

Sztuka Wytwarzania Oprogramowania

Wykład 9 - współbieżność. Współbieżne wzorce projektowe, cz 1

Robert Nowak

24Z

Wzorce projektowe

- ▶ standardowe rozwiązania często pojawiających się problemów projektowych
- ▶ sprawdzone w praktyce

Przykłady: obiektowe wzorce projektowe (prototyp, kompozyt, adapter, leniwe tworzenie, leniwe kopiowanie, obserwator, fasada, fabryki, singleton, wizytator, wielometoda, most, komenda)

- ▶ procesy, wątki, wyścigi
- ▶ blokady
- ▶ skalowalność
- ▶ wzorce
 - ▶ zdobywanie zasobów jest inicjacją (RAII)
 - ▶ kończenie wątków
 - ▶ podwójne sprawdzanie
 - ▶ monitor (pasywny obiekty)
 - ▶ współbieżna blokada (czytelnicy/pisarze)

Równoległość - obliczenia podczas obsługi urządzeń

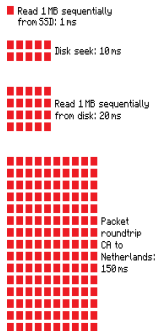
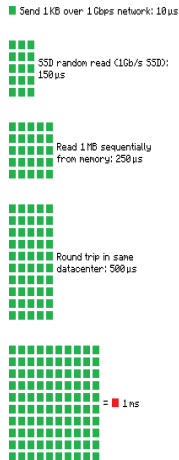
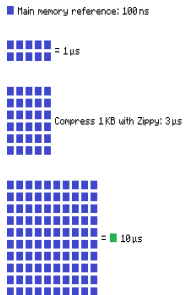
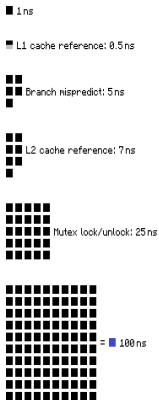
- ▶ bardzo wolna reakcja człowieka
- ▶ wolne urządzenia wejścia - wyjścia (np. drukarki)
- ▶ bardzo szybkie procesory

| | PC AT (1987) | PC (2024) | Poprawa |
|----------------------------|--------------|-----------|---------------|
| zegar procesora | 6 MHz | 3.6 GHz | 600x |
| ilość rdzeni (procesorów) | 1 | 24 | 24x |
| pamięć wielkość | 1MB | 64 GB | 64000x |
| pamięć (czas dostępu) | 200 ns | 15 ns | 13x |
| pamięć (czas dostępu/cykl) | 1.4 | 54 | -39x |

| rodzaj pamięci | wielkość | czas dostępu (cykle) |
|----------------|------------------|----------------------|
| cache L1 | 64kB (na rdzeń) | 2 |
| cache L2 | 256kB (na rdzeń) | 14 |
| cache L3 | 16MB | 16 |
| DRAM | 64GB | 54 |
| HDD | 2000GB | 15000000 |

Graficzne porównanie czasów realizacji operacji

Latency Numbers Every Programmer Should Know



Source: <https://gist.github.com/2841832>

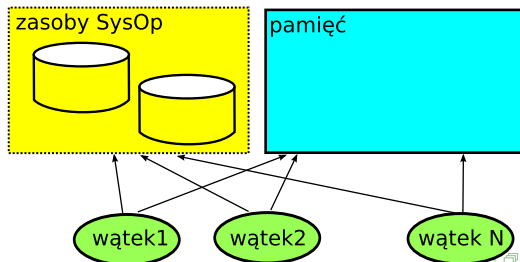
wieloprocessowe systemy operacyjne

- ▶ na platformach jedno-procesorowych (jedno-rdzeniowych)
- ▶ na platformach wieloprocessorowych (wielordzeniowych)

aplikacje wielowątkowe

Wątek („lekki proces”) realizuje niezależne ciągi instrukcji w ramach procesu.

- ▶ wątki współdzielą kod, dane oraz zasoby.
- ▶ mechanizm przełączania nie wprowadza dużych narzutów



- ▶ pozwala na reakcję na zlecenia użytkownika podczas przeprowadzania obliczeń
- ▶ lepiej wykorzystuje dostępną moc obliczeniową (szczególnie na platformach wieloprocessorowych)
- ▶ może obsługiwać wiele zleceń równolegle
- ▶ poprawnie zaprojektowana jest szybsza na platformach wieloprocessorowych (wielordzeniowych)

Procesy, wątki - były omawiane na przedmiocie 'Systemy Operacyjne'. Tutaj pokazujemy, jak używać tych mechanizmów w tworzeniu bibliotek i aplikacji.

Język programowania, a tworzenie aplikacji wielowątkowej

- ▶ języki jedno-wątkowe: JavaScript
- ▶ języki wielo-wątkowe: C++, Java

Dla C++:

- należy używać bibliotek przeznaczonych do pracy wielowątkowej
- C++11 dostarcza mechanizmy tworzenia i synchronizacji wątków

| Współdzielone | Niezależne |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">▶ obiekty globalne▶ obiekty dynamiczne (adres unikalny w ramach procesu)▶ zasoby systemu operacyjnego (np. pliki)▶ kod wykonywany | <ul style="list-style-type: none">▶ rejestry▶ ciąg wyk. instrukcji▶ stos▶ obiekty automatyczne (dostęp przez stos) |

Program ma zawsze jeden wątek (funkcja `main()`) - wątek główny lub inicjujący. Może tworzyć dodatkowe wątki.

std::thread - wątki w C++

```
#include <thread>

//Funkcja główna wątku użytkownika
void my_thread() { /* ... */ }
//Można też użyć funktora
class MyThread {
public:
    //tutaj implementacja funkcji wątku użytkownika
    void operator()() { /* ... */ }
};

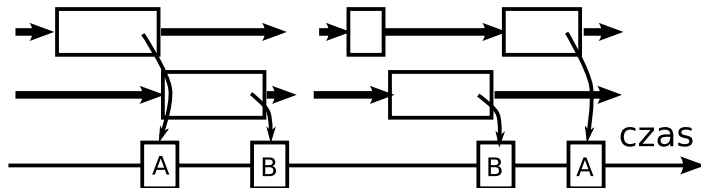
int main() {
    std::thread thrd(&my_thread); //Utworzenie i uruchomienie wątku
    try {
        thrd.join(); //Bieżący watek czeka na zakończenie wątku thrd
    } catch(...) { } //wyjątek zgłaszany, gdy wątek już nie istnieje
    return 0;
}
```

Wyścigi (race conditions)

wiele wątków pisze lub
czyta tę samą pamięć



- ▶ niewłaściwa wartość
- ▶ niezdefiniowane zachowanie



jedno z rozwiązań: synchronizacja (blokady)

problemy z usuwaniem błędów w aplikacjach wielowątkowych

- ▶ niektóre błędy są niepowtarzalne
- ▶ różne zachowanie się wersji debug od release
- ▶ testy na platformach z jednym procesorem (rdzeniem) mogą nie pokazywać błędów które wystąpią na platformach posiadających wiele procesorów (rdzeni)
- ▶ trudno testować wszystkie możliwe przebiegi sterowania

Blokady, mutex (mutual exclusion)

Mutex to obiekt synchronizujący, pozwala tworzyć sekcje krytyczne

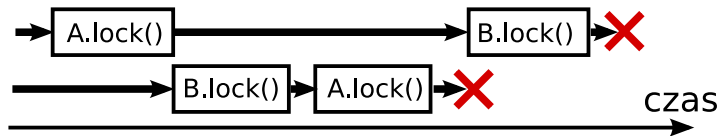
```
#include <mutex>
mutex.lock();
//Sekcja krytyczna, w danej chwili dostęp ma tylko jeden wątek
mutex.unlock();
```

Wzorzec projektowy - RAII - zdobywanie zasobów jest inicjacją

```
struct Lock { //Zdobycie zasobów jest inicjowaniem RAII
    Lock(mutex& m) : m_(m) { m_.lock(); }
    ~Lock() { m_.unlock(); } //Destruktor wychodzi z sekcji
    mutex& m_; //Mutex, którym zarządza
};
//Przykład użycia
std::mutex m; //obiekt służącego do synchronizacji
{
    Lock guard(m); //lock_guard - RAII dla mutex
    //sekcja krytyczna, dostęp do zasobu
} //zwolnienie zasobu
```

Zakleszczenia (deadlock)

każdy z wątków czeka na jakiś inny (jest blokowany). Żaden z nich nie może dalej pracować.



Rozwiązanie:

- ▶ zajmowanie blokad zawsze w tej samej kolejności
- ▶ stosowanie innych mechanizmów synchronizujących

Kończenie wątku - tylko z wewnątrz

Błądne jest przerwanie wątku z zewnątrz, nieustalony stan aplikacji.

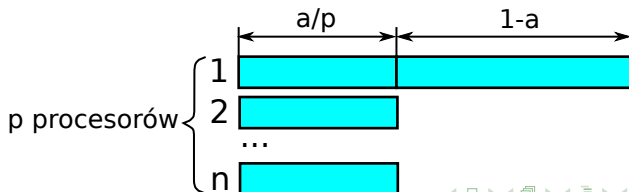
```
class MyThread {
public:
    MyThread() : finish_(false) {}
    //sygnalizacja, że wątek ma się zakończyć wcześniej
    void finish() { finish_ = true; }
    void operator()() {
        while(!finish_) {
            //część przetwarzania
            //a następnie sprawdzanie warunku !finish_
        }
    }
private:
    volatile bool finish_; //zabronione optymalizowanie tej składowej
};
```

Skalowalność - wydajność przy zwiększaniu zasobów

Prawo Amdahla (przyspieszenie dla 'p' procesorów):

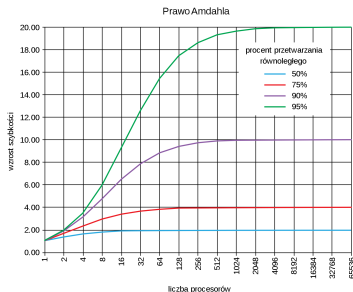
$$S(p) = \frac{1}{1 - a + \frac{a}{p}}$$

- ▶ ta sama ilość danych
- ▶ pomijamy narzuty współbieżności (np. czas przełączania)
- ▶ a - proporcja algorytmu, który może podlegać zrównolegleniu, $(1 - a)$ musi być wykonywane szeregowo



Dla stałej wielkości problemu.

$$\lim_{p \rightarrow \infty} S(p) = \frac{1}{1 - a}$$



Prawo Gustafsona-Barsisa

$$S(p) = p - (1 - a)(p - 1), \text{ gdzie:}$$

p ilość procesorów

$(1 - a)$ część procesu, która musi być wykonywana szeregowo

Ze wzrostem N wyrażenie $(1 - a)$ jest zbieżne i mniejsze od 1.

Wniosek: każdy wystarczająco duży problem da się zrównoleglić.

Wysoka skalowalność - wskazówki

Wątki mogą pracować niezależnie gdy:

- ▶ odczytują współdzielone dane
- ▶ zapisują własne (lokalne) dane

zapis współdzielonych danych jest kłopotliwy (spowalnia)

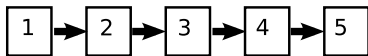
Wyróżnia się „szybką” i „wolną” ścieżkę w funkcjach wykonywanych w wątkach

- ▶ brak blokad na ”szybkiej ścieżce” (blokady, wykorzystywane nawet tylko do odczytu zapisują stan)
- ▶ usuwanie współdzielonych obiektów do zapisu (lepiej informację wyjściową przechowywać niezależnie dla każdego wątku, a później scalać wynik)

Podwójne sprawdzanie (double-checked locking)

```
class Singleton {  
    /* patrz wzorzec Singleton */  
private:  
    static Singleton* pInstance_ = nullptr;  
};
```

```
Singleton& Singleton::getInstance() { //1  
    if(!pInstance_) //2  
        pInstance_ = new Singleton; //3  
    return *pInstance_; //4  
} //5
```



czas

Podwójne sprawdzanie (2)

```
//Singleton poprawny, ale nieefektywny
Singleton& Singleton::getInstance() {
    std::lock_guard guard(mutex_); //tworzenie w sekcji krytycznej
    if(!pInstance_)
        pInstance_ = new Singleton;
    return *pInstance_;
}

//Singleton wielowątkowy efektywny
Singleton& Singleton::getInstance() {
    if(!pInstance_) { //wzorzec podwójnego sprawdzania
        std::lock_guard guard(mutex_); //tworzenie w sekcji krytycznej
        if(!pInstance_)
            pInstance_ = new Singleton;
    }
    return *pInstance_;
}
```

Singleton DCLP (Double checked locking pattern)

```
Singleton& Singleton::getInstance() {  
    if(!pInstance_) { //wykorzystuje kolejność operacji w linii 5  
        std::lock_guard guard(mutex_);  
        if(!pInstance_)  
            //zakłada kolejność: przydział pamięci, konstruktor, przypisanie  
            pInstance_ = new Singleton;  
    }  
    return *pInstance_;  
}
```

- ▶ może być niepoprawny (brak 'sequence point')
- ▶ próby poprawy są nieskuteczne np. dodatkowe instrukcje, wstawianie 'sequence point', oznaczanie obiektów jako zmienne (volatile)
- ▶ działa w praktyce

Wniosek

singletony inicjować w tym samym wątku (start aplikacji)

Wątki i mechanizm wyjątków

- ▶ wyjątki mogą być rzucone i wyłapywane w niezależnych wątkach
- ▶ wątek nie powinien rzucać wyjątku, który będzie wyłapywany w innym wątku

```
class MyThread {  
    //...  
    void operator()() { //funkcja wątku użytkownika  
        try {  
            //...  
        } catch(...) { /* Wyłapuje wszystkie wyjątki */ }  
    }  
};
```

Wzorzec monitora (pasywny obiekt)

Obiekt sam zapewnia, że metody mogą być wołane przez różne wątki.

```
class Queue {
    static const char END_TOKEN = '\0';
    std::queue<char> data_;
    std::mutex mutex; //wewnętrzny mutex
public:
    void put(char c) {
        std::lock_guard guard(mutex);
        data_.push(c);
    }
    bool get(char& c) {
        while(bool read = false; !read) {
            std::lock_guard<std::mutex> lock(mutex);
            if( ! data_.empty() ) {
                c = data_.front(); data_.pop(); read = true;
            }
        }
        return c != END_TOKEN;
    }
}
```

Przetwarzanie potokowe

algorytmy wykorzystujące przetwarzanie potokowe wygodnie tworzyć przy wykorzystaniu wątków



Współbieżna blokada

Problem czytelników i pisarzy (multiple-readers /single-writer locking pattern)

- ▶ czytelnicy: wątki nie wykluczające się nawzajem
- ▶ pisarze: wątki wykluczające każdy inny wątek, zarówno czytelnika jak i pisarza

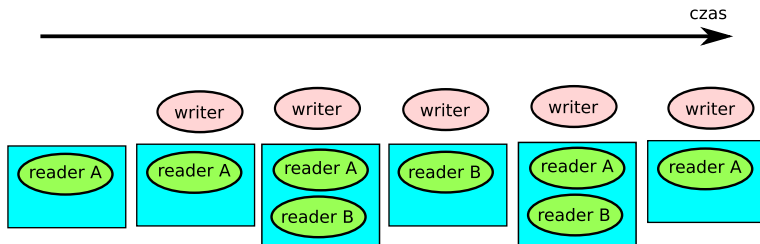
Bardziej skomplikowany od sekcji krytycznej.

- ▶ `std::shared_mutex` (C++14)
- ▶ `boost::shared_mutex`

- ▶ `M::lock`, `M::try_lock`, `M::timed_lock`
- ▶ `M::lock_shared`, `M::try_lock_shared`, `M::timed_lock_shared`

Zagłodzenia (starvation)

dany wątek nie może się wykonywać, ponieważ cały czas jest blokowany



Dziękuję

robert.nowak@pw.edu.pl