Параллельные структуры данных

Дамаскинский Константин

7 декабря 2021 г.

Что требуется?

- Контейнеры
  1. Список (стек, очередь)
  2. Множество

Модели доступа

- Single producer, multiple consumers
- Multiple producers, multiple consumers
- Single consumer, multiple producers

Параллельное выполнение операций

- Чтение
  1. Чтение разрешено
  2. Изменение запрещено
- Изменение
  1. Чтение запрещено
  2. Изменение запрещено

От метода синхронизации доступа зависит, **на какую составляющую контейнера** накладываются указанные ограничения

Множество на связном списке

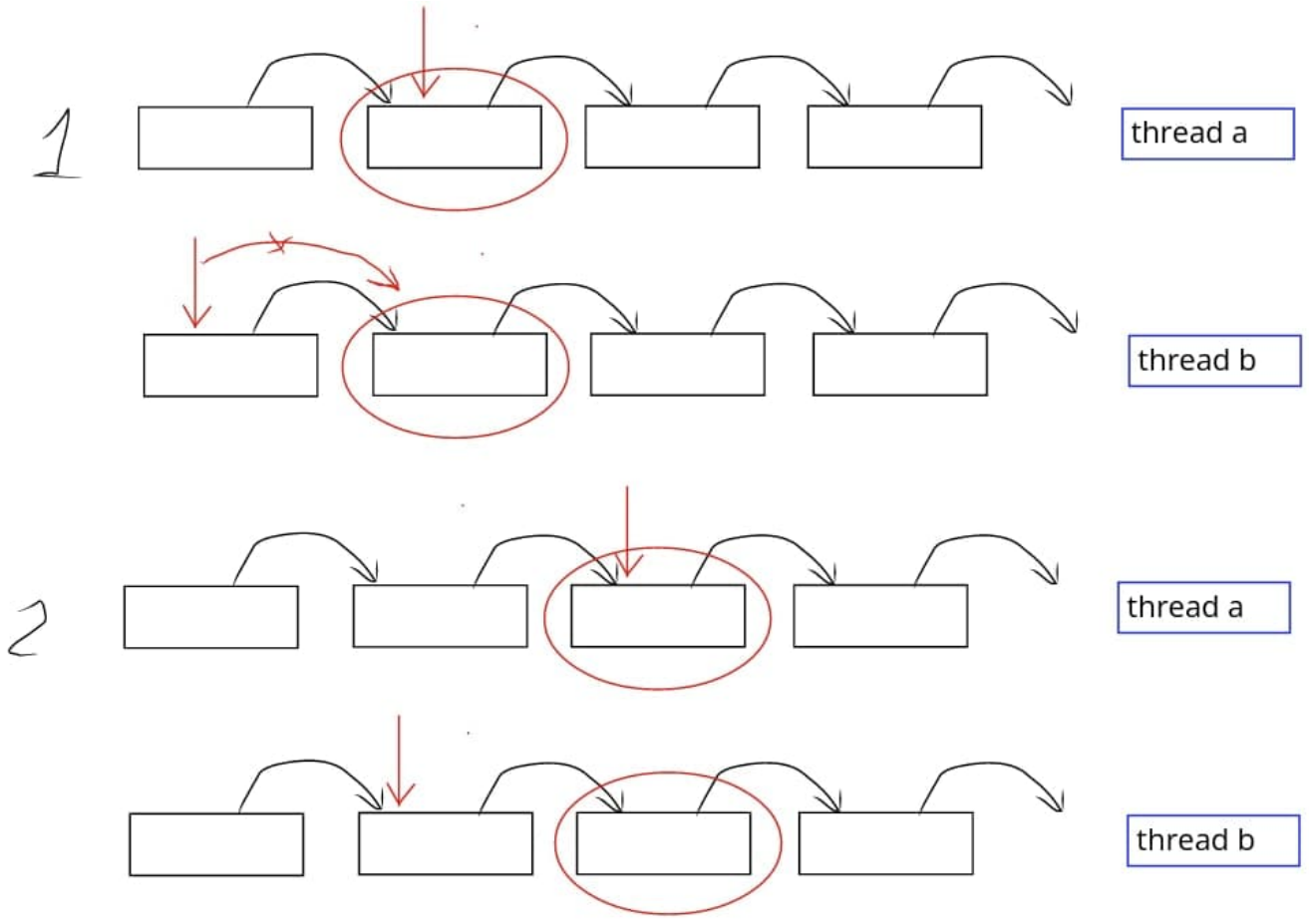
Coarse-grained synchronization

- Блокирование доступа ко всему контейнеру при чтении (поиске элемента)
- Блокирование доступа ко всему контейнеру при записи
- Хорошо работает при небольшом количестве параллельных читателей
- Наименее эффективный метод синхронизации

Fine-grained synchronization

- Блокирование доступа к каждому элементу списка по отдельности **по достижении**
- Позволяет итерироваться нескольким потокам одновременно
- Необходимо сначала получать доступ к очередному интересующему элементу, а затем освобождать доступ к текущему

Fine-grained synchronization



Optimistic synchronization

- **Проблема fine-grained sync.** Поток, который читает второй элемент, заблокирует поток, который читает пятый элемент
- **Решение.** Контейнер не блокируется при поиске нужного элемента при чтении
- После нахождения требуемого элемента проверяется производится блокирование элемента. Затем проверяется, изменился ли элемент между моментом обнаружения и блокировки. Если не изменился, чтение успешно завершается

Lazy synchronization

- Трудоёмкие операции выполняются в ленивом режиме. Конкретно: при удалении взводится флаг “удалён”, а физическое извлечение из памяти производится позже (после снятия блокировки)

Lock-free очереди

Lock-free и wait-free

- **Lock-free структура данных** гарантирует, что **некоторый** поток закончит выполнение операции над объектом за конечное число шагов *вне зависимости от результата работы других потоков* (даже если эти другие потоки завершились крахом)
- **Wait-free структура данных** гарантирует, что **все** потоки закончат выполнение операции над объектом за конечное число шагов

Lock-free. Как это работает?

- Отказ от примитивов синхронизации
- Использование атомарных операций
  1. CAS – compare and swap
     ```
     bool CAS(int *pAddr, int nExpected, int nNew)
     ```
  2. TAS – test and set
     ```
     int TAS(int *pAddr)
     ```
  3. FAA – fetch and add
     ```
     int FAA(int *pAddr, int nIncr)
     ```

ABA-проблема

- Поток 1: прочитал A
- Поток 2: заменил A на B
- Поток 2: заменил B на A

Возникает, когда первый поток держит указатель на удаляемый объект A, а в это время второй поток удаляет A, вставляет B, а затем опять возвращает A

ABA-проблема

```
NodeType * Pop() {
          Node * next ;
          do {
/*Pop1*/        NodeType * t = Top;
/*Pop2*/        if ( t == null )
/*Pop3*/             return null;
/*Pop4*/        next = t->Next;
/*Pop5*/    } while ( !CAS(&Top,t,next) );
/*Pop6*/    return t;
}
```

Thread X	Thread Y
Вызывает `Pop()`. Выполнена строка `Pop4`, значения переменных: `t == A` `next == A->next`	

	`NodeType * pTop = Pop()`
	`pTop` == вершине стека, то есть A
	`Pop()`
	`Push( pTop )`
	Теперь вершина стека – снова A
	Заметим, что `A->next` изменилось

Выполняется строка `Pop5`. CAS успешен, но полю `Top->next` присваивается значение, несуществующее в стеке, так как поток Y вытолкнул из стека A и `A->next`, а локальная переменная `next` хранит *старое* значение `A->next`	

Как бороться? Отложенное удаление

Особенности реализации lock-free очереди

- Управление двумя указателями с помощью одного CAS (dCAS существуют не во всех реализациях x86-64)

Источники

- M. Herlihy, N. Shavit, The Art of Multiprocessor Programming, Morgan Kaufmann,2008
- Э. Уильямс, Параллельное программирование на C++ в действии, ДМК Пресс,2012
- Атомарные примитивы (кликабельно)
- Lock-free стек (кликабельно)
- Lock-free очередь (кликабельно)