Примитивы синхронизации

Юрий Литвинов
yurii.litvinov@gmail.com

13.09.2019г

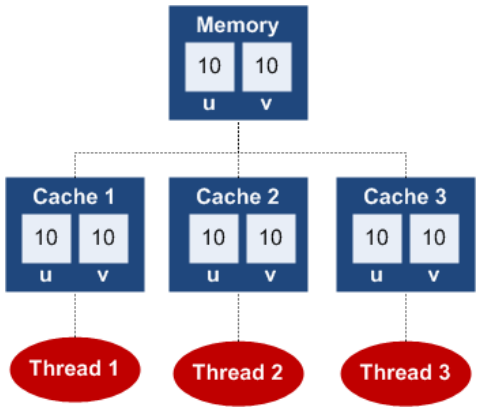
Примитивы синхронизации

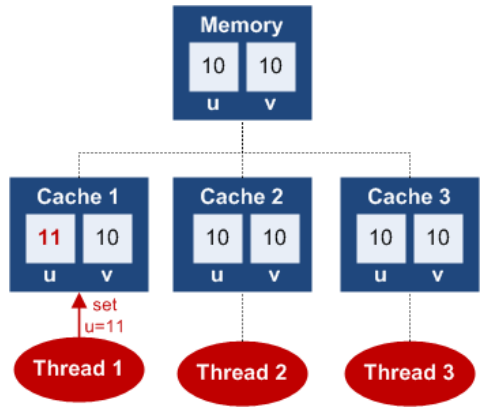
- Лучше необходимости синхронизации вообще избегать
- Бывают:
  - User-mode — атомарные операции, реализующиеся на процессоре и не требующие участия планировщика
  - Kernel-mode — примитивы, управляющие тем, как поток обрабатывается планировщиком
    - Более тяжеловесные и медленные (до 1000 раз по сравнению с “без синхронизации вообще”)
    - Позволяют синхронизировать даже разные процессы

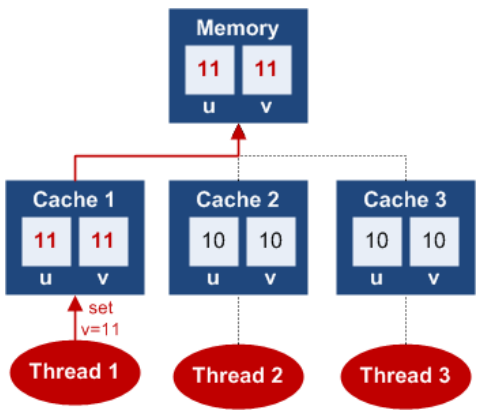
Атомарные операции

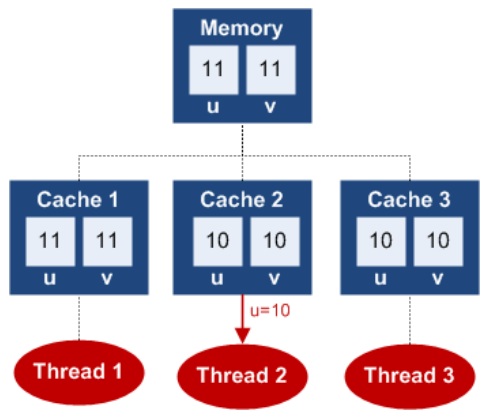
- Чтения и записи следующих типов всегда атомарны: Boolean, Char, (S)Byte, (U)Int16, (U)Int32, (U)IntPtr, Single, ссылочные типы
- Для других типов (например, Int64) операции чтения и записи могут быть прерваны посередине!
- Volatile
  - Volatile.Write
  - Volatile.Read
  - Связано с понятием Memory Fence, требует синхронизации ядер
  - Есть ключевое слово volatile: **private** volatile **int** flag = 0;
  - Volatile.Write должен быть последней операцией записи, Volatile.Read — первой операцией чтения

Volatile и модель памяти









© https://igoro.com/archive/volatile-keyword-in-c-memory-model-explained/

Пример

```
private int flag = 0;
private int value = 0;

public void Thread1() {
    value = 5;
    Volatile.Write(ref flag, 1);
}

public void Thread2() {
    if (Volatile.Read(ref flag) == 1)
        Console.WriteLine(value);
}
```

Ещё один способ прострелить себе ногу

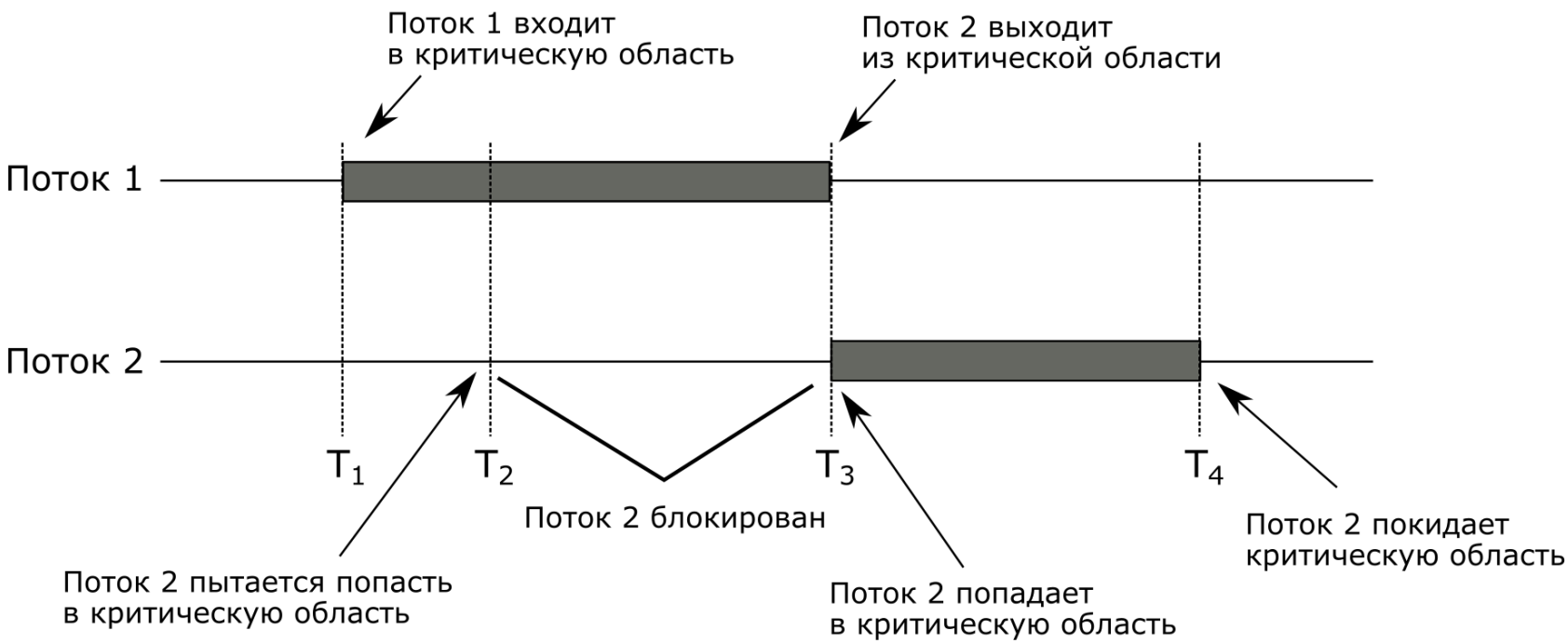
```
bool stop = false;

var thread = new Thread(() => {
    while (!stop)
    {
        Console.WriteLine("Goodbye, cruel world!");
        Thread.Sleep(500);
    }
});

thread.Start();
Thread.Sleep(2000);
stop = true;
thread.Join();
Console.WriteLine("Done.");
```

Interlocked

```
public int  result;

public void ThreadA()
{
   for (int i = 1; i <= 1000; i++)
   {
      result++;
   }
}

public void ThreadB()
{
   for (int i = 1; i <= 1000; i++)
   {
      result++;
   }
}
```

```
public int  result;

public void ThreadA()
{
   for (int i = 1; i <= 1000; i++)
   {
      Interlocked.Increment(ref result);
   }
}

public void ThreadB()
{
   for (int i = 1; i <= 1000; i++)
   {
      Interlocked.Increment(ref result);
   }
}
```

Критические области



Активное ожидание

```
private int turn = 0;

void Task1()
{
   while (true)
   {
      while (turn != 0) ;
      CriticalSection();
      turn = 1;
      NonCriticalSection();
   }
}

void Task2()
{
   while (true)
   {
      while (turn != 1) ;
      CriticalSection();
      turn = 0;
      NonCriticalSection();
   }
}
```

Активное ожидание, обсуждение

- Не требует поддержки ОС
  - Поэтому переключение может быть очень быстрым
- Ждущий поток полностью занимает ядро
  - Греет процессор и очень быстро сажает аккумулятор
- Потоки работают строго по очереди
  - Это можно побороть, есть алгоритм Петерсона

Проблема производителя и потребителя

Producer-consumer problem

```
private Queue<int> buffer = new Queue<int>();
```

```
private void Producer() {
    while (true) {
        var item = ProduceItem();
        if (buffer.Count == 100)
            Sleep();
        buffer.Enqueue(item);
        if (buffer.Count == 1)
            WakeUp(Consumer);
    }
}
```

```
private void Consumer() {
    while (true) {
        if (buffer.Count == 0)
            Sleep();
        var item = buffer.Dequeue();
        if (buffer.Count == 100 - 1)
            WakeUp(Producer);
        ConsumeItem(item);
    }
}
```

Семафоры

Дейкстры (того самого), 1965 год

- Целочисленный счётчик, который можно поднять и опустить (**up()** и **down()**)
- **down()** уменьшает счётчик на 1, если он больше нуля или блокирует вызывающего, если он 0
- **up()** увеличивает счётчик на один и, если он был нулём, будит одного из ожидающих потоков (случайного!)
- **down()** обычно делается при входе в критическую секцию, **up()** — при выходе
- Позволяет быть в критической секции не более чем заданному количеству потоков
  - Например, Google Drive не позволяет качать более чем с 10 подключениями одновременно, семафор решает проблему

Производитель-потребитель на семафорах

```
private Queue<int> buffer = new Queue<int>();
private Semaphore mutex = new Semaphore(0, 1);
private Semaphore empty = new Semaphore(100, 100);
private Semaphore full = new Semaphore(0, 100);
```

```
private void Producer()
{
   while (true)
   {
      var item = ProduceItem();
      empty.WaitOne();
      mutex.WaitOne();
      buffer.Enqueue(item);
      mutex.Release();
      full.Release();
   }
}
```

```
private void Consumer()
{
   while (true)
   {
      full.WaitOne();
      mutex.WaitOne();
      var item = buffer.Dequeue();
      mutex.Release();
      empty.Release();
      ConsumeItem(item);
   }
}
```

Мьютекс

- Мьютекс — бинарный семафор
  - Пускает ровно один поток в критическую секцию
- Существенно проще в реализации и использовании, чем семафор
- Тоже требует поддержки операционной системы
  - Может использоваться для синхронизации даже процессов

Производитель-потребитель на семафорах и мьютексе

```
private Queue<int> buffer = new Queue<int>();
private Mutex mutex = new Mutex();
private Semaphore empty = new Semaphore(100, 100);
private Semaphore full = new Semaphore(0, 100);
```

```
private void Producer()
{
  while (true)
  {
    var item = ProduceItem();
    empty.WaitOne();
    mutex.WaitOne();
    buffer.Enqueue(item);
    mutex.ReleaseMutex();
    full.Release();
  }
}
```

```
private void Consumer()
{
  while (true)
  {
    full.WaitOne();
    mutex.WaitOne();
    var item = buffer.Dequeue();
    mutex.ReleaseMutex();
    empty.Release();
    ConsumeItem(item);
  }
}
```

Монитор

Хоара, 1974 год

- Пользоваться семафорами очень сложно — например, поменять empty.WaitOne(); и mutex.WaitOne(); в Producer() — хороший способ устроить дедлок
  - Представим, что буфер полон. Producer() захватывает мьютекс и встаёт на семафоре empty, потому что он 0, управление передаётся Consumer(). Он тут же встаёт на mutex.WaitOne(), потому что он захвачен Producer()-ом. Теперь оба потока ждут друг друга.
- Поэтому придумали мониторы
- Монитор — набор методов (или функций), внутри которых может находиться ровно один поток
- Реализуется через мьютексы, требует поддержки в языке программирования

Производитель-потребитель на мониторе

```
private class SynchronizedQueue {
   private Queue<int> buffer =
      new Queue<int>();

   public void Enqueue(int item) {
      lock (buffer) {
         while (buffer.Count == 100)
            Monitor.Wait(buffer);
         buffer.Enqueue(item);
         Monitor.Pulse(buffer);
      }
   }

   public int Dequeue() {
      lock (buffer) {
         while (buffer.Count == 0)
            Monitor.Wait(buffer);
         var result = buffer.Dequeue();
         Monitor.Pulse(buffer);
         return result;
      }
   }
}
```

```
private SynchronizedQueue buffer =
   new SynchronizedQueue();

private void Producer() {
   while (true) {
      var item = ProduceItem();
      buffer.Enqueue(item);
   }
}

private void Consumer() {
   while (true) {
      var item = buffer.Dequeue();
      ConsumeItem(item);
   }
}
```

lock в .NET

- У каждого объекта (сылочного типа) есть скрытое поле, указывающее на структуру синхронизации
- lock использует именно её
  - То есть lock в одной критической секции, но на разные объекты — это разные мониторы
  - Но lock в разных секциях на один объект — один монитор
  - lock умеет обрабатывать исключения и отпускать замок
    - Предыдущие примеры с семафорами и мьютексами были неправильными — не учитывались исключения
- Хорошая практика — создавать объект специально для синхронизации, **lock**(**this**) писать нельзя!

```
private Object lockObject = new Object();

private void SomeMethod() {
   lock (lockObject) {
      ...
   }
}
```

WaitHandle

- WaitHandle — всё, что можно ожидать
  - EventWaitHandle
    - AutoResetEvent — по сути, булевый флаг, поддерживаемый ОС
    - ManualResetEvent — тоже булевый флаг, но сбрасывается вручную
- Остальные примитивы синхронизации — наследники WaitHandle

Пример (самодельный замок на Event-ах)

```
internal class SimpleWaitLock : IDisposable {
   private readonly AutoResetEvent available;
   public SimpleWaitLock() {
      available = new AutoResetEvent(true);
   }

   public void Enter() {
      available.WaitOne();
   }

   public void Leave() {
      available.Set();
   }

   public void Dispose() { available.Dispose(); }
}
```

Литература

Эндрю Таненбаум, Х. Бос, Современные операционные системы, Питер, 2017. 1120 С.

Jeffrey Richter, CLR via C# (4th Edition), Microsoft Press, 2012. 894pp.