

# Chapter 5: Synchronization



1



## Chapter 5: Synchronization

- Background
- The Critical-Section Problem
- Peterson's Solution
- Synchronization Hardware
- Semaphores
- Classic Problems of Synchronization
- Synchronization Examples

2



## Objectives

- To introduce the critical-section problem, whose solutions can be used to ensure the consistency of shared data
- To present both software and hardware solutions of the critical-section problem

3



## Background

- Concurrent access to shared data may result in data inconsistency
- Maintaining data consistency requires mechanisms to ensure the orderly execution of cooperating processes
- Suppose that we wanted to provide a solution to the consumer-producer problem that fills **all** the buffers. We can do so by having an integer **count** that keeps track of the number of full buffers. Initially, **count is set to 0**. It is incremented by the producer after it produces a new buffer and is decremented by the consumer after it consumes a buffer.

increment : เพิ่มขึ้น  
decrement : ลดค่าลง

4



## Producer

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

5



## Consumer

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

6

## Race Condition

- `count++` could be implemented as
 

```
register1 = count
register1 = register1 + 1
count = register1
```
- `count--` could be implemented as
 

```
register2 = count
register2 = register2 - 1
count = register2
```
- Consider this execution interleaving with "count = 5" initially:
 

S0: producer execute	<code>register1 = count</code>	{register1 = 5}
S1: producer execute	<code>register1 = register1 + 1</code>	{register1 = 6}
S2: consumer execute	<code>register2 = count</code>	{register2 = 5}
S3: consumer execute	<code>register2 = register2 - 1</code>	{register2 = 4}
S4: producer execute	<code>count = register1</code>	{count = 6}
S5: consumer execute	<code>count = register2</code>	{count = 4}

**interleaving:** การแทรกสลับการทำงานของชุดคำสั่ง

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.7 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

7

## Solution to Critical-Section Problem

- Mutual Exclusion** - If process  $P_i$  is executing in its critical section, then no other processes can be executing in their critical sections (การห้ามอยู่พร้อมกัน)
- Progress** - If no process is executing in its critical section and there exist some processes that wish to enter their critical section, then the selection of the processes that will enter the critical section next cannot be postponed indefinitely (มีความก้าวหน้า)
- Bounded Waiting** - A bound must exist on the number of times that other processes are allowed to enter their critical sections after a process has made a request to enter its critical section and before that request is granted (รอคอยอย่างมีขอบเขต)
  - Assume that each process executes at a nonzero speed
  - No assumption concerning relative speed of the  $N$  processes

**Critical section:** เซกชันที่ process แต่ละตัวสามารถทำการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของ process โดยไม่มี process อื่นเข้ามาเกี่ยวข้องในเซกชันนี้

**exist:** ยังปรากฏอยู่, ลงอยู่      **postponed:** ปฏิเสธ  
**indefinitely:** ไม่แน่นอน      **granted:** ได้รับอนุญาตไปแล้ว

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.8 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

8

## Peterson's Solution

- Two process solution (เป็นวิธีที่ใช้กับ 2 process)
- Assume that the LOAD and STORE instructions are atomic; that is, cannot be interrupted.
- The two processes share two variables:
  - `int turn;`
  - Boolean `flag[2]`
- The variable `turn` indicates whose turn it is to enter the critical section.
- The `flag` array is used to indicate if a process is ready to enter the critical section. `flag[i] = true` implies that process  $P_i$  is ready!

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.9 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

9

## Algorithm for Process $P_i$

มุ่งประเด็นไปที่ ช่วงเวลาหนึ่งมี 2 process เท่านั้น

```
do {
    flag[i] = TRUE;
    turn = i;
    while (flag[j] && turn == j);
    // critical section
    flag[i] = FALSE;
    // remainder section
} while (TRUE);
```

i: current process  
j: other process

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.10 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

10

## Synchronization Hardware

- Many systems provide hardware support for critical section code
- Uniprocessors – could disable interrupts
  - Currently running code would execute without preemption
  - Generally too inefficient on multiprocessor systems
    - Operating systems using this not broadly scalable
- Modern machines provide special atomic hardware instructions
  - Atomic = non-interruptable
  - Either test memory word and set value
  - Or swap contents of two memory words

Uniprocessor : โปรแกรมเมอร์ทำได้

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.11 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

11

## Solution to Critical-section Problem Using Locks

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

ต้องการล็อก      ปลดล็อก

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.12 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

12

## Semaphore

- Synchronization tool that does not require busy waiting (ไม่ต้องการการรอคอยที่หนัก)
- Semaphore S – integer variable
- Two standard operations modify S: wait() and signal()
  - Originally called P() and V()
- Less complicated
- Can only be accessed via two indivisible (atomic) operations มี 2 การดำเนินการที่ทำได้กับ Semaphore
  - **wait (S) {**

```

while S <= 0
    ; // no-op
    S--;
        
```
  - **signal (S) {**

```

S++;
        
```

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.13 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

13

## Semaphore as General Synchronization Tool

- Counting semaphore – integer value can range over an unrestricted domain
- Binary semaphore – integer value can range only between 0 and 1; can be simpler to implement
  - Also known as **mutex locks**
- Can implement a counting semaphore S as a binary semaphore
- Provides mutual exclusion

```

Semaphore mutex; // initialized to 1
do {
    wait (mutex);
    // Critical Section
    signal (mutex);
    // remainder section
} while (TRUE);
  
```

**wait (mutex):**  
 while mutex ≤ 0 do no-op;  
 mutex--;

**signal (mutex):**  
 mutex++;

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.14 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

14

## Semaphore Implementation

- Must guarantee that no two processes can execute wait () and signal () on the same semaphore at the same time
- Thus, implementation becomes the critical section problem where the wait and signal code are placed in the critical section.
  - Could now have busy waiting in critical section implementation
    - ▶ But implementation code is short
    - ▶ Little busy waiting if critical section rarely occupied
- Note that applications may spend lots of time in critical sections and therefore this is not a good solution.

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.15 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

15

## Semaphore Implementation with no Busy waiting

- With each semaphore there is an associated waiting queue. Each entry in a waiting queue has two data items:
  - value (of type integer)
  - pointer to next record in the list
- Two operations:
  - **block** – place the process invoking the operation on the appropriate waiting queue. (ให้เข้าไปอยู่ในคิวถ้ายังไม่ทำงาน)
  - **wakeup** – remove one of processes in the waiting queue and place it in the ready queue. (นำออกจากรีดีคิวเพื่อทำงาน)

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.16 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

16

## Semaphore Implementation with no Busy waiting (Cont.)

- Implementation of wait:
 

```

wait(semaphore *S) {
    S->value--;
    if (S->value < 0) {
        add this process to S->list;
        block();
    }
}
      
```
- Implementation of signal:
 

```

signal(semaphore *S) {
    S->value++;
    if (S->value <= 0) {
        remove a process P from S->list;
        wakeup(P);
    }
}
      
```

ถ้า value อาจติดลบได้แสดงให้เห็นว่า process รอคอย semaphore

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.17 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

17

## Deadlock and Starvation

การใช้ semaphore อาจทำให้เกิดเหตุการณ์ขึ้นได้ ดังนี้

- **Deadlock** – two or more processes are waiting indefinitely for an event that can be caused by only one of the waiting processes
- Let S and Q be two semaphores initialized to 1

**P<sub>0</sub>**

```

wait (S);
wait (Q);
.
.
.
signal (S);
signal (Q);
      
```

**P<sub>1</sub>**

```

wait (Q);
wait (S);
.
.
.
signal (Q);
signal (S);
      
```

รอให้มี process หนึ่ง ทำสำเร็จ signal ก่อน จึงจะทำการ wait ได้

- **Starvation** – indefinite blocking. A process may never be removed from the semaphore queue in which it is suspended
- **Priority Inversion** - Scheduling problem when lower-priority process holds a lock needed by higher-priority process

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.18 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

18



## Classical Problems of Synchronization

- Bounded-Buffer Problem
- Readers and Writers Problem
- Dining-Philosophers Problem



19



## Bounded-Buffer Problem

- $N$  buffers, each can hold one item
- Semaphore **mutex** initialized to the value 1
- Semaphore **full** initialized to the value 0
- Semaphore **empty** initialized to the value  $N$ .



20



## Bounded Buffer Problem (Cont.)

- The structure of the **producer process**

```
do {
    // produce an item in nextp

    wait (empty); // Empty --
    wait (mutex);

    // add the item to the buffer

    signal (mutex);
    signal (full); // Full ++
} while (TRUE);
```



21



## Bounded Buffer Problem (Cont.)

- The structure of the **consumer process**

```
do {
    wait (full); // Full --
    wait (mutex);

    // remove an item from buffer to nextc

    signal (mutex);
    signal (empty); // Empty ++

    // consume the item in nextc
} while (TRUE);
```



22



## Readers-Writers Problem

- ใช้ข้อมูลร่วมกัน ผู้อ่านสามารถอ่าน (Reader) ข้อมูลร่วมกันได้หลายคน  
- ผู้เขียน (Writer) 1 คน สามารถเขียนข้อมูลได้ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โดยไม่มีผู้อ่านคนอื่นมาใช้ข้อมูลร่วมกัน และห้ามผู้อ่านมาอ่านขณะที่เขียนอยู่

อาจทำให้เกิดปัญหา **Starvation** ได้ทั้งฝั่งผู้เขียน และฝั่งผู้อ่าน

- A data set is shared among a number of concurrent processes
  - Readers – only read the data set; they do **not** perform any updates
  - Writers – can both read and write
- **Problem** – allow multiple readers to read at the same time. Only one single writer can access the shared data at the same time
- Shared Data
  - Data set
  - Semaphore **mutex** initialized to 1
  - Semaphore **wrt** initialized to 1
  - Integer **readcount** initialized to 0

ป้องกันตัวแปร readcount (ผู้อ่าน)

ป้องกันผู้เขียน



23



## Readers-Writers Problem (Cont.)

- The structure of a **writer process**

```
do {
    wait (wrt);

    // writing is performed

    signal (wrt);
} while (TRUE);
```

- ผู้อ่านคนแรกและคนสุดท้าย จะต้องใช้ตัวแปร wrt เพื่อทำให้การทำงานประสานกันได้กับผู้เขียน



24

## Readers-Writers Problem (Cont.)

□ The structure of a **reader process**

```
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);
```

หากผู้อ่านมีมากกว่า 1 คน ถ้า  
ผู้เขียนกำลังทำงานอยู่ ผู้อ่านคน  
ที่ 2 จะรออยู่ โดยตรวจสอบ  
ตัวแปร **mutex**

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.25 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

25

## Dining-Philosophers Problem



□ Shared data

- Bowl of rice (data set)
- Semaphore **chopstick[5]** initialized to 1

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.26 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

26

## Dining-Philosophers Problem (Cont.)

□ The structure of Philosopher *i*:

```
do {
    wait ( chopstick[i] );
    wait ( chopstick[ (i + 1) % 5] );

    // eat

    signal ( chopstick[i] );
    signal ( chopstick[ (i + 1) % 5] );

    // think
} while (TRUE);
```

หีบตะเกียบ ใช้  
operation **Wait**

วางตะเกียบ ใช้  
operation **Signal**

อาจเกิดปัญหา  
**Deadlock** ได้ หาก  
ทุกคนหิวพร้อมกัน  
แล้วหีบตะเกียบข้างซ้าย  
เหมือนกันหมด

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.27 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

27

## Dining-Philosophers Problem (Cont.)

- อาจเกิดปัญหา **Deadlock** ได้ หากทุกคนหิวพร้อมกัน  
แล้วหีบตะเกียบข้างซ้ายเหมือนกันหมด

วิธีแก้ไขเพื่อเลี่ยงการเกิด **Deadlock**

- \* มีนักปราชญ์นั่งโต๊ะได้ไม่เกิน 4
- \* กำหนดให้หีบตะเกียบได้ตะเกียบด้านซ้ายและขวาต้องว่างทั้งคู่ (ขณะอยู่ใน **Critical-Section**)
- \* ใช้การสลับกัน เช่น ให้คนเลขที่หีบซ้ายก่อน ข้างขวา และให้คนเลขที่ หีบขวา ก่อน ข้างซ้าย

**\*\* อาจเกิดปัญหา starvation ได้หากแก้ไขไม่รัดกุม \*\***

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.28 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

28

## Problems with Semaphores

□ incorrect use of semaphore operations:

(การใช้ **operation** ของ **semaphore** ที่ไม่ถูกต้อง)

- signal (mutex) .... wait (mutex) ทำให้ไม่เกิดคุณสมบัติ **Mutual exclusion**
- wait (mutex) ... wait (mutex) ทำให้เกิดปัญหา **Deadlock** ได้ เพราะไม่มีใครปลดล็อก
- Omitting of wait (mutex) or signal (mutex) (or both)  
มีการละเลยการใช้ operation wait() หรือ signal() หรือทั้งคู่ จึงทำให้กลไกการทำงานของ semaphore ไม่ทำงาน

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.29 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

29

## Synchronization Examples

- Windows XP
- Linux

Operating System Concepts – 10<sup>th</sup> Edition 5.30 Silberschatz, Galvin and Gagne ©2018

30



## Windows XP Synchronization

- Uses interrupt masks to protect access to global resources on uniprocessor systems
- Uses **spinlocks** on multiprocessor systems
- Also provides **dispatcher objects** which may act as either mutexes and semaphores
- Dispatcher objects may also provide **events**
  - An event acts much like a condition variable



31



## Linux Synchronization

- Linux:
  - Prior to kernel Version 2.6, disables interrupts to implement short critical sections
  - Version 2.6 and later, fully preemptive
- Linux provides:
  - semaphores
  - spin locks



32

## End of Chapter 5



33