Systemy Operacyjne

Synchronizacja procesów

Dr inż. Krzysztof Rzecki

Na podstawie: Abraham Silberschatz, *Koncepcje systemów operacyjnych*

Kooperacja procesów

Sposoby kooperacji:

- Bezpośrednie współdzielenie przestrzeni adresacji (zarówno kod, jak i dane)
- Współdzielenie danych przez system plików lub komunikaty

Skutki kooperacji:

- Utrata spójności danych
- Wzajemne blokowanie

Zobacz: wykład pt. “Procesy”

Producent - konsument - pamięć dzielona

- **Producent** to proces produkujący informację, którą konsumuje **konsument**
- Przykład: kompilator - asembler, asembler - loader, klient - serwer, etc.
- Dwa typy buforów:
  - Nieskończony - konsument czeka, gdy bufor jest pusty; producent zawsze może umieszczać dane,
  - Skończony - konsument czeka, gdy bufor jest pusty; producent czeka, gdy bufor jest pełny.
- `in` - następna wolna pozycja w buforze
- `out` - pierwsza pełna pozycja w buforze
- in == out - bufor jest pusty
- ((in + 1) % BUFFER_SIZE) == out - bufor jest pełny

```
#define BUFFER_SIZE 10

typedef struct {
    . . .
}item;

item buffer[BUFFER_SIZE];
int in = 0;
int out = 0;
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Producent - konsument

```
while (true) {
     /* produce an item in nextProduced */
     while (counter == BUFFER_SIZE)
        ; /* do nothing */
     buffer[in] = nextProduced;
     in = (in + 1) % BUFFER_SIZE;
     counter++;
}
```

Producent

```
while (true) {
     while (counter == 0)
        ; /* do nothing */
     nextConsumed = buffer[out];
     out = (out + 1) % BUFFER_SIZE;
     counter--;
     /* consume the item in nextConsumed */
}
```

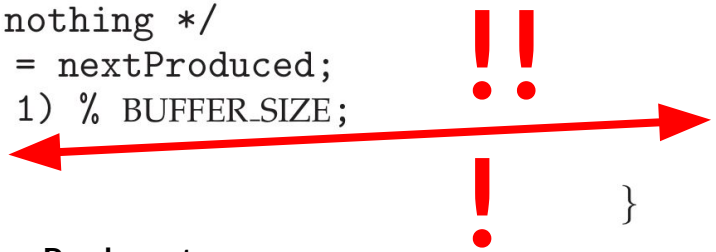
Konsument

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Producent - konsument

```
while (true) {
     /* produce an item in nextProduced */
     while (counter == BUFFER_SIZE)
        ; /* do nothing */
     buffer[in] = nextProduced;
     in = (in + 1) % BUFFER_SIZE;
     counter++;
}
```

Producent



```
while (true) {
     while (counter == 0)
        ; /* do nothing */
     nextConsumed = buffer[out];
     out = (out + 1) % BUFFER_SIZE;
     counter--;
     /* consume the item in nextConsumed */
}
```

Konsument

Warunek wyścigu (ang. race condition) to sytuacja, w której dwa lub więcej procesów wykonuje operację na zasobach dzielonych (odczyt lub zapis), a ostateczny wynik tej operacji jest zależny kolejności tego dostępu.

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

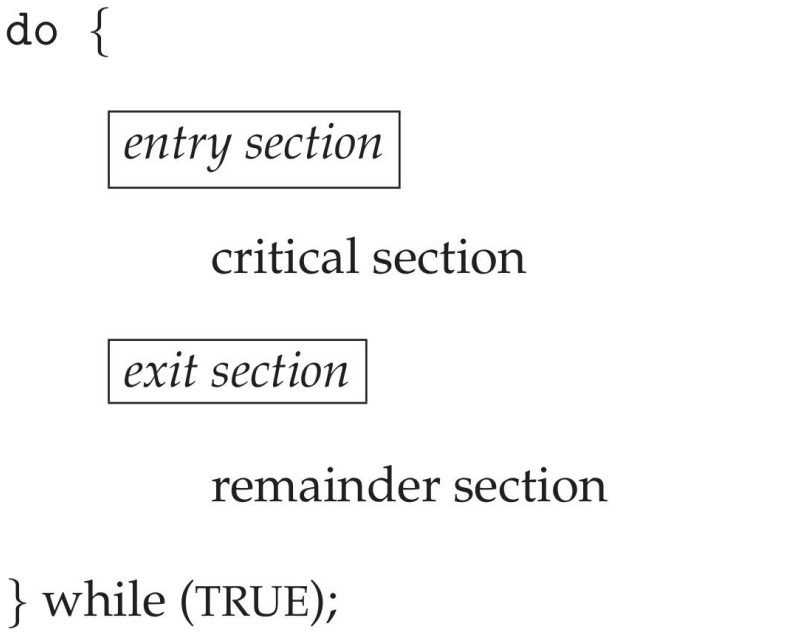
Sekcja krytyczna

Sekcja krytyczna (ang. *critical section*) to segment kodu, w którym proces może zmieniać wartości zmiennych, aktualizować tabele, pisać do pliku, etc. Podstawową własnością sekcji krytycznej jest to, że w tym samym czasie żaden inny proces nie może realizować swojej sekcji krytycznej (obejmującej te same zasoby).

- **Sekcja wejścia** (ang. *entry section*) - segment kodu, w którym zgłaszane jest żądanie dostępu do zasobu celem realizacji wzajemnego wykluczenia.
- **Sekcja krytyczna** (ang. *critical section*)
- **Sekcja wyjścia** (ang. *exit section*) - segment kodu, w którym zgłaszane jest zwolnienie zasobu.
- **Sekcja pozostałego kodu** (ang. *remainder section*) - nie związana z obsługą współdzielenia zasobów część pozostała część kodu.

Sekcje kodu

W ramce oznaczone zostały sekcje sterujące przebywaniem w sekcji krytycznej.



Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Wymagania dot. rozwiązania sekcji krytycznej

Rozwiązanie problemu sekcji krytycznej musi spełniać następujące wymagania:

- **Wzajemne wykluczenie** (ang. *mutual exclusion*) oznacza, że jeśli jeden proces wykonuje swoją sekcję krytyczną, to żaden inny proces nie może wykonać swojej sekcji krytycznej.
- **Postęp** (ang. *progress*) oznacza, że jeśli żaden proces nie jest w sekcji krytycznej i jakiś proces chciałby wejść do swojej sekcji krytycznej, to tylko procesy nierealizujące swojej sekcji kodu pozostałego mogą brać udział w decydowaniu, który z nich wejdzie do swojej sekcji krytycznej.
- **Skończony czas oczekiwania** (ang. *bounded waiting*) oznacza, że czas oczekiwania na wejście do sekcji krytycznej dla każdego procesu powinien być ograniczony.

Algorytm Peterson'a

- Dwa procesy P_0 oraz P_1
- Dwa procesy współdzielą:
  `int turn;`
  `boolean flag[2];`
- Zmienna `turn` wskazuje, którego procesu jest kolej na wejście do sekcji krytycznej.
- Tablica `flag` wskazuje, czy proces jest gotowy na wejście do sekcji krytycznej.

```
do {
    flag[i] = TRUE;
    turn = j;
    while (flag[j] && turn == j);

        critical section

    flag[i] = FALSE;

        remainder section

} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Synchronizacja sprzętowa

Mechanizmy:

- Blokowanie przerwań
- Test and set lock - TSL
- Swap
- TLS + czas oczekiwania

```
do {
        acquire lock
                critical section
        release lock
                remainder section
} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Test and set lock - TSL

- Wymagane wsparcie procesora do realizacji instrukcji atomowych
- Realizacja sekwencyjna instrukcji atomowych (także w przypadku SMP)
- Instrukcja atomowa: `TestAndSet()`

```
boolean TestAndSet(boolean *target) {
   boolean rv = *target;
   *target = TRUE;
   return rv;
}
```

```
do {
   while (TestAndSet(&lock))
      ; // do nothing

      // critical section

   lock = FALSE;

      // remainder section
} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Swap

- Wymagane wsparcie procesora do realizacji instrukcji atomowych
- Realizacja sekwencyjna instrukcji atomowych (także w przypadku SMP)
- Instrukcja atomowa: `Swap()`
- Inicjalizacja globalnych zmiennych:

```
boolean waiting[n];
boolean lock;
```

```
void Swap(boolean *a, boolean *b) {
   boolean temp = *a;
   *a = *b;
   *b = temp;
}
```

```
do {
   key = TRUE;
   while (key == TRUE)
      Swap(&lock, &key);

      // critical section

   lock = FALSE;

      // remainder section
} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

TLS + czas oczekiwania

Test and set lock oraz Swap:

- Spełniają wymaganie wzajemnego wykluczenia, ale
- Nie spełniają wymagania dot. skończonego czasu oczekiwania
- Obok: algorytm spełniający wszystkie wymagania dot. sekcji krytycznej

```
do {
   waiting[i] = TRUE;
   key = TRUE;
   while (waiting[i] && key)
      key = TestAndSet(&lock);
   waiting[i] = FALSE;

      // critical section

   j = (i + 1) % n;
   while ((j != i) && !waiting[j])
      j = (j + 1) % n;

   if (j == i)
      lock = FALSE;
   else
      waiting[j] = FALSE;

      // remainder section
} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Semafory

- Semafor `S` to zmienna całkowita
- Semafor można modyfikować tylko w:
  - `wait()`
  - `signal()`
- Kiedy jeden proces modyfikuje semafor, żaden inny nie może tego robić
- Testowanie warunku `S<=0` oraz inkrementacja `S--` musi wykonać się bez przerwania

```
wait(S) {
    while S <= 0
       ; // no-op
    S--;
}

signal(S) {
    S++;
}
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Typy semaforów

- Semafor binarny (ang. *binary semaphore*) = **mutex lock** od: *mut*ual *ex*clusion, czyli wzajemne wykluczenie
  Przy zastosowaniu do sekcji krytycznej:
  - procesy współdzielą semafor, mutex=1,
  - każdy proces działa jak na listingu obok.

- Semafor zliczający (ang. *counting semaphore*)
  Zastosowanie do sekcji krytycznej, kiedy dany zasób ma wiele instancji.

```
wait(S) {
    while S <= 0
       ; // no-op
    S--;
}
```

```
signal(S) {
    S++;
}
```

```
do {
   wait(mutex);

      // critical section

   signal(mutex);

      // remainder section
} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Problemy synchronizacyjne

- Problem ograniczonego bufora
- Problem czytelników i pisarzy
- Problem ucztujących filozofów

Problem ograniczonego bufora

Założenia:

- Pula buforów, rozmiar puli wynosi *n*
- Każdy bufor może zawierać jeden obiekt
- Zmienna `mutex` jest semaforem b. do puli
- Na początku `mutex = 1`
- Semafory `empty` i `full` to liczność pustych/pełnych buforów
- Na początku `empty = n`, `full = 0`

```
do {
    . . .
   // produce an item in nextp
    . . .
   wait(empty);
   wait(mutex);
    . . .
   // add nextp to buffer
    . . .
   signal(mutex);
   signal(full);
} while (TRUE);
```

Producent

```
do {
   wait(full);
   wait(mutex);
    . . .
   // remove an item from buffer to nextc
    . . .
   signal(mutex);
   signal(empty);
    . . .
   // consume the item in nextc
    . . .
} while (TRUE);
```

Konsument

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Problem czytelników i pisarzy - definicja

Założenia:

- Istnieje współdzielona baza danych
- Dwa typy procesów: piszące i czytające
- Procesy czytające mogą w dowolnej liczbie osiągać dostęp do bazy
- Jeśli jeden proces piszący ma dostęp, w tym czasie żaden inny proces (ani piszący, ani czytający) nie może mieć dostępu

Warianty:

- I. Żaden proces czytający nie czeka na dostęp, chyba, że proces piszący go uzyskał. Ryzyko zagłodzenia pisarzy.
- II. Jeśli pisarz oczekuje na dostęp, żaden czytelnik nie może rozpocząć czytania. Może dojść do zagłodzenia czytelników.

Problem czytelników i pisarzy - rozwiązanie I

- Czytelnicy współdzielą:

```
semaphore mutex, wrt;     // init: 1
int readcount;            // init: 0
```

- `wrt` jest wspólny także dla pisarzy
- `wrt` jest muteksem obsługującym pisarzy
- `wrt` jest także dla pierwszego i ostatniego czytelnika w sekcji krytycznej,
- `mutex` obsługuje zmienną `readcount`
- `readcount` - liczba aktualnie czytających

```
do {
   wait(wrt);
      . . .
   // writing is performed
      . . .
   signal(wrt);
} while (TRUE);
```

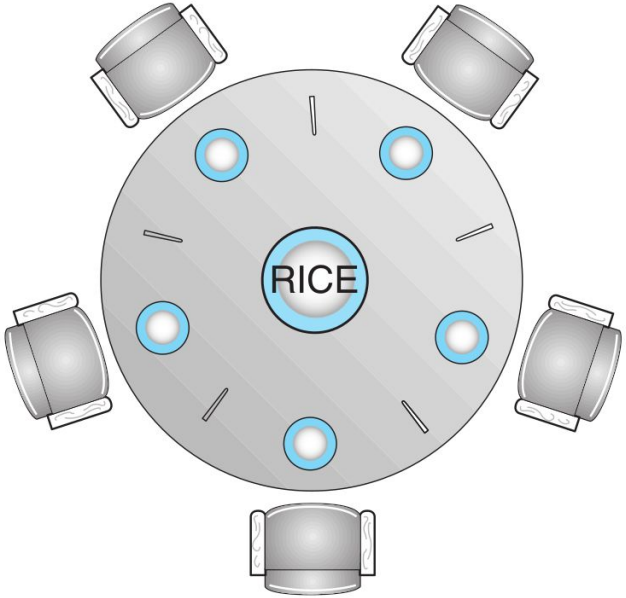
Pisarz

```
do {
   wait(mutex);
   readcount++;
   if (readcount == 1)
      wait(wrt);
   signal(mutex);
      . . .
   // reading is performed
      . . .
   wait(mutex);
   readcount--;
   if (readcount == 0)
      signal(wrt);
   signal(mutex);
} while (TRUE);
```

Czytelnik

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Problem ucztujących filozofów - definicja



- Rozważmy pięciu filozofów siedzących przy stole jak na obrazku obok
- Na środku stołu jest miska ryżu, wokół pięć talerzy, po jednym dla każdego filozofa
- Pomiędzy talerzami jest pięć sztućców
- Od czasu do czasu dany filozof chce zjeść
- Aby zjeść muszą być wolne dwa sztućce
- Jedząc filozof ma wyłączność na 2 sztućce
- Po skończeniu jedzenia zwalnia sztućce

Problem ucztujących filozofów - rozwiązanie

- Filozof próbuje wziąć szczućce wywołując: `wait()`
- Filozof odkłada sztućce wywołując: `signal()`
- Filozofowie współdzielą sztućce:

```
semaphore chopstick[5];  // init: 1
```

- Rozwiązania:

1. Max 4-ch filozofów przy stole
2. Można podnieść sztućce tylko wtedy, jeśli oba są wolne (podnieść w sekcji krytycznej)
3. Parzyści filozofowie podnoszą najpierw lewy, potem prawy sztuciec, a nieparzyści odwrotnie: najpierw prawy, potem lewy

```
do {
   wait(chopstick[i]);
   wait(chopstick[(i+1) % 5]);
      . . .
   // eat
      . . .
   signal(chopstick[i]);
   signal(chopstick[(i+1) % 5]);
      . . .
   // think
      . . .
} while (TRUE);
```

Źródło: A. Silberschatz, *Operating Systems Concepts Essentials*

Dziękuję za uwagę ;)