních systémů

Organizace kurzu a úvod

Jiří Barnat

Organizace kurzu

Místo a čas

- Středa 16:00-17:40, A217

Ukončení předmětu

- Závěrečný písemný test na odpřednášený obsah
- Možno získat několik bodů za nepovinné domácí úlohy
- Požadavky na úspěšné ukončení předmětu

Z,K: bodové hodnocení testu nad 50%

ZK: bodové hodnocení testu nad

60%(E), 67%(D), 75%(C), 82%(B), 90%(A)

Cílem předmětu je seznámit studenty s

- Problematikou programování paralelních aplikací.
- Programátorskými prostředky pro vývoj paralelních aplikací.
- Možnostmi studia tématu na FI.

Úspěšný absolvent kurzu

- Umí identifikovat paralelně proveditelné úlohy.
- Má základní přehled o problémech souvisejících s paralelizací.
- Nebojí se implementovat vlastní vícevláknové nebo jinak paralelní aplikace či systémy.
- Má představu o tom, co se děje v zákulisí použitých knihoven pro podporu programování paralelních aplikací.
- Umí tyto knihovny správně použít.

Osnova:

- 1 21/02 — Úvod, organizace kurzu, motivace
- 2 28/02 — Práce s daty ve sdílené paměti
- 3 07/03 — **Zrušeno**
- 4 14/03 — POSIX Threads 1
- 5 21/03 — POSIX Threads 2
- 6 28/03 — Lock-Free programování
- 7 04/04 — OpenMP, TBB, C++11
- 8 11/04 — Principy návrhu paralelních algoritmů
- 9 18/04 — **Zrušeno**
- 10 25/04 — Předávání zpráv v distribuované paměti, MPI
- 11 02/05 — Kolektivní komunikace
- 12 09/05 — Složitostní analýza paralelních programů
- 13 16/05 — **Zkouška – 1. termín**

IB109

- Úvodní kurz určený pro bakalářské studium.
- Povinný v rámci oboru *Paralelní a distribuované systémy*

Předpoklady

- Základní znalosti o fungování výpočetních prostředků a operačních systémů.
- Základní zkušenost s imperativním programováním sekvenčních algoritmů.

PV192 – Paralelní algoritmy

- Paralelní zpracování, Klasifikace paralelních systémů, Úrovně paralelismu, Paralelní počítače, Systémy s distribuovanou pamětí, MPI

PV197 – GPU Programming

- Paralelní výpočty na grafických kartách s technologií CUDA.

PA150 – Principy operačních systémů

- Vlákna, procesy, monitory, semaforey, synchronizace.
- Hierarchie pamětí.

IA039 – Architektura superpočítačů a intenzivní výpočty

- Procesory. Paralelní počítače. Překladače. MPI. PVM a koordinační jazyky. Profilování a měření výkonu.

IV100 – Paralelní a distribuované výpočty

- Distribuované systémy a algoritmy. Komunikační protokoly. Směrovací algoritmy a tabulky. Distribuované algoritmy pro detekci ukončení, volbu vůdce, vzájemné vyloučení, hledání nejkratší cesty. Byzantská shoda.

IV010 – Komunikace a paralelismus

- Teoretický model paralelních procesů a komunikace. CCS. Synchronizace, vnitřní akce. Ekvivalence systémů pomocí slabé/silné bisimulace a relace kongruence.

IV113/IA169 – Úvod do validace a verifikace

- Model checking, verifikace paralelních programů.

Laboratoře na FI

- SITOLA
- PARADISE
- SYBILA

Projekty

- IV112 – Projekt z programování paralelních aplikací
- PV197 – GPU Programming

Knihy

- Maurice Herlihy, Nir Shavit: *The Art of Multiprocessor Programming*
- A. Grama, A. Gupta, G. Karypis, V. Kumar: *Introduction to Parallel Computing*
- I. Foster: *Designing and Building Parallel Programs*
- W. Group, E. Lusk, A. Skjellum: *Using MPI*
- ...

E-zdroje:

- <http://www.wikipedia.org>
- Kurzy a jejich studijní materiály na různých univerzitách
 - <http://www.cs.arizona.edu/people/greg/mpdbook>
(Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming)
 - <http://renoir.csc.ncsu.edu/CSC495A>
- http://www.hlrs.de/organization/par/par_prog_ws
Parallel Programming Workshop (MPI, OpenMP)
- Domovské stránky projektů MPI, TBB, OpenMP, ...
- Online tutoriály
- ...

Motivace

Souběžnost

- Existence dvou a více procesů (v obecném smyslu slova) v jeden časový okamžik.

Výpočetní paralelismus

- Napříč všemi úrovněmi, od implementace registru až po koexistenci rozsáhlých výpočetně distribuovaných aplikací.
- Chtěný pro zvýšení výkonu.
- Nutný kvůli prostorové distribuci.
- Vykoupený složitostí návrhu a pořizovací cenou.

Souběžnost v Computer Science

- Specifikace, implementace a analýza paralelních a distribuovaných systémů.
- Inherentně sekvenční algoritmy, složitostní třída NC .

Výkonnost

- Umožní efektivně využít agregované výpočetní prostředky k zrychlení výpočtu.

Proveditelnost

- Agregace výpočetní síly není volba, ale nutnost pro dokončení úlohy (velký objem výpočtů, nepřijatelná latence).

Bezpečnost

- Duplikace klíčových částí systému pro případ havárie, či ohrožení důvěry jedné části.

Cena

- Oddělení nesouvisejících částí aplikace, levnější údržba.
- Agregovaná výpočetní síla je levnější.

Abstraktní model výpočetního systému

Procesor - Datová cesta - Datové úložiště

- Všechny části systému mohou být úzkým místem vůči výkonnosti aplikace jako celku.
- Paralelismus je přirozený způsob překonání úzkých míst.

Procesory

- Neustálá potřeba zvyšovat výkon.
- Výkon procesoru spojován s Moorovým zákonem.

Moorův zákon

- Gordon Moore, spoluzakladatel Intelu
- Počet tranzistorů v procesoru se zdvojnásobí přibližně každých 18 měsíců.

Metody zvyšování výkonu procesorů

- Zvyšování frekvence vnitřních hodin.
- Multiplicita, Paralelismus

Pozorování

- Výrobcům procesorů se nedaří zvyšovat výkon jednoho jádra.
- Fyzikální zákony brání neustálé miniaturizaci – okolo 5nm již nelze udržet elektrony v atomu.
- Současná technologie 14-16nm (dříve 22nm, 28nm, 32nm, 45nm, 65nm, 90nm).

Řešení

- Multi-core a many-core procesory.
- Pravděpodobný způsob zvyšování výkonu i v budoucnosti.
- Částečný odklon od jednotek monolityckých jader k desítkám menších specializovaných, či k hybridním řešením.

Důsledek

- Sekvenční algoritmy nemohou nadále těžit z rostoucího výkonu procesorů.
- **Paralelizace výpočtů je nevyhnutelný směr vývoje.**

Role paralelismu v komunikaci

- Větší propustnost komunikačních linek s následným efektem snižování latence.
- Robustnost a spolehlivost komunikačních linek.

Příklady paralelismu na datové cestě

- Šířka sběrnice 32/64/128 bitů.
- Domácí dual-band WIFI router.

Fakta

- Výkon procesorů převyšuje výkon ostatních komponent.
- Cesta **procesor – paměť – disk** je zdlouhavá.
- Doba nutná pro získání jednotky informace z paměti roste se vzdáleností místa uložení od místa zpracování.

Víceúrovňové uložení informací

- Registry procesoru
- L1/L2/L3 cache
- Operační paměť
- Cache I/O zařízení
- Magnetické/optické mechaniky

Cache paměť obecně:

- Kopie části dat v rychleji dostupném místě.
- Může a nemusí být kontrolovatelná uživatelem nebo OS.

Příklady Cache s různou možností kontroly

- L1/L2 cache v rámci CPU nekontrolovatelná programátorem
- I/O efficient algoritmy
 - Obcházejí virtualizaci paměti kontrolovanou OS, a místo toho realizují vlastní způsob použití operační paměti jako cache pro data na disku.

Multiplicita paměťových modulů

- Větší množství uložitelných/zapamatovatelných informací.
- Větší množství linek do paměti (větší propustnost).
- Větší režie na udržení konzistence.

Příklady

- Disková pole
- Peer-to-Peer síť
- NUMA architektury
 - Více procesorové počítače s více paměťovými moduly uspořádanými tak, že přístup jednoho procesoru do různých paměťových modulů je různě rychlý.

Paralelní výpočty

Multitasking na jednom výpočetním jádru

- Aplikace se v běhu na CPU jádru střídají.
- Na jednom CPU zdánlivě "běží" více aplikací.
- Jednotka plánování OS je proces.

Multitasking na více výpočetních jádrech

- Různé aplikace přiřazeny na různá výpočetní jádra.
- Jinak standardní multitasking na každém jednom jádře.
- Jednotka plánování OS je proces.

Multitasking a multithreading

- Každá aplikace může mít více výpočetních vláken.
- Vlákna se v běhu na jednom CPU jádru střídají.
- Vlákna jedné aplikace mohou běžet na různých jádrech.
- Jednotka plánování OS je vlákno.

Single Instruction Single Data

- V daný okamžik je zpracovávána jedna instrukce, která pracuje nad jedním datovým proudem.
- Klasický sekvenční výpočet.

Single Instruction Multiple Data

- Jedna tatáž instrukce je vykonávána nad více datovými proudy.
- Vektorové instrukce CPU, architektura GPU.

Multiple Instruction Multiple Data

- Nezávislý souběh dvou a více SISD, SIMD přístupů.
- Více jádrové procesory.

Multiple Instruction Single Data

- Prakticky se nevyskytuje.

Distribuovaný/paralelní systém

- Specifikován po částech (procesy).
- Chování systému vzniká interakcí souběžných procesů.
- Emergentní jevy.

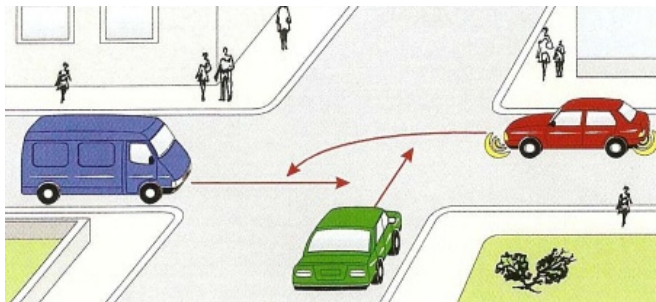
Synchronizace

- Omezení na prokládání a souběh akcí jednotlivých procesů distribuovaného systému.

Komunikace

- Přenos informace z jednoho procesu na druhý.

Příklad distribuovaného systému



Jevy

- Nekonzistentní vize konzistentního světa.
- Vzájemná interference

Rizika

- Race-condition, nedeterministické chování.
- Uváznutí (Deadlock, Livelock)
- Stárnutí, hladovění (Starving)
- Přetečení buferů, problém producent-konzument.
- Zbytečná ztráta výkonu (aktivní čekání).

Důvody:

- Nutnost specifikace souběžných úkolů.
- Nutnost specifikace koordinace úkolů.
- Paralelní algoritmy.
- Nedostačující vývojová prostředí.
- Nedeterminismus při simulaci paralelních aplikací.
- Absence reálného modelu paralelního počítače.
- Rychlý vývoj a zastarávání použitých technologií.
- Výkon aplikace náchylný na změny v konfiguraci systémů.
- ...

Příklad

- V minulých letech byl doporučován pro hry 2-jádrový procesor, proč ne 4-jádrový, když byl zcela určitě výkonnější?

Důvody:

- Nutnost specifikace souběžných úkolů.
- Nutnost specifikace koordinace úkolů.
- Paralelní algoritmy.
- Nedostačující vývojová prostředí.
- Nedeterminismus při simulaci paralelních aplikací.
- Absence reálného modelu paralelního počítače.
- Rychlý vývoj a zastarávání použitých technologií.
- Výkon aplikace náchylný na změny v konfiguraci systémů.
- ...

Příklad

- V minulých letech byl doporučován pro hry 2-jádrový procesor, proč ne 4-jádrový, když byl zcela určitě výkonnější?
- Je obtížné napsat herní engine, který by fungoval dobře na 2-jádrovém stroji a na 4-jádrovém stroji běžel 2x rychleji, je preferována vyšší frekvence 2-jádrového procesoru.

HPC

HPC (High Performance Computing)

- Oblast Computer Science
- Výpočty na vysoce paralelních platformách

Nejvýkonější počítač světa [Jaro 2018]

- National Supercomputing Center in Wuxi
- TFLOPS: 93 014

Nejvýkonější počítač světa [Jaro 2010]

- Roadrunner
- TFLOPS: 1 105

- Více viz www.top500.org.

Nejvýkonnější počítače

