

Řadící algoritmy

B4B36PDV – Paralelní a distribuované výpočty

- Opakování z minulého cvičení
- Dynamické vytváření úloh s `#pragma omp task`
- Paralelní merge sort
- Paralelní counting sort
- Zadání páté domácí úlohy

Opakování z minulého cvičení

<http://goo.gl/a6BEMb>

Co můžete říct o tomto kódu?

```
#pragma omp parallel
#pragma omp for
for(int i = 0 ; i < size ; i++) {
    if(is_solution(candidates[i])) {
        std::cout << candidates[i]
                    << "is a solution" << std::endl;
        break;
    }
}
```

- Nepůjde pravděpodobně zkompileovat
- Paralelní blok skončí po nalezení prvního řešení
- Paralelní blok skončí, až všechna vlákna najdou řešení
- Aby blok skončil ihned po nalezení řešení, musíme (vhodně) doplnit `#pragma omp cancel for`
- Aby blok skončil ihned po nalezení řešení, musíme (vhodně) doplnit `#pragma omp cancellation point for`
- Měli bychom nastavit proměnnou prostředí `OMP_CANCELLATION=true`

Jak se bude chovat následující kód?

```
int parallel_worker(int d){
    if (d == 1) return 1;
    int t1 = 0, t2 = 0;
    #pragma omp task
    t1 = parallel_worker(d-1);
    #pragma omp task
    t2 = parallel_worker(d-1);
    #pragma omp taskwait
    return t1+t2;
}
(...)
#pragma omp parallel num_threads(4)
std::cout << parallel_worker(3) ;
```

```
#pragma omp task
```

Pokud nevíme, jaké úlohy budeme muset v průběhu výpočtu řešit, můžeme je vytvářet dynamicky...

```
void traverse(node * n) {  
    for(node * successor : n->getSuccessors()) {  
        #pragma omp task  
        traverse(successor);  
    }  
  
    do_something();  
  
    #pragma omp taskwait  
}
```


Co kdybychom chtěli z tasků ale něco vracet?

```
unsigned long long traverse_and_sum(node * n) {
    std::atomic<unsigned long long> sum {0};
    for(node * successor : n->getSuccessors()) {
        #pragma omp task shared(sum)
        sum += traverse_and_sum(successor);
    }
    sum += n->getValue();
    #pragma omp taskwait

    return sum.load();
}
```

⚠ Pozor! Nutno použít `shared` (pro přístup k proměnné) a `taskwait`! Nepoužití těchto konstruktů povede k špatnému výsledku programu (data se nezapíše globálně) nebo i k pádu (proměnná `sum` zanikne po `return`)!

Něco nám tam ale chybí... Ještě potřebujeme „někoho“, kdo tasky bude řešit.
Potřebujeme si připravit vlákna!

```
unsigned long long start_traversal() {  
    #pragma omp parallel // Vytvoříme si tým vláken  
    traverse_and_sum(root);  
}
```

Něco nám tam ale chybí... Ještě potřebujeme „někoho“, kdo tasky bude řešit. Potřebujeme si připravit vlákna!

```
unsigned long long start_traversal() {  
    #pragma omp parallel // Vytvoříme si tým vláken  
    traverse_and_sum(root);  
}
```

Rychlá otázka: Stane se skutečně to, co bychom chtěli?

My ale chceme, aby kořen zpracovávalo pouze jedno vlákno!

```
unsigned long long start_traversal() {  
    #pragma omp parallel  
    #pragma omp single // pouze jednou!  
    traverse_and_sum(root);  
}
```

My ale chceme, aby kořen zpracovávalo pouze jedno vlákno!

```
unsigned long long start_traversal() {  
    #pragma omp parallel  
    #pragma omp single // pouze jednou!  
    traverse_and_sum(root);  
}
```

Rychlá otázka: Stane se skutečně to, co bychom chtěli?

A Režie s vytvářením a správou tasků může být drahá.

- Tasky chceme vytvářet tehdy, pokud to povede k lepšímu vytížení procesoru.
 - ... ale ne nutně výhradně spravováním tasků ;-)
-

```
unsigned long long traverse_and_sum(node * n, int depth) {
    if (depth >= MAX_ALLOWED_DEPTH)
        return traverse_and_sum_sequential(n);

    std::atomic<unsigned long long> sum {0};
    for(node * successor : n->getSuccessors()) {
        #pragma omp task shared(sum)
        sum += traverse_and_sum(successor, depth++);
    }
    sum += n->getValue();
    #pragma omp taskwait

    return sum.load();
}
```

Příklad #pragma omp task: Paralelní suma

```
float sum(const float *a, size_t n){
    float r;
    #pragma omp parallel
    #pragma omp single
    r = parallel_sum(a, n);
    return r;
}

static float parallel_sum(const float *a, size_t n){
    if (n <= CUTOFF) { return serial_sum(a, n);}
    float x, y;
    size_t half = n / 2;
    #pragma omp task shared(x)
    x = parallel_sum(a, half);
    // #pragma omp task shared(y)
    y = parallel_sum(a + half, n - half);
    #pragma omp taskwait
    return x + y;
}
```

Paralelní merge sort

Paralelní merge sort

Merge sort je řadící algoritmus, který pracuje následovně:

1. Rozdělí neseřazenou množinu dat na dvě podmnožiny o přibližně stejné velikosti.
 2. Seřadí obě podmnožiny.
 3. Spojí seřazené podmnožiny do jedné seřazené množiny.
-

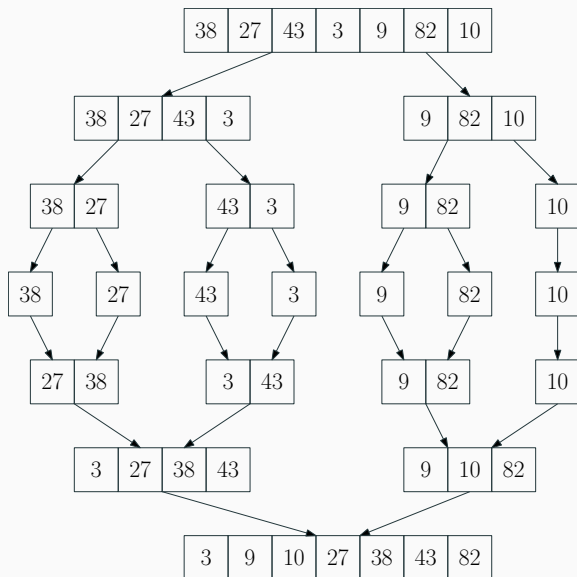
```
function mergesort(m)
    if (length(m) <= 1) return m

    middle = length(m) / 2
    left = m[0 ... middle-1]
    right = m[middle ... length(m)-1]

    left = mergesort(left)
    right = mergesort(right)

    return merge(left, right)
```

Paralelní merge sort



Doimplementujte metodu `mergesort_parallel`

Doimplementujte tělo metody `mergesort_parallel(...)` (a případných dalších metod, které budete potřebovat) v souboru `mergesort_parallel.h`. Pro implementaci můžete využít metodu `merge(...)` a můžete se inspirovat sekvenční implementací, kterou naleznete v souboru `mergesort_sequential.h`.

⚠ Proměnné v `task` jsou privátní (`firstprivate`) pro daný `task`, pokud neřeknete jinak (pomocí parametru OpenMP `shared(x)`).

Otázka: Jakou složitost má sekvenční mergesort? A jak je na tom jeho paralelní verze?

Paralelní counting sort

Uvažujme, že máme za úkol seřadit pole prvků, které obsahuje hodnoty z malého omezeného rozsahu $a \leq x \leq b$.

Pak může být použití standartních algoritmů se složitostí $O(n \log n)$ nevhodné.

Counting sort:

1. Napočítáme si počty jednotlivých prvků $c(x)$ z rozsahu $x \in [a, b]$ („histogram“)
2. Počty prvků projdeme ve vzestupném pořadí. Prvek x zapíšeme do výstupního pole $c(x)$ -krát.

→ Složitost $O(n + k)$, kde $k = b - a + 1$

1. Napočítáme si počty jednotlivých prvků $c(x)$ z rozsahu $x \in [a, b]$ („histogram“)
 2. Počty prvků projdeme ve vzestupném pořadí. Prvek x zapíšeme do výstupního pole $c(x)$ -krát.
-

Jak bychom kroky 1 a 2 mohli paralelizovat?

1. Napočítáme si počty jednotlivých prvků $c(x)$ z rozsahu $x \in [a, b]$ („histogram“)
 2. Počty prvků projdeme ve vzestupném pořadí. Prvek x zapíšeme do výstupního pole $c(x)$ -krát.
-

Jak bychom kroky 1 a 2 mohli paralelizovat?

Doimplementujte metodu `counting_parallel`

Doimplementujte tělo metody `counting_parallel(...)` v souboru `countingsort.h`. Inspirovat se můžete sekvenční implementací tohoto řadícího algoritmu v metodě `counting_sequential(...)`

⚠ SPOILER ALERT!

Prefixní suma

1. Napočítáme si počty jednotlivých prvků $c(x)$ z rozsahu $x \in [a, b]$ („histogram“)
 2. Počty prvků projdeme ve vzestupném pořadí. Prvek x zapíšeme do výstupního pole $c(x)$ -krát.
-

Bod (2) algoritmu nešel snadno paralelizovat, protože nevíme, kam máme dané číslo umístit bez toho, abychom vyřešili předešlá čísla!

$$c(x) = [?, ?, 5, ?, ?]$$

→ Pojd' me to vyřešit...

Pro posloupnost čísel x_0, x_1, x_2, \dots je prefixní suma posloupnost y_0, y_1, y_2, \dots taková, že

$$y_0 = x_0$$

$$y_1 = y_0 + x_1$$

$$y_2 = y_1 + x_2$$

$$\vdots$$

Příklad:

Vstupní sekvence:	1	2	3	4	5	6	...
Prefixní suma:	1	3	6	10	15	21	...

Doimplementujte metodu `counting_parallel`

Použijte prefixní sumu pro paralelizaci bodu (2) `counting_sortu`.

Jak bychom mohli výpočet prefixní sumy paralelizovat?
Hodnota y_i stále závisí na hodnotě y_{i-1}

Doimplementujte metodu `prefix_sum_parallel`

Doimplementujte tělo metody `prefix_sum_parallel` v souboru `prefixsum.h`.

Zadání páté domácí úlohy

Algoritmus pro lexikografické seřazení řetězců stejné délky.

Naimplementujte metodu `radix_par` v souboru `sort.cpp`.

Za správné výsledky a rychlé zpracování dostanete až **2b**.

Soubory `sort.cpp` a `sort.h` nahrajte do systému BRUTE.

Díky za pozornost!

Budeme rádi za Vaši
zpětnou vazbu! →



<http://bit.ly/3cU30yh>