



4. 동기화 연산과 CAS

멀티쓰레드 프로그래밍
정내훈

목차

- 병렬 프로그램 작성시 주의점
 - 컴파일러
 - CPU
 - 상호배제의 구현
 - 메모리 일관성 문제
- Non-Blocking 프로그래밍
- 이론 시간 + CAS

이론 시간

- 현실의 공유 메모리는 Atomic하지 않다.
- 하지만 프로그래밍은 Atomic Memory를 가정해야 한다.
 - 사람의 머리의 한계...
- 기본적인 질문
 - 그러면 실제 메모리로 Atomic Memory를 제작할 수 있는 알고리즘이 존재하는가???? .
 - wait-free를 유지하면서

이론 시간

- 기본적인 질문

- 그러면 실제 메모리로 Atomic Memory를 만들 수 있는 알고리즘이 존재하는가???? .
- wait-free를 유지하면서

- 답 : 존재한다.

- 교재 참조
- 이 강의에서는 자세한 설명 생략

이론 시간

- 기본적인 질문 2

- 기존의 싱글쓰레드 자료구조도 Atomic Memory를 사용해서 멀티쓰레드 자료구조로 변환하는 것이 가능한가???? .

- wait-free를 유지하면서

- 답 : 불가능하다.

- 증명은 교재에, 그리 어렵지 않음.

- 다 다음 주

이론 시간

- 기본적인 질문 3
 - 일반적인 자료구조를 멀티쓰레드 자료구조로 변환하려면 무엇이 더 필요한가??
 - wait-free를 유지하면서
- 답 : CompareAndSet() 연산이면 충분하다.
 - 증명 : 교재에 있음
 - 나중에 같이 증명

동기화 연산들

● CAS(Compare And Set)연산

— CAS(메모리, expected, update)

- 메모리의 값이 expected면 update로 바꾸고 true를 리턴
- 메모리의 값이 expected가 아니면 false를 리턴

```
if (*메모리 == expected) {  
    *메모리 = update;  
    return true;  
} else return false;
```

이론 시간

- 기본적인 질문 4
 - 어떻게 CAS로 일반적인 자료구조를 멀티쓰레드 자료구조로 변환하는가??
 - wait-free를 유지하면서
- 답 : 알고리즘이 있다.
 - 모든 기존 자료구조를 Wait-free multithread로 변환해주는 알고리즘이 존재한다.

```
class CASConsensus {
private:
    int FIRST = -1;
    AtomicInt r = AtomicInteger(FIRST);

public:
    value decide(value v) {
        propose(v);
        int i = thread_id();
        if (r.CAS(FIRST, i)) return
proposed[i];
        else return proposed[r];
    }
}
```


이론 시간

● 변환 알고리즘

```
class LFUniversal {
private:
    Node *head[N], Node tail;
public:
    LFUniversal() {
        tail.seq = 1;
        for (int i=0;i<N;++i) head[i] = &tail;
    }
    Response apply(Invocation invoc) {
        int i = Thread_id();
        Node prefer = Node(invoc);
        while (prefer.seq == 0) {
            Node *before = tail.max(head);
            Node *after = before->decideNext->decide(&prefer);
            before->next = after; after->seq = before->seq + 1;
            head[i] = after;
        }
        SeqObject myObject;
        Node *current = tail.next;
        while (current != &prefer) {
            myObject.apply(current->invoc);
            current = current->next;
        }
        return myObject.apply(current->invoc);
    }
};
```

이론 시간

- XEON, E5-4620, 2.2GHz, 4CPU (32 core)
- STL의 queue를 무잠금, 무대기로 구현한 것과, CriticalSection으로 atomic하게 만든 것의 성능 비교.
 - Test조건 : 16384번 Enqueue, Dequeue (결과는 mili second)
 - EnterCriticalSection()을 사용한 것은 테스트 데이터의 크기가 100배
 - 따라서 100배 성능 차이 (4개 thread의 경우)

쓰레드 갯수	1	2	4	8	16	32	64
무잠금 만능	3749	1966	1697	1120	742	525	413
무대기 만능	3640	1964	1219	1136	577	599	448
EnterCritical	232	822	1160	1765	1914	4803	7665

- 그렇다면, EnterCriticalSection을 사용해야 하는가?
 - No : 멀티쓰레드에서의 성능향상이 없다.

이론 시간

- 결론

- CPU가 제공하는 CAS를 사용하면 모든 싱글쓰레드 알고리즘을 Lock-free한 멀티쓰레드 알고리즘으로 변환할 수 있다.

- 현실

- 비효율적이다.

이론 시간

- 대안

- 자료구조에 맞추어 최적화된 lock-free 알고리즘을 일일이 개발해야 한다.
 - 멀티쓰레드 프로그램은 힘들다. => 연봉이 높다.

- 다른 데서 구해 쓸 수도 있다.

- Intel TBB, VS2015 PPL
- 인터넷
- 하지만 범용적일 수록 성능이 떨어진다.
자신에게 딱 맞는 것을 만드는 것이 좋다.

이론 시간

● 정리

- 성능 향상을 위해 멀티쓰레드 프로그래밍을 해야 한다.
 - Data Race가 발생한다.
- Data Race를 최소화 해야 한다.
 - Data race는 모든 오 동작의 근원
- 어쩔 수 없이 남은 Data Race를 Lock 없이 해결해야 한다.
 - Data race를 모두 없앨 수 없다.
 - Lock으로 해결하는 것은 성능 페널티가 크다
- Data Race는 공유 객체 때문에 발생한다.
 - 객체 : int, float, struct, class, container ...
- Non-Blocking 멀티쓰레드 객체가 필요하다.

이론 시간

- 정리

- CAS를 사용하면 모든 일반 자료구조를 Multi-Thread Lock-Free 자료구조로 변환 할 수 있다.
- 효율적인 변환은 상당한 프로그래밍 노력을 필요로 한다.
 - 지금부터 경험해 볼 것이다.

CAS

- 실제 CAS의 구현 : C++11
 - Atomic_compare_and_set은 없고
atomic_compare_exchange를 대신 사용

```
bool CAS(atomic_int *addr, int expected, int new_val)
{
    return atomic_compare_exchange_strong(
        addr, &expected, new_val);
}
```

```
bool CAS(volatile int *addr, int expected, int new_val)
{
    return atomic_compare_exchange_strong(
        reinterpret_cast<volatile atomic_int *>(addr),
        &expected, new_val);
}
```

CAS

● Windows API

—API

```
#include <windows.h>

LONG __cdecl InterlockedCompareExchange(
    __inout LONG volatile *Destination,
    __in LONG Exchange,
    __in LONG Comparand );
```

—CAS의 구현

```
Bool CAS(LONG volatile *Addr, LONG Old, LONG New)
{
    LONG temp = InterlockedCompareExchange(Addr, New, Old);
    return temp == Old;
}
```


CAS

- LINUX API

```
#include <stdbool.h>

bool CAS(int *ptr, int oldval, int newval)
{
    return __sync_bool_compare_and_swap(ptr, oldval, newval);
}
```

CAS

● 실습 #18 :

- CAS를 사용하여 Lock()과 Unlock()을 구현한 후 1억 만들기 프로그램을 실행해 보자.
- 1, 2, 4, 8개 스레드에서의 속도비교를 해보자.
- 힌트
 - 0으로 초기화 되어 있는 공유 메모리 X가 있을 때. 모든 스레드에서 “CAS (&X, 0, 1)”을 실행 시키면 오직 하나의 스레드에서만 리턴값이 true가 된다.
- 주의 사항
 - sum을 atomic <int>로 선언하지 말 것

CAS

- 숙제 2 :
 - CAS lock의 구현
 - 제출물
 - .cpp 파일
 - 실행속도 비교표 (no Lock, mutex 사용, 빵집 알고리즘, CAS 사용)
 - CPU의 종류 (모델명, 코어 개수, 클럭)
 - 실행시간이 30분 이상 걸리거나 컴퓨터가 버벅거리면 속도 측정 생략 가능
 - 이러한 이상 현상이 생기는 원인에 대한 예측
 - 제출 : nhjung@kpu.ac.kr
 - 제목 : [2019 멀티코어프로그래밍 숙제 2] 학번, 이름
 - 10월 1일 화요일 오전 10시까지 제출

CAS

- 실제 HW (x86 계열 CPU) 구현
 - LOCK prefix와 CMPXCHG 명령어로 구현
 - lock cmpxchg [A], b 기계어 명령어로 구현
 - eax에 비교값, A에 주소, b에 넣을 값

```
if (eax == [a]) {  
    ZF = true;  
    [a] = b;  
} else {  
    ZF = false;  
    eax = [a];  
}
```

CAS

● 실제 HW (ARM) 구현

```
static inline AtomicWord CompareAndSwap(volatile AtomicWord* ptr,
                                         AtomicWord old_value,
                                         AtomicWord new_value)
{
    uint32_t old, tmp;
    __asm__ __volatile__ ("1: @ atomic cmpxchg\n"
                          "mov %0, #0\n"
                          "ldrex %1, [%2]\n"
                          "teq %1, %3\n"
                          "strexeq %0, %4, [%2]\n"
                          "teq %0, #0\n"
                          "bne 1b"
                          : "=&r" (tmp), "=&r" (old)
                          : "r" (ptr), "Ir" (old_value),
                            "r" (new_value)
                          : "cc");
    return old;
}
```

정리

- 빠르고 정확한 병렬 프로그램을 작성하는 것은 어렵다.
 - 포기하라.
- 포기하는 것이 불가능하면 주의해서 프로그래밍하라.
 - atomic 변수나 mfence의 도움 필요
- 쓰레드 간의 동기화를 위한 자료구조가 필요하다.
 - Non-Blocking자료구조가 필수이다.
 - Non-Blocking자료구조에는 CAS가 필수이다.

다음 시간

- Non_blocking 자료구조 맛보기
 - 링크드 리스트로 구현된 Set
- atomic memory로 wait-free 자료구조를 만들지 못함을 증명

질문???
