

# İşletim Sistemleri

## Bölüm5: Proses Senkronizasyonu

M.Ali Akcayol Gazi Üniversitesi Bilgisayar Müh. Ders sunularıdır

Bu dersin sunumları, "Abraham Silberschatz, Greg Gagne, Peter B. Galvin, Operating System Concepts 9/e, Wiley, 2013." kitabı kullanılarak hazırlanmıştır.

### Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- Senkronizasyon donanımı
- Mutex kilitlemeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

## Process senkronizasyonu

- **Cooperating process**'ler diğer process'leri etkilerler veya diğer process'lerden etkilenirler.
- Cooperating process'ler **paylaşılmış hafıza alanıyla** veya **dosya sistemleri** ile veri paylaşımı yaparlar.
- **Paylaşılmış veriye eşzamanlı erişim tutarsızlık problemlerine yol açabilir.**
- **Paylaşılmış veri üzerinde işlem yapan process'ler arasında veriye erişimin yönetilmesi gereklidir.**
- Paylaşılan veriye erişim **üretici-tüketici (producer-consumer) problemi** olarak modellenebilir.

3

## Process senkronizasyonu

- Üretici ve tüketici processler için örnek kod aşağıda verilmiştir.

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

Yeni eleman eklendi.

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

Bir eleman alındı.

- **counter** değişkeninin değeri buffer'a yeni eleman eklendiğinde artmakta, eleman alındığında azalmaktadır.

4

## Process senkronizasyonu

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

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

- İki örnek ayrı ayrı doğru olsa da eşzamanlı doğru çalışamayabilirler.
- `counter=5` iken `counter++` ve `counter--` deyimlerinin aynı anda çalıştığını düşünelim.
- Farklı zaman aralıklarında çalışmış olsalardı `counter=5` olacaktı.

5

## Process senkronizasyonu

- `counter++` için makine komutları aşağıdaki gibi olabilir.

```
register1 = counter  
register1 = register1 + 1  
counter = register1
```

- `counter--` için makine komutları aşağıdaki gibi olabilir.

```
register2 = counter  
register2 = register2 - 1  
counter = register2
```

- `register1` ve `register2` aynı (AC) veya farklı register olabilir.

6

## Process senkronizasyonu

- `counter++` ve `counter--` için sıralı zaman aralıklarında yapılan mikroişlemler aşağıdaki gibi olabilir.

$T_0$ :	producer	execute	$register_1 = counter$	$\{register_1 = 5\}$
$T_1$ :	producer	execute	$register_1 = register_1 + 1$	$\{register_1 = 6\}$
$T_2$ :	consumer	execute	$register_2 = counter$	$\{register_2 = 5\}$
$T_3$ :	consumer	execute	$register_2 = register_2 - 1$	$\{register_2 = 4\}$
$T_4$ :	producer	execute	$counter = register_1$	$\{counter = 6\}$
$T_5$ :	consumer	execute	$counter = register_2$	$\{counter = 4\}$

- Yukarıdaki sırada buffer'daki eleman sayısı **4 olarak görülür**, ancak **gerçekte buffer'daki eleman 5 tanedir**.
- $T_4$  ile  $T_5$  yer değiştirirse buffer'daki **eleman sayısı 6 olarak görülecektir**.
- İki process aynı anda `counter` değişkeni üzerinde işlem yaptığından **sonuç yanlış olmaktadır**.

7

## Process senkronizasyonu

- Aynı değişkene **çok sayıda process'in erişmesi** durumunda sonuç değer erişim sırasına bağlı olarak değişecektir (**race condition**).
- Paylaşılan bir değişkene **aynı anda sadece bir process'in erişimi** sağlanmak zorundadır (**process synchronization**).
- Günümüzde işletim sistemlerinin farklı kısımlarındaki **process'lerin aynı veriye erişiminde senkronizasyon** yapılmak zorundadır.
- Multicore işlemcilerde çalışan multithread uygulamalarda da process senkronizasyonu yapılmak zorundadır.

8

## Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- Senkronizasyon donanımı
- Mutex kilitlemeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

9

## Kritik bölüm problemi

- Bir sistem,  $\{P_0, P_1, \dots, P_{n-1}\}$  şeklinde  $n$  tane process'e sahip olsun.
- Her process, ortak değişkenler, tablolar veya dosyalar üzerinde işlem yapan kritik bölüme sahip olabilir.
- Bir process kendi kritik bölümünü çalıştırırken diğer process'lerin kendi kritik bölümlerini çalıştırmamaları zorunludur.
- Aynı anda iki process kritik bölümünü çalıştırmamalıdır.
- Kullanılan protokoller ile her process kritik bölümüne girmek için izin istemektedir.
- Kritik bölümden sonra çıkış bölümü de yer alabilir.
- Örnekte, entry section giriş izni için kullanılır.

```
do {  
    entry section  
    critical section  
    exit section  
    remainder section  
} while (true);
```

10

## Kritik bölüm problemi

- Kritik bölüm probleminin çözümü aşağıdaki üç gereksinimi sağlamak zorundadır:
  - **Mutual exclusion (karşılıklı dışlama):** Bir  $P_i$  process'i kritik bölümünü çalıştırıyorsa diğer process'lerin hiç birisi kritik bölümlerini çalıştıramazlar.
  - **Progress:** Hiçbir process kritik bölümünü çalıştırmıyorsa, kritik bölüme girmek isteyenlerden (remainder section çalıştırmayanlar arasından) bir tanesinin kritik bölüme girmesine izin verilir.
  - **Bounded waiting (sınırlı bekleme):** Bir process kritik bölüme giriş izni istedikten sonra ve izin verildikten önceki aralıkta, kritik bölüme giriş izni verilen process sayısının sınır değeri vardır.
- İşletim sisteminde **açık durumdaki tüm dosya listesi için kernel veri yapısı oluşturulur.**
- İki process aynı anda dosya açma veya kapatma işlemi yaptığında bu listeye erişimleri gerekir (race condition).

11

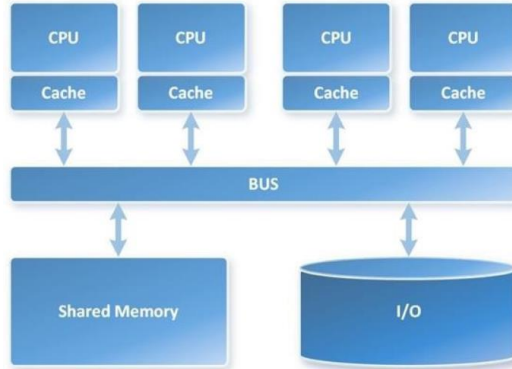
## Kritik bölüm problemi

- **Hafıza tahsis edilmesi ve interrupt işlemleri gibi işlemler race condition içeren örneklerdir.**
- **Kritik bölüm yönetimi için iki yaklaşım vardır:**
  - **Preemptive kernel:** Bir process kernel mode'da çalışırken sonsuz öncelikli (preemptive) olabilir.
  - **Nonpreemptive kernel:** Bir process kernel mode'da çalışırken sonsuz öncelikli olamaz, onun yerine bir kernel-function çalışır.
- Nonpreemptive kernel, **kernel veri yapıları üzerinde race condition oluşturmaz**, aynı anda bir process kernel içinde aktif durumdadır.

12

## Kritik bölüm problemi

- **SMP (Symmetric Multiprocessing)** mimarisinde (her işlemci eş düzey işlem kapasitesine sahiptir.) **preemptive kernel tasarımı daha zordur.**
- Birden fazla kernel mode process, aynı anda farklı işlemcilerde çalışabilir.



- Preemptive kernel'in cevap verebilirliği (responsiveness) daha iyidir ve gerçek zamanlı uygulamalar için daha uygundur.

13

## Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- **Peterson çözümü**
- Senkronizasyon donanımı
- Mutex kilitlemeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

14

## Peterson çözümü

- Peterson çözümü, **yazılım tabanlı** kritik bölüm çözümüdür.
- $P_i$  ve  $P_j$  process'leri için kritik bölüm çözümü aşağıdaki gibidir.

Bu process kritik kesime hazır.

Diğer process kritik kesime hazırsa öncelik ona verilir.

Sıra kendisine gelene kadar bekler.

Kritik kesimden çıkış bildirimi ( $flag[i] = false$ ).

```
do {  
    flag[i] = true;  
    turn = j;  
    while (flag[j] && turn == j);  
  
    critical section  
  
    flag[i] = false;  
  
    remainder section  
}  
while (true);
```

- Peterson çözümü,  $P_i$  ve  $P_j$  process'leri için **iki veriyi paylaşarak kullanır**.

```
int turn;  
boolean flag[2];
```

15

## Peterson çözümü

- Eğer  $turn = i$  ise, kritik bölüme  $i$  process'i girecektir.
- $flag[]$  bitleri ise process'lerin kritik bölüme girmeye hazır durumunu gösterir.
- Eğer  $flag[i] = true$  ise,  $i$ .process kritik bölümüne girmeye hazırdır.
- $i$ .process  $flag[i] = true$  **VE**  $turn = i$  olunca kritik bölümüne girer.
- $turn$  değişkenini iki process'te aynı anda değiştirse bile, son değer alınır ve o process kritik bölüme girer (**mutual exclusion**).
- Kritik bölümü tamamlayan process kritik bölüme giriş isteğini iptal eder ve diğer process kritik bölüme girer (**progress**).
- Bir process kritik bölüme bir kez girdikten sonra sırayı diğerine aktarır (**bounded waiting**).

```
do {  
    flag[i] = true;  
    turn = j;  
    while (flag[j] && turn == j);  
  
    critical section  
  
    flag[i] = false;  
  
    remainder section  
}  
while (true);
```

16



## Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- **Senkronizasyon donanımı**
- Mutex kilitlenmeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

17

## Senkronizasyon donanımı

- Kritik bölüm problemi için çok sayıda donanım ve yazılım tabanlı çözüm vardır. **Bunlar, temel olarak kitleme (locking) tabanlı yaklaşımlardır.**
- **Tek işlemcili sistemlerde, interrupt'ların paylaşılmış veriye erişimi engellenirse, kritik bölüm problemi basit bir şekilde çözülebilir.**
- Bu sistemlerde, **komut sırası değiştirilmeden ve önceliklendirme yapmadan çalışma sağlanırsa kritik bölüm problemi ortaya çıkmaz.**
- Nonpreemptive kernel'ların sıklıkla kullandığı yaklaşımdır.
- **Bu yöntem çok işlemcili sistemlerde uygun çözüm değildir.**
- Çok işlemcili sistemlerde, **interrupt'ların disable/enable yapılması için tüm işlemcilere mesaj göndermek için zaman gereklidir ve sistem performansı düşer.**

18

## Senkronizasyon donanımı

- Modern bilgisayar sistemlerinde, bir word içeriğini **test edip değiştirme** veya iki word içeriğini **yer değiştirme (swap)** işlemlerini **atomik** olarak yapan özel donanım komutları vardır.
- Test et ve değiştir komutu (atomik çalışır)** ile **karşılıklı dışlama (mutual exclusion)** yapan  $P_i$  process'i aşağıda verilmiştir.

```
boolean test_and_set(boolean *target) {
    boolean rv = *target;
    *target = true;
    return rv;
}
```

```
do {
    while (test_and_set(&lock))
        ; /* do nothing */
    /* critical section */
    lock = false;
    /* remainder section */
} while (true);
```

**pass by reference**

Mevcut değeri alındı ve geri döndürüldü.

Değeri true yapıldı.

lock = true

Değeri başlangıçta false.

19

## Senkronizasyon donanımı

- Karşılaştırmalı ve yer değiştir komutu (compare\_and\_swap)** ile **karşılıklı dışlama (mutual exclusion)** yapan  $P_i$  process'i aşağıda verilmiştir.

```
int compare_and_swap(int *value, int expected, int new_value) {
    int temp = *value;
    if (*value == expected)
        *value = new_value;
    return temp;
}
```

```
do {
    while (compare_and_swap(&lock, 0, 1) != 0)
        ; /* do nothing */
    /* critical section */
    lock = 0;
    /* remainder section */
} while (true);
```

**pass by reference**

Değeri başlangıçta 0.

Mevcut değeri alındı ve geri döndürüldü.

Değeri değiştirildi.

lock = 1

Senkronizasyon donanımı

- Önceki algoritmalar karşılıklı dışlamayı sağlar, ancak **bounded-waiting** gereksinimini sağlamaz.
- Yandaki algoritma ( $P_i$  için çalışır) ile bounded-waiting karşılanır.
- Her process en fazla  $(n-1)$  çalışma sonrasında sırayı alır.

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

do {
    waiting[i] = true;
    key = true;
    while (waiting[i] && key)
        key = test_and_set(&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);
```

Kendisinden sonraki bekleyen process dairesel dizide aranıyor.

Bekleyen yok

Bekleyen var

$P_j$  kritik bölüme girer.

Döngüden çıkmasını sağlar.

Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- Senkronizasyon donanımı
- **Mutex kilitlemeleri**
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

22

11

## Mutex kilitlemeleri

- **Donanım tabanlı** kritik bölüm çözümleri **karmaşıktır ve uygulama geliştirici tarafından erişilemez.**
- İşletim sistemi tasarımcıları, kritik bölüm problemi için yazılım araçları geliştirmişlerdir.
- En basit yazılım aracı **mutex (mutual exclusion) lock** aracıdır.
- Her process kritik bölüme girmek ve lock yapmak için izin ister (**acquire() function**).
- Kritik bölümünden çıktıktan sonra da lock durumu sonlandırılır (**release() function**).
- **Lock durumunun uygun olup olmadığına karar vermek için bir boolean değişken kullanılır (available).**

23

## Mutex kilitlemeleri

- Aşağıda, **acquire()**, **release()** fonksiyonları ile **mutex lock** kullanılan **kritik bölüm çözümü verilmiştir.**

```
acquire() {  
    while (!available)  
        ; /* busy wait */  
    available = false;;  
}
```

```
release() {  
    available = true;  
}
```

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

- Bir process, kritik bölümünde iken diğer tüm process'ler **acquire()** fonksiyonunda sürekli döngüdedirler (**spinlock**).

24

## Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- Senkronizasyon donanımı
- Mutex kilitlemeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

25

## Semaforlar

- **S semaforu** bir tamsayıdır ve sadece **wait()** ve **signal()** **atomik** işlemleri tarafından erişilebilir.
- Literatürde **wait()** işlemi **P** ile, **signal()** işlemi ise **V** ile gösterilir.
- **wait()** ve **signal()** işlemleri aşağıda verilmiştir.

```
wait(S) {  
    while (S <= 0)  
        ; // busy wait  
    S--;  
}
```

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

- **wait()** ile S'nin değeri azaltılır, **signal()** ile S'nin değeri artırılır.
- S üzerindeki wait() ve signal() işlemleri **kesintisiz (atomik) bir şekilde gerçekleştirilir.**

26

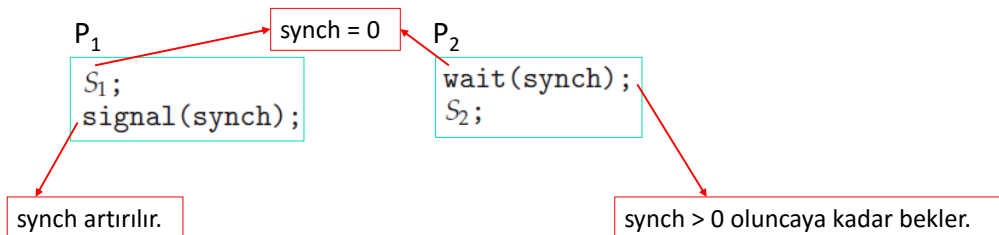
## Semaforlar

- İşletim sistemleri, **sayan semafor (counting semaphore)** ve **ikilik semafor (binary semaphore)** kullanırlar.
- **Sayan semaforların değeri kısıtlı değildir.**
- **İkilik semaforların değeri 0 veya 1 olabilir.**
- İkilik semafor mutex lock gibi davranır.
- **Sayan semaforlar, belirli sayıdaki kaynağa erişimi denetlemek için kullanılır.** Sayan semafor kaynak sayısı ile başlatılır.
- Kaynağı kullanmak isteyen her **process semafor üzerinde wait() işlemi gerçekleştirir (sayaç azaltılır).**
- Bir **process kaynağı serbest bıraktığında ise signal() işlemi gerçekleştirir (sayaç artırılır).**
- **Semafor değeri = 0** olduğunda tüm kaynaklar kullanılır durumdadır.

27

## Semaforlar

- Semaforlar, **işlem bağımlılığı gibi farklı senkronizasyon problemlerinde de kullanılabilir.**
- Örneğin,  $P_2$  process'indeki  $S_2$  deyimi  $P_1$  process'indeki  $S_1$  deyiminden sonra çalışmak zorunda olsun.
- Örnekte  $P_1$  ve  $P_2$  için paylaşılan synch semaforu tanımlanmıştır.
- **synch semaforu başlangıçta 0** değerine sahiptir.
- **$P_1$  ve  $P_2$  içerisine eklenen deyimler aşağıda verilmiştir.**



28

## Semaforlar

### Semafor oluşturulması

- Mutex lock gibi semafordaki wait() ve signal() tanımları da süresiz beklemeye neden olabilir.
- Aşağıda örnek semafor tanımı verilmiştir:

```
typedef struct {  
    int value;  
    struct process *list;  
} semaphore;
```

- Her semafor bir tamsayı değeri ve process listesine sahiptir.
- Bir process semaforu bekliyorsa process listesine eklenir.
- Listedeki bir process signal() ile alınır ve çalıştırılır.

29

## Semaforlar

### Semafor oluşturulması

- Semafor için wait() ve signal() işlemleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir:
- block() process'i beklemeye alır, wakeup() ise çalışmaya devam ettirir.

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

Negatif değer büyüklüğü bekleyen process sayısını gösterir.

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

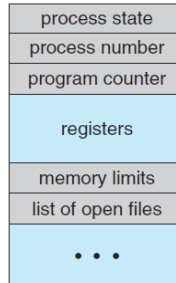
```
typedef struct {  
    int value;  
    struct process *list;  
} semaphore;
```

30

## Semaforlar

### Semafor oluşturulması

- Bekleyen process listesi, her process'in PCB (Process Control Block) linkiyle oluşturulabilir.



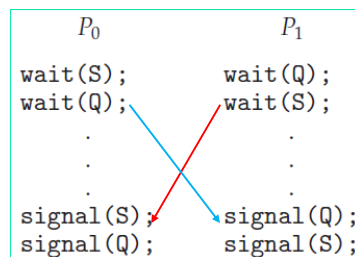
- Her semafor bir tamsayı ile PCB pointer'ına sahiptir.
- Bounded waiting için FIFO kuyruk oluşturulur.
- FIFO kuyruk yapısının dışında **priority queue** yapısı da oluşturulabilir.
- Semafor işlemlerinin atomik olarak çalıştırılması gereklidir.

31

## Semaforlar

### Kilitlenme (Deadlock)

- Bir process'in beklemesine bağlı olarak, iki veya daha çok process'in sonsuza kadar beklemesine **kilitlenme (deadlock)** denir.
- Aşağıdaki  $P_0$  ve  $P_1$  process'leri, **S** ve **Q** semaforlarına erişmektedir.



- $P_0$  wait(S) ve  $P_1$  wait(Q) işlemlerini aynı anda çalıştırır.
- $P_0$  wait(Q)'yu çalıştırırken,  $P_1$  wait(S)'yi çalıştırır.
- $P_0$  wait(Q)'da,  $P_1$  wait(S)'de kilitlenir.

32



## Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- Senkronizasyon donanımı
- Mutex kilitlenmeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

33

## İzleyiciler

- Semaforlar kullanıldığında da senkronizasyon hataları olabilmektedir.
- Tüm process'lerin **kritik bölüme girmeden önce wait()**, **girdikten sonra ise signal() işlemlerini** yapmaları gereklidir.
- **Program geliştirici bu sıraya dikkat etmezse, iki veya daha fazla process aynı anda kritik bölüme girebilir.**
- Bu durumlar programcılar arasında yeterli işbirliği olmadığı durumlarda da olabilmektedir.
- Kritik bölüm problemine ilişkin tasarımda oluşan sorunlardan dolayı **kilitlenmeler** veya **eşzamanlı erişimden dolayı yanlış sonuçlar** ortaya çıkabilmektedir.

34

## İzleyiciler

- **wait()** ile **signal()** yer değişirse, aşağıdaki çalışma ortaya çıkar.

```
signal(mutex);  
...  
critical section  
...  
wait(mutex);
```

- Örnekte **birden fazla process kritik bölüme aynı anda girebilir.**
- **signal()** yerine **wait()** yazılırsa aşağıdaki çalışma ortaya çıkar.

```
wait(mutex);  
...  
critical section  
...  
wait(mutex);
```

- Bu durumda da **deadlock oluşur.**
- **wait()** veya **signal()** unutulursa, karşılıklı dışlama yapılamaz veya deadlock oluşur.

35

## İzleyiciler

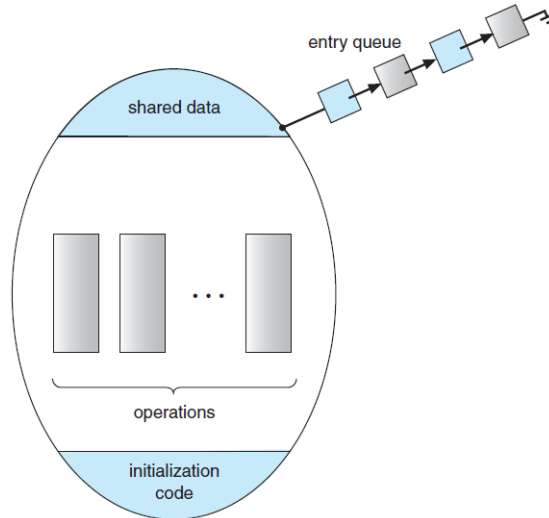
- Programcıdan kaynaklanabilecek bu hataların giderilmesi için **izleyici (monitor)** kullanılır.
- **monitor içinde tanımlanan bir fonksiyon**, sadece **monitor içinde tanımlanan değişkenlere** ve **kendi parametrelerine erişebilir.**
- **Monitor içindeki fonksiyonlardan sadece bir tanesi aynı anda aktif olabilir.**

```
monitor monitor name  
{  
    /* shared variable declarations */  
  
    function P1 ( . . . ) {  
        . . .  
    }  
  
    function P2 ( . . . ) {  
        . . .  
    }  
  
    .  
    .  
    .  
    function Pn ( . . . ) {  
        . . .  
    }  
  
    initialization_code ( . . . ) {  
        . . .  
    }  
}
```

36

## İzleyiciler

- Programcının senkronizasyon kısıtlarını yazması gerekli değildir.



37

## İzleyiciler

- Programcı işe veya **değişkene özel senkronizasyon** oluşturmak için durum değişkenleri oluşturabilir.

**condition x, y**

- Sadece **bir durum değişkenine bağlı çalışan** wait() ve signal() işlemleri tanımlanabilir.

**x.wait();**

ile x durum değişkenine bağlı bir process beklemeye alınır.

**x.signal();**

ile x durum değişkenine bağlı beklemekte olan bir process çalışmaya devam eder.

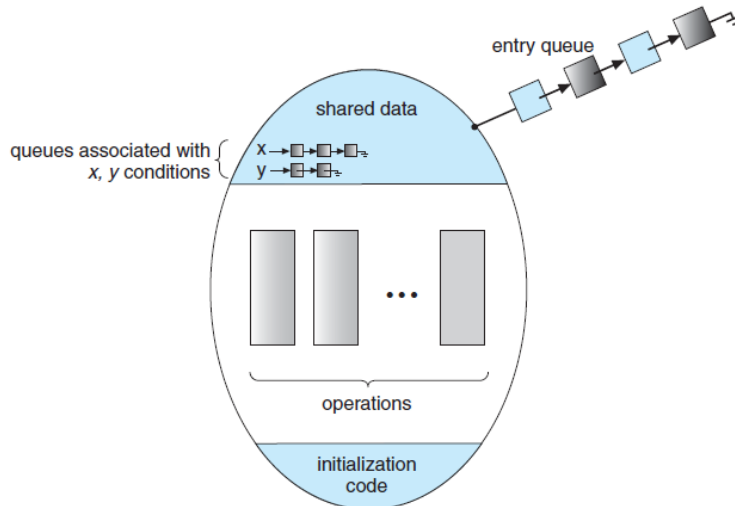
38

## İzleyiciler

- **$x$ .signal()** işlemini bir **P** process'i başlatmış olsun. Aynı anda,  **$x$**  durumuna bağlı beklemekte olan bir **Q** process'i olsun.
- **Q process'i** çalışmaya başladığında, tekrar işlem yapmak isterse **P process'i** beklemek zorundadır.
- Aksi durumda, monitör içindeki P ve Q aynı anda aktif olur.
- Bu durumda iki olasılık vardır:
  - **Signal and wait:** P process'i, Q process'inin monitör'den ayrılmasını veya başka bir duruma geçmesini bekler.
  - **Signal and continue:** Q process'i, P process'inin monitör'den ayrılmasını veya başka bir duruma geçmesini bekler.

## İzleyiciler

- **$x$**  ve  **$y$**  durum değişkenlerine bağlı process'lerin monitör içinde çalışması.



## Konular

- Process senkronizasyonu
- Kritik bölüm problemi
- Peterson çözümü
- Senkronizasyon donanımı
- Mutex kilitlemeleri
- Semaforlar
- İzleyiciler
- Alternatif yaklaşımlar

41

## Alternatif yaklaşımlar

### *Transactional memory*

- **Multicore sistemlerde, mutex lock, semafor gibi mekanizmalarda deadlock gibi problemlerin oluşma riski bulunmaktadır.**
- Bunun yanı sıra, **thread sayısı arttıkça deadlock problemlerinin ortaya çıkma olasılığı artmaktadır.**
- **Klasik mutex lock (veya semafor)** kullanılarak paylaşılmış veride güncelleme yapan **update()** fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

```
void update ()
{
    acquire();

    /* modify shared data */

    release();
}
```

42

## Alternatif yaklaşımlar

### *Transactional memory*

- Klasik kilitleme yöntemlerine alternatif olarak **programlama dillerine yeni özellikler eklenmiştir.**
- Örneğin, **atomic(S)** kullanılarak **S işlemlerinin tümünün transaction olarak gerçekleştirilmesi sağlanır.**

```
void update ()
{
    atomic {
        /* modify shared data */
    }
}
```

- **Lock işlemine gerek kalmadan ve kilitleme olmadan işlem tamamlanır.**

43

## Alternatif yaklaşımlar

### *OpenMP (Open Multi-Processing)*

- OpenMP, C, C++ ve Fortran için compiler direktiflerinden oluşan API'dir.
- OpenMP, paylaşılmış hafızada eşzamanlı çalışmayı destekler.
- OpenMP, **#pragma omp critical** komutu ile kritik bölümü belirler ve aynı anda sadece bir thread çalışmasına izin verir.

```
void update(int value)
{
    #pragma omp critical
    {
        counter += value;
    }
}
```

44