Paralelné programovanie

OpenMP

Bc. št. prog. Informatika - 2010/2011

Ing. Michal Čerňanský, PhD.

Fakulta informatiky a
informačných technológií,
STU Bratislava

OpenMP

- OpenMP - Open Multi-Processing
- Paralelný programátorký model – explicitný paralelizmus
- Tvorba viacvláknových aplikácií v systémoch so zdieľanou pamäťou
- Poskytuje tri typy konštrukcií
  - Direktívy pre kompilátor
  - Knižničné funkcie
  - Premenné prostredia

OpenMP

- Prenositeľnosť
  - Pre C/C++ a Fortran
  - Väčšina moderných platforiem, Unix/Linux, Windows
- Štandard
  - Udržiavananý skupinou významných SW a HW dodávateľov
  - Možno ANSI štandard neskôr

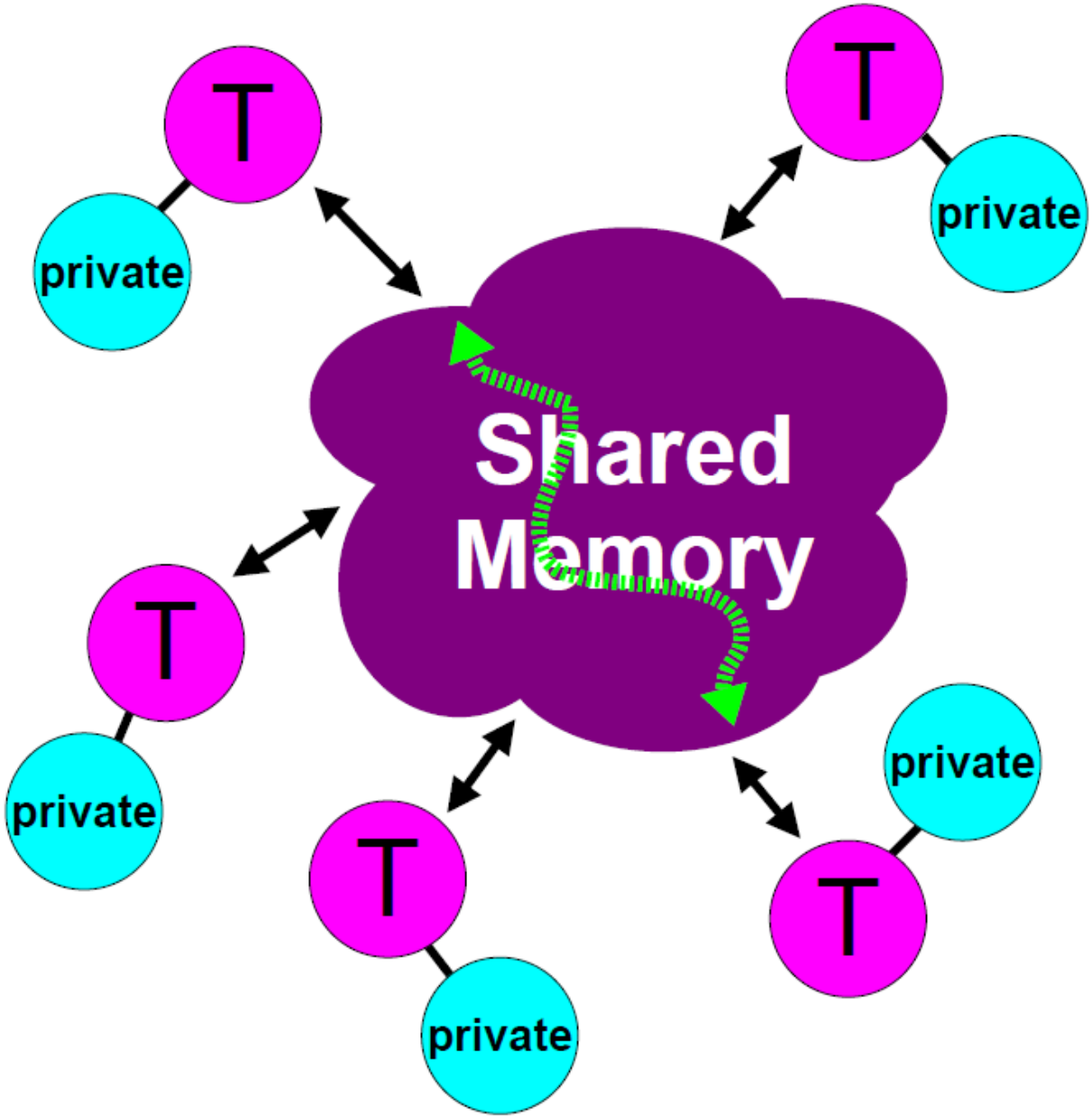
OpenMP

- Štíhle a priamo na problém zamerané rozhranie
  - Malá množina konštrukcií
  - Značný paralelizmus je môžné využiť použiim malého počtu konštrukcií
- Jednoduchosť
  - Inkrementálna paralelizácia
  - Možnosť implementovať aj hrubo aj jemnozrnný paralelizmus

OpenMP

- Ideálne riešenie pre viacjadrové počítače
- OpenMP paralelný programátorský model
  - prirodzené mapovanie pamäťového modelu a modelu vlákien na OpenMP konštrukcie
  - Odľahčený
  - Overený a zrelý
  - Akceptovaný a často používaný

OpenMP


T
private
T
private
Shared
Memory
T
private
private
T
T
private

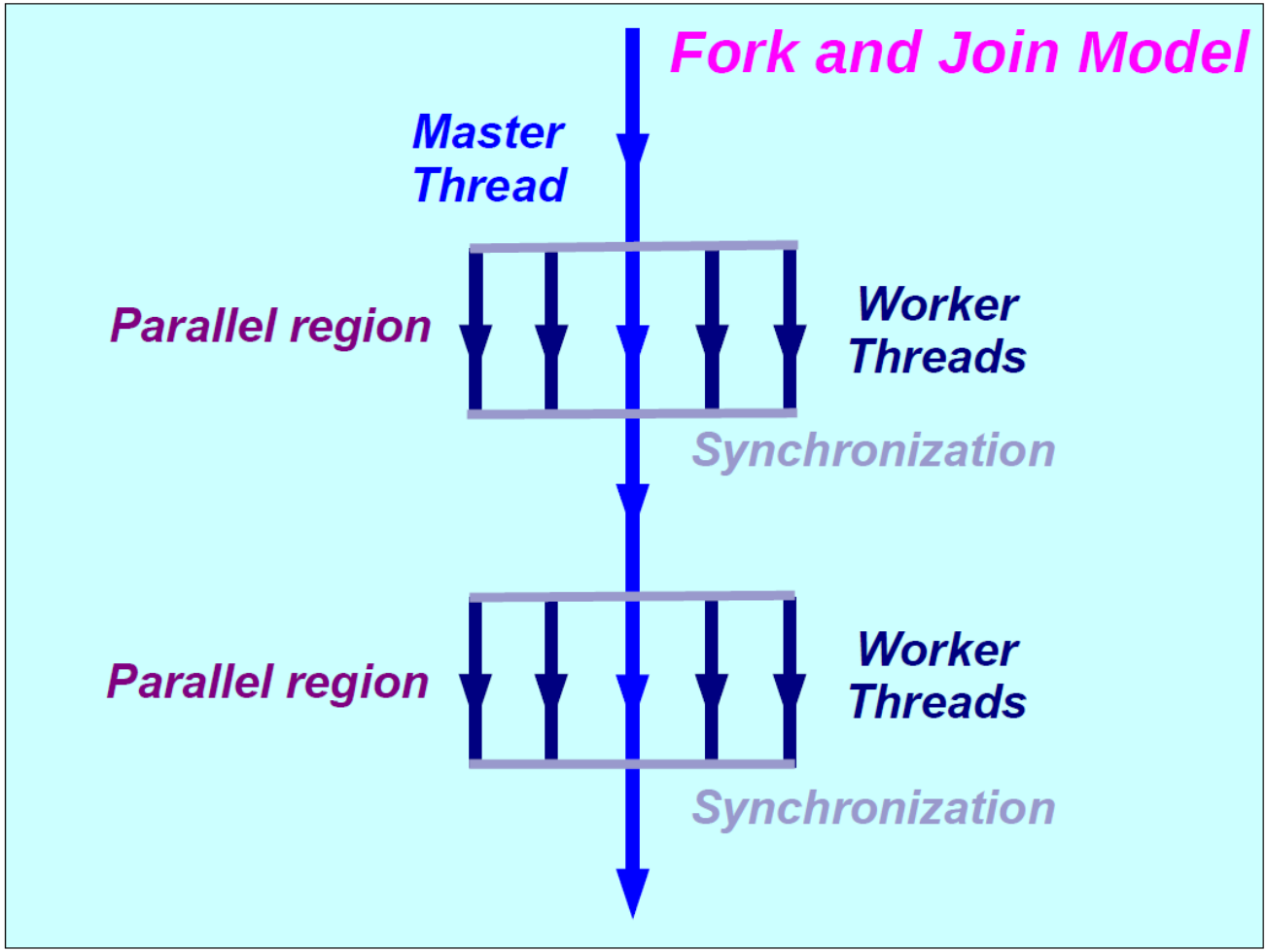
OpenMP

- Všetky vlákna majú prístup do globálnej zdieľanej pamäte
- Údaje môžu byť zdieľané medzi vláknami alebo súkromné
- Zdieľané údaje prístupné všetkými vláknami
- Súkromné premenné prístupné iba z jedného vlákna, ktoré ich vlastní
- Prenos údajov transparentný pre programátora
- Synchronizácia je väčšinou implicitná

OpenMP – zdieľanie údajov

- Údaje (premenné) je potrebne „označiť“
- Dva základné typy zdieľania:
  - Zdieľané (shared)
    - Iba jedna inštancia
    - Vlákna môžu čítať a zapisovať súčasne,
    - Iba ak chránené špeciálnymi OpenMP konštrukciami
    - Vykonané zmeny sú viditeľné pre všetky ostatné vlákna,
    - Ale nie nevyhnutne okamžite, konštrukcia „flush“
  - Súkromné
    - Každé vlákno má vlastnú kópiu údajov
    - Iné vlákno nemôže pristupovať k týmto údajom
    - Zmeny sú viditeľné iba z vlákna vlastniaceho údaje

OpenMP – model vykonávania

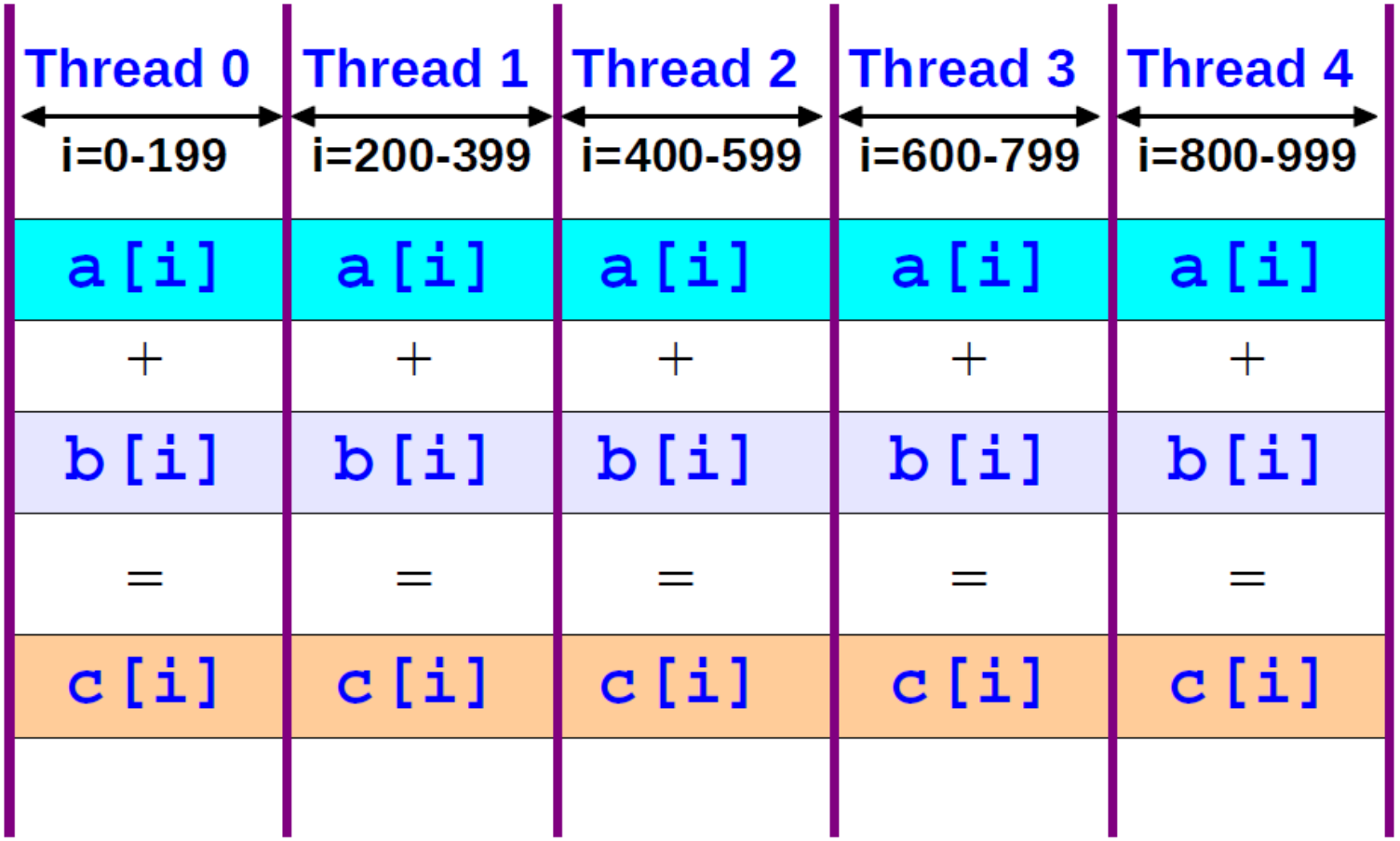


OpenMP – príklad použitia

- Paralelizácia for cyklu s použitím OpenMP direktív

```
#pragma omp parallel for
for (int i=0; i<n; i++)
    c[i] = a[i] + b[i];

#gcc myprog.c -lgomp
#set OMP_NUM_THREADS=10
#.\a.out
```

OpenMP – príklad použitia



OpenMP - konštrukcie

- Direktívy
  - Paralelná oblasť (Parallel region)
  - Rozdeľovanie práce (Worksharing)
  - Sychronizácia (Synchronization)
  - Zdieľanie údajov (Data-sharing)
    - Privátne (private)
    - firstprivate
    - lastprivate
    - zdieľané (shared)
    - Operácie redukcie (reduction)
  - Koncept siroty (Orphaning)

OpenMP - konštrukcie

- Knižničné funkcie
  - Počet vlákien
  - ID vlákna
  - Dynamická úprava počtu vlákien
  - Vnorený paralelizmus
  - Časovač
  - Uzamykanie

OpenMP - konštrukcie

- Premenné prostredia
  - Počet vlákien
  - Typ plánovania
  - Dynamická úprava počtu vlákien
  - Vnorený paralelizmus

OpenMP – konštrukcie vo vezií 3.0

- Direktívy
  - Určovanie úloh (Tasking)
- Knižničné funkcie
  - Typ plánovania
  - Aktívne úrovne (Active levels)
  - Max. počet vlákien
  - Max. úroveň vnorovania (Nesting level)
  - Rodičovské vlákno
  - Veľkosť tímu

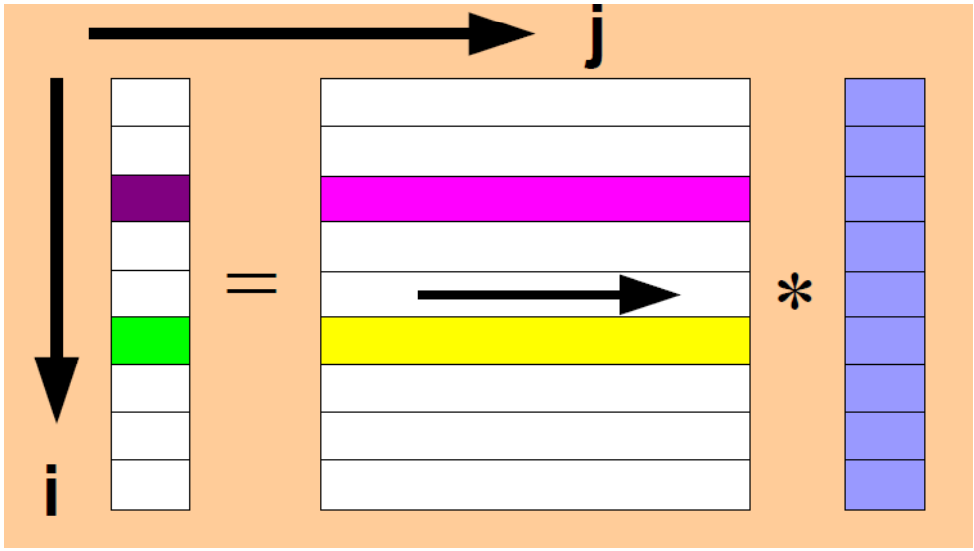
OpenMP – konštrukcie vo vezií 3.0

- Premenné prostredia
  - Veľkosť zásobníka
  - Nečinné vlákna (Idle threads)
  - Typ plánovania
  - Max. počet vlákien

OpenMP – príklad použitia

- Násobenie matice s vektorom

```
#pragma omp parallel for default(none) \
   private(i,j,sum) shared(m,n,a,b,c)
for (i=0; i<m; i++)
{
   sum = 0.0;
   for (j=0; j<n; j++)
        sum += b[i][j]*c[j];
   a[i] = sum;
}
```



OpenMP – príklad použitia

```
#pragma omp parallel if (n>limit) default(none) \
   shared(n,a,b,c,x,y,z) private(f,i,scale)
{
   f = 1.0;

   #pragma omp for nowait
   for (i=0; i<n; i++)
       z[i] = x[i] + y[i];

   #pragma omp for nowait
   for (i=0; i<n; i++)
       a[i] = b[i] + c[i];

   #pragma omp barrier

   scale = sum(a,0,n) + sum(z,0,n) + f;
}
```

Terminológia

- OpenMP Tím - Master + Workers
- Parallelná oblasť (Parallel Region)
  - všetky vlákna vykonávajú súbežne
  - Master ma vlákno s ID 0
  - Počet vlákien je upravený (ak je to povolené) iba pred vstupom
  - Klauzula "if" môže strážiť oblasť, ak sa podmienka vyhodnotí ako "false„ – sekvenčné vykonanie
- Konštrukcie deľbu práce
  - Práca v oblasti rozdelená medzi vlákna tímu

Direktívy a klauzule

- OpenMP direktívy podporujú klauzule (clauses) – upresňujú direktívu
- private(a) je klauzula pre for direktívu

  #pragma omp for private(a)
- Možnosť použitila klauzule závisí na direktíve
- V Cčku: sú direktívy „case sensitive“
- Syntax: #pragma omp directive [clause [clause] ...]
- Pokračovanie v riadku – použiť \ v pragma
- Podmienená kompilácia - _OPENMP makro

Direktívy a klauzule

- Rozsah platnosti (scope)
- Statický (Lexikálny) rozsah:
  - Zdrojový kód textovo medzi začiatkom a koncom štruktúrovaného bloku za direktívou
  - Nepresahuje viaceré funkcie či zdrojové súbory
- Osirotené direktíva (Orphaned Directive)
  - Direktíva mimo zapúzdrujúcej direktívy, definovaná mimo statického rozsahu inej direktívy
  - Presahuje viaceré funkcie aj zdrojové súbory
- Dynamický rozsah
  - Statický rozsah + osirotené direktívy

Direktíva „Parallel“

- `#pragma omp parallel` *`[clause ...]`*

  `if` *`(scalar_expression)`*

  `private` *`(list)`*

  `shared` *`(list)`*

  `default (shared | none)`

  `firstprivate` *`(list)`*

  `reduction` *`(operator: list)`*

  `copyin` *`(list)`*

  `num_threads` *`(integer-expression)`*

  `structured_block`

Direktíva „Parallel“

- Keď vlákno dosiahne direktívu „parallel“
  - Vytvorí sa tím vlákien
  - Hlavné (master) vlákno je člen tímu a má ID 0
  - Tok vykonáva je duplikovaný od tohto okamihu a všetky vlákna ho vykonávajú
- Na konci platnosti direktívy je bariéra a od toho okamihu iba hlavné vlákno pokračuje v činnosti
- Ak vlákno skončí v paralelnej oblasti, skončia všetky vlákna

Direktíva „Parallel“

- Koľko vlákien?
- Vyhodnotenie **IF** klauzuly
- Podľa **NUM_THREADS** klauzuly
- Podľa funkcie **omp_set_num_threads()**
- Podľa **OMP_NUM_THREADS** premennej prostredia
- Zvyčajne podľa počtu jadier na uzle

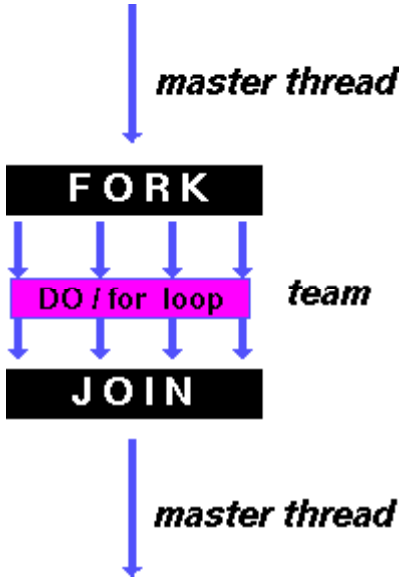
Direktíva „Parallel“

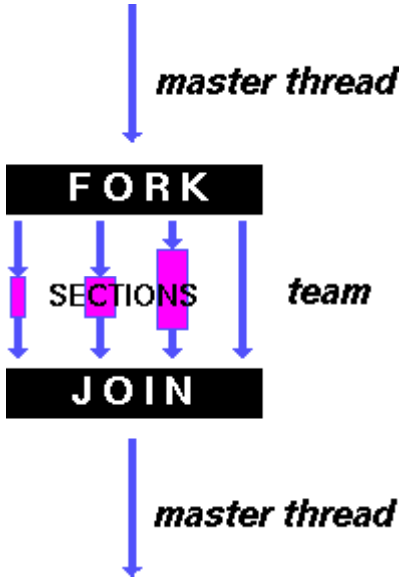
```
#include <omp.h>

main ()  {

int nthreads, tid;

/* Fork a team of threads with each thread having a private tid variable */
#pragma omp parallel private(tid)
 {

  /* Obtain and print thread id */
  tid = omp_get_thread_num();
  printf("Hello World from thread = %d\n", tid);

  /* Only master thread does this */
  if (tid == 0)
    {
    nthreads = omp_get_num_threads();
    printf("Number of threads = %d\n", nthreads);
    }

  }  /* All threads join master thread and terminate */

}
```

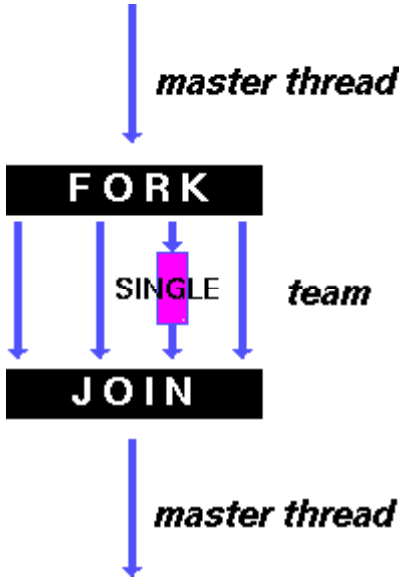
Ďeľba práce

- **Ďeľba práce (Work-Sharing Constructs)**
- Rozdelenie vykonávania oblasti medzi vlákna
- Nevznikajú nové vlákna
- Nie je automaticky bariéra pri vstupe do oblasti, ale pri výstupe áno

Ďeľba práce


master thread
FORK
DO i for loop
team
JOIN
master thread


master thread
FORK
SECTIONS
team
JOIN
master thread


master thread
FORK
SINGLE
team
JOIN
master thread

Direktíva „for“

```
#pragma omp for [clause ...]
                schedule (type [,chunk])
                ordered
                private (list)
                firstprivate (list)
                lastprivate (list)
                shared (list)
                reduction (operator: list)
                collapse (n)
                nowait

   for_loop
```

Direktíva „for“

- **Klauzula SCHEDULE**
  - **Ako sú iterácie rozdelené medzi vlákna**
  - STATIC – určené rozsahy podľa parametra *chunk* a tie statický priradené vláknam
  - DYNAMIC – iterácie rozdelené do rozsahov veľkosti *chunk* a potom dynamicky priraďované vláknam
  - GUIDED – veľkosť rozsahu daná počtom nepriradených iterácií vydelených počtom vlákien, až po veľkosť *chunk*
  - RUNTIME – podĺa premennej prostredia OMP_SCHEDULE
  - AUTO – ponechané na kompilátor

Direktíva „for“

- NO WAIT – nie je synchronizácia na konci oblasti
- ORDERED – iterácie vykonávané ako v sériovom programe
- COLLAPSE – počet vnorených cyklov použitých na vytvorenie jedného „priestoru“ iterácií

Direktíva „for“

```
#include <omp.h>
#define CHUNKSIZE 100
#define N     1000

main ()
{

int i, chunk;
float a[N], b[N], c[N];

/* Some initializations */
for (i=0; i < N; i++)
  a[i] = b[i] = i * 1.0;
chunk = CHUNKSIZE;

#pragma omp parallel shared(a,b,c,chunk) private(i)
  {

  #pragma omp for schedule(dynamic,chunk) nowait
  for (i=0; i < N; i++)
    c[i] = a[i] + b[i];

  }  /* end of parallel section */

}
```

Direktíva „sections“

```
#pragma omp sections [clause ...]
                     private (list)
                     firstprivate (list)
                     lastprivate (list)
                     reduction (operator: list)
                     nowait
  {

  #pragma omp section

     structured_block

  #pragma omp section

     structured_block

  }
```

Direktíva „sections“

```
#include <omp.h>
#define N     1000

main ()
{

int i;
float a[N], b[N], c[N], d[N];

/* Some initializations */
for (i=0; i < N; i++) {
  a[i] = i * 1.5;
  b[i] = i + 22.35;
  }
```

```
#pragma omp parallel shared(a,b,c,d)
    private(i)
  {

  #pragma omp sections nowait
    {

    #pragma omp section
    for (i=0; i < N; i++)
      c[i] = a[i] + b[i];

    #pragma omp section
    for (i=0; i < N; i++)
      d[i] = a[i] * b[i];

    }  /* end of sections */

  }  /* end of parallel section */

}
```

Direktíva „single“

```
#pragma omp single [clause ...]
                   private (list)
                   firstprivate (list)
                   nowait

     structured_block
```

Kombinované direktívy

```
#include <omp.h>
#define N       1000
#define CHUNKSIZE   100

main ()  {

int i, chunk;
float a[N], b[N], c[N];

/* Some initializations */
for (i=0; i < N; i++)
  a[i] = b[i] = i * 1.0;
chunk = CHUNKSIZE;

#pragma omp parallel for \
   shared(a,b,c,chunk) private(i) \
   schedule(static,chunk)
  for (i=0; i < n; i++)
    c[i] = a[i] + b[i];
}
```

Platnosť rozsahu premenných

- PRIVATE
- FIRSTPRIVATE
- LASTPRIVATE
- SHARED
- DEFAULT
- REDUCTION
- COPYIN

Klauzula „reduction“

```
#include <omp.h>

main ()  {

int   i, n, chunk;
float a[100], b[100], result;

/* Some initializations */
n = 100;
chunk = 10;
result = 0.0;
for (i=0; i < n; i++)
  {
  a[i] = i * 1.0;
  b[i] = i * 2.0;
  }
```

```
#pragma omp parallel for      \
  default(shared) private(i)  \
  schedule(static,chunk)      \
  reduction(+:result)

  for (i=0; i < n; i++)
    result = result + (a[i] *
   b[i]);

printf("Final result=
   %f\n",result);

}
```

Zdroje

- openmp.org
- https://computing.llnl.gov/tutorials/openMP