

# Paralelní algoritmy

---

# Parallel Algorithms

Přemysl Šůcha  
suchap@fel.cvut.cz

# Motivace

---

- ▶ **Nepopíratelnost trendu směřování k paralelním systémům**
  - ▶ i více-jádrový telefon je dnes samozřejmostí
  - ▶ energetická efektivita **Gflops/W**
- ▶ **Studenti v posledním ročníku nerozumí rozdílu mezi základními synchronizačními primitivy, jako je **mutex** a **semaphor**.**
- ▶ **Studenti se obávají paralelního programování. Neradi si vybírají semestrální a diplomové práce s vazbou na **paralelní programování**.**

# Příbuzné předměty v ČR

---

- ▶ **FIT: Paralelní algoritmy a systémy 2+3 (Tvrdik)**
  - ▶ metody programování, výkonnostní charakteristiky, škálovatelnost
- ▶ **FJFI: Paralelní algoritmy a architektury 3+0 (Oberhuber)**
  - ▶ úvod do problematiky s těžištěm na paralelní platformy
- ▶ **MFF: Parallel Algorithms 2+0 (Mráz)**
  - ▶ úvod do teorie paralelního programování
- ▶ **FIT VUTBR: Praktické paralelní programování 3+2 (Dvořák)**
  - ▶ programování různých paralelních systémů
- ▶ **FI MU: Architektura superpočítačů a intenzivní výpočty 2+0 (Matyska)**
  - ▶ paralelní systémy a základy jejich programování

# Příbuzné předměty na FEL

---

- ▶ **Obecné výpočty na grafických procesorech 1+2 (Sloup)**
  - ▶ volitelný předmět
  - ▶ principy obecných výpočtů na GPU + CUDA
- ▶ **Pokročilé architektury počítačů 2+2 (Šnorek, Štepanovský)**
  - ▶ magisterský program - Počítačové inženýrství (3. sem)
  - ▶ 3 přednášky na programování paralelních systémů

# Idea předmětu

---

- ▶ Ukázat základy paralelního programování – s těžištěm na **paralelní algoritmy**
- ▶ Primární cílovou paralelní platformou bude **běžně dostupný HW** (více-jádrové počítače, multiprocesorové servery) – to, s čím se programátor může běžně setkat
- ▶ Přesvědčit studenty aby využívaly znalosti paralelního programování i v **jiných předmětech** a ve svých diplomových pracích

# Struktura předmětu

---

- ▶ Rozsah: 2+2c
- ▶ Semestr: zimní
- ▶ Doporučený semestr: I semestr Mgr. Studia
- ▶ Požadavky na studenty:
  - ▶ znalost C nebo C++ (Programování v jazyku C/C++ /A7B36PJC/ nebo Programovací jazyk C/C++ / A2B37CPP/)
  - ▶ základy programování (Programování 2 /A0B36PR2/, Algoritmizace /A4B33ALG/)
  - ▶ základy teorie grafů (Logika a grafy /A0B01LGR/)
- ▶ Zakočení: zkouška

# Struktura předmětu

---

## ▶ Cvičení:

- ▶ bude probíhat v počítačové učebně
- ▶ náplní bude procvičení látky z přednášek
- ▶ zápočet bude udělen na základě:
  - ▶ bodového hodnocení za úlohy
  - ▶ bodového hodnocení semestrální práci
- ▶ tématem semestrální práce může být i téma z jiného předmětu či z diplomové práce studenta avšak s jasnou vazbou na paralelní programování

# Literatura

---

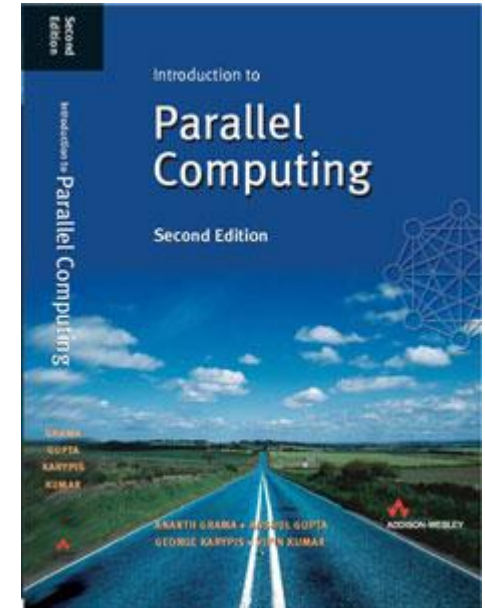
## *Introduction to Parallel Computing*

### ▶ Autoři:

- ▶ Ananth Grama - Purdue University,
- ▶ Anshul Gupta - IBM T.J.Watson Research Center
- ▶ George Karypis - University of Minnesota
- ▶ Vipin Kumar - University of Minnesota

### ▶ Používaná v kurzech:

- ▶ Harvard (CS205 Computing Foundations for Computational Science)
- ▶ KTH (Parallel Computations for Large-Scale Problems)
- ▶ Purde (Introduction to Parallel Computing)
- ▶ RICE (COMP 422: Introduction to Parallel Computing)





# Osnova přednášek

---

## 1. Úvod do paralelního programování

- ▶ paralelní architektury a modely, pipelining a superscalární zpracování, paměťové modely, zakrývání latence přístupu do paměti, komunikace a topologie sítí

## 2. Principy návrhu paralelních algoritmů

- ▶ dekompozice a granularita, rekurzivní/datová/dynamická/hybridní dekompozice, mapování a vyvažování výkonu, modely paralelních algoritmů

## 3. Základní komunikační operace

- ▶ různé typy komunikace (one-to-all broadcast, all-to-one reduction, all-to-all broadcast and reduction, all reduce, prefix sum, scatter, gather) z pohledu odlišných sítí (linear array, ring, mesh, hypercube)

## 4. Vlastnosti paralelních algoritmů

- ▶ speedup, paralelní efektivnost, paralelní cena, škálovatelnost, Amdahlův zákon, asymptotická analýza paralelních algoritmů

## 5. Programování se sdíleným paměťovým prostorem

- ▶ Pthreads, synchronizační primitiva, OpenMP

# Osnova přednášek

---

## 6. Programování s MPI (Message Passing Interface)

- ▶ komunikace, mapování, blokuující a neblokuující komunikace, kolektivní komunikace, skupinové komunikace

## 7. Řazení

- ▶ bitonic sort a jeho mapování na hypercube a mesh, bubblesort, quicksort

## 8. Maticové algoritmy

- ▶ násobení matice vektorem, násobení matice maticí, řešení soustav lineárních rovnic

## 9. Grafové algoritmy

- ▶ minimální kostra, nejkratší cesty, algoritmy pro řídké grafy

## 10. Paralelní kombinatorické algoritmy

- ▶ prohledávání do hloubky a do šířky, search overhead factor, strategie dělení práce, vyvažování zátěže, anomálie ve zrychlení

## 11. Dynamické programování a metaheuristické algoritmy

- ▶ přídy DP formulací (serial monadic, nonserial monadic, ...), paralelní modely pro evoluční algoritmy a tabusearch



# Osnova cvičení

---

## 1. **Optimalizace sekvenčního kódu**

- ▶ profilování kódu a nalezení „hot spots“ (Valgrind), optimalizace větvení kódu (pipeline), optimalizace přístupu do paměti (access patterns), inlining, lazy initialization, ...
- ▶ Úloha: násobení matic

## 2. **Zadání semestrální práce**

## 3. **Využití instrukční sady procesoru – skrytý paralelismus**

- ▶ vektorizace pomocí inline assembleru/ intrinsic functions/OpenMP 4.0, unrolling
- ▶ aritmetics instructions (SSE4,AVX), non-temporal instructions
- ▶ Úloha: násobení matic

## 4. **Konzultace semestrální práce**

## 5. **Pthreads**

- ▶ práce s vlákny (create, run ,join), synchronizační primitiva (mutex, semaphor, conditional variables)
- ▶ Úloha: Problém knapsack řešený paralelním genetickým algoritmem

## 6. **Konzultace semestrální práce**

# Osnova cvičení

---

## 7. **Základy OpenMP**

- ▶ základní konstrukty (parallel for, atomic critical, task, sections, public/private variables ...)
- ▶ pokročilé konstrukty, rozšíření v OpenMP 4.0
- ▶ Úloha: intro sort

## 8. **Open MPI**

- ▶ základní operace v MPI (MPI\_Send, MPI\_Recv, MPI\_Isend, MPI\_Irecv), kolektivní komunikace – broadcast, reduction, ...
- ▶ Úloha: dynamické programování pro rozvrhovací problém P||Cmax (Rothkopf alg.)

## 9. **Konzultace semestrální práce**

## 10. **Hledání nejkratších cest v Open MPI**

- ▶ Úloha: algoritmus pro hledání 1-to-all nejkratších cest za využití Open MPI

## 11. **Konzultace semestrální práce**

## 12. **Prezentace semestrální práce**

## 13. **Odevzdání semestrální práce**

# Paralelní algoritmy

---

# Parallel Algorithms

Přemysl Šůcha  
suchap@fel.cvut.cz