Programowanie współbieżne

Lista zadań nr 3

Na ćwiczenia 28. października 2022

Uwaga: W poniższych zadaniach tam, gdzie to możliwe przeprowadź formalne rozumowania z użyciem relacji →.

Zadanie 1. Poniższy algorytm ma w zamierzeniu implementować interfejs **Lock** dla dowolnej liczby n wątków. Czy ten algorytm spełnia warunek a) wzajemnego wykluczania, b) niezagłodzenia, c) niezakleszczenia?

```
class Foo implements Lock {
    private int turn;
    private boolean busy = false;
    public void lock() {
        int me = ThreadID.get();
        do {
            do {
                turn = me;
            } while (busy);
            busy = true;
        } while (turn != me);
    }
    public void unlock() {
        busy = false;
    }
}
```

Zadanie 2. Rozważmy wariant algorytmu Petersena, w którym metodę **unlock()** zmieniliśmy na poniższą. Czy ten algorytm spełnia warunek a) niezakleszczenia, b) niezagłodzenia?

```
public void unlock() {
    int i = ThreadID.get(); /*returns 0 or 1*/
    flag[i] = false;
    int j = 1 - i;
    while (flag[j] == true) {}
}
```

Zadanie 3. Rozważmy algorytm tree-lock będący generalizacją algorytmu Petersena dla dowolnej liczby n wątków, będącej potęgą 2. Tworzymy pełne drzewo binarne o n/2 liściach, w każdym węźle drzewa umieszczamy zamek obsługiwany zwykłym algorytmem Petersena. Wątki przydzielamy po dwa do każdego liścia drzewa. W metodzie **lock()** algorytmu tree-lock wątek

musi zająć każdy zamek na drodze od swojego liścia do korzenia drzewa. W metodzie **unlock()** algorytm zwalnia wszystkie zajęte wcześniej zamki, w kolejności od korzenia do liścia. Czy ten algorytm spełnia warunek a) wzajemnego wykluczania, b) niezagłodzenia, c) niezakleszczenia? Każdy z zamków traktuje jeden z rywalizujących o niego wątków jako wątek o numerze 0 a drugi jako wątek 1.

Zadanie 4.

1. Czy istnieje taka liczba r, być może zależna od n, że algorytm tree-lock spełnia własność r-ograniczonego czekania (ang. *r-Bounded Waiting*)? Jako sekcję wejściową (ang. *doorway section*) algorytmu przyjmij fragment kodu przed pętlą while zamka w odpowiednim liściu.
2. Pokaż, być może modyfikując nieco oryginalny algorytm, że założenie o numerach wątków w poprzednim zadaniu może być łatwo usunięte.

Zadanie 5. W dobrze zaprojektowanym programie wielowątkowym rywalizacja o zamki powinna być niewielka. Najbardziej praktyczną miarą wydajności algorytmu implementującego zamek jest więc liczba kroków potrzebna do zajęcia wolnego zamku, jeśli tylko jeden wątek się o to ubiega. Poniższy kod jest propozycją uniwersalnego wrappera, który ma przekształcić dowolny zamek na zamek wykonujący tylko stałą liczbę kroków w opisanym przypadku. Czy ten algorytm spełnia warunek a) wzajemnego wykluczania, b) niezagłodzenia, c) niezakleszczenia? Załóż, że oryginalny zamek spełnia te warunki.

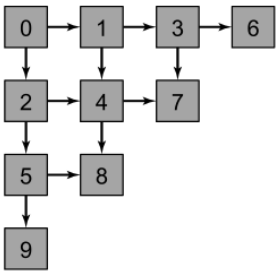
```
class FastPath implements Lock {
    private Lock lock;
    private int x, y = -1;
    public void lock() {
        int i = ThreadID.get();
        x = i;                      // I'm here
        while (y != -1) {}          // is the lock free?
        y = i;                      // me again?
        if (x != i)                 // Am I still here?
            lock.lock();            // slow path
    }

    public void unlock() {
        y = -1;
        lock.unlock();
    }
}
```

Zadanie 6. Pewna liczba n wątków wywołuje współbieżnie metodę **visit()** klasy Bouncer podanej poniżej. Pokaż, że a) co najwyżej jeden wątek otrzyma jako wartość zwracaną STOP, b) co

najwyżej n-1 wątków otrzyma wartość DOWN, c) co najwyżej n-1 wątków otrzyma wartość RIGHT.

```
class Bouncer {
    public static final int DOWN = 0;
    public static final int RIGHT = 1;
    public static final int STOP = 2;
    private boolean goRight = false;
    private int last = -1;
    int visit() {
        int i = ThreadID.get();
        last = i;
        if (goRight)
            return RIGHT;
        goRight = true;
        if (last == i)
            return STOP;
        else
            return DOWN;
    }
}
```

Zadanie 7. Czasami zachodzi potrzeba przypisania wątkom unikalnych identyfikatorów w postaci niedużych liczb całkowitych. W tym celu obiektom klasy Bouncer nadaje się numery i ustawia tworząc graf jak na rysunku poniżej.



Każdy z n wątków współbieżnie wykonuje następującą procedurę. Najpierw odwiedza obiekt 0 (wywołuje jego funkcję visit()). Jeśli otrzyma wynik STOP to na tym kończy, jeśli RIGHT to odwiedza obiekt 1, jeśli DOWN to odwiedza 2. W ogólności, będąc w dowolnym obiekcie wątek kończy, idzie na prawo lub na dół w zależności od wartości zwróconej przez visit(). Każdy wątek otrzymuje identyfikator tego obiektu, w którym zakończył działanie.

1. Pokaż, że to w istocie nastąpi, tzn. że każdy wątek otrzyma kiedyś wynik STOP. Załóż, że graf jest nieograniczony.
2. Pokaż, że liczbę wierzchołków grafu można ograniczyć. Znajdź ich dokładną liczbę.

Zadanie 8. (J. Burns, L. Lamport). Istnieje niezakleszczający algorytm implementujący zamek, działający dla n wątków i wykorzystujący dokładnie n bitów współdzielonej pamięci. Pokaż, że poniższa implementacja spełnia te warunki.

```
class OneBit implements Lock {
    private boolean[] flag;

    public OneBit (int n) {
        flag = new boolean[n]; // all initially false
    }

    public void lock() {
        int i = ThreadID.get(); // ThreadID.get() returns 0,1,..,n-1
        do {
            flag[i] = true;
            for (int j = 0; j < i; j++) {
                if (flag[j] == true) {
                    flag[i] = false;
                    while (flag[j] == true) {} // wait until flag[j] == false
                    break;
                }
            }
        } while (flag[i] == false);
        for (int j = i+1; j < n; j++) {
            while (flag[j] == true) {} // wait until flag[j] == false
        }
    }

    public void unlock() {
        flag[ThreadID.get()] = false;
    }
}
```

Zadanie 9. Poprzednie zadanie pokazało, że n współdzielonych bitów *wystarczy* do implementacji zamka dla n wątków. Okazuje się, że to ograniczenie jest *dokładne*, czyli że n współdzielonych bitów jest *koniecznych* do rozwiązania tego problemu. Udowodnij to twierdzenie.

Wskazówka: Rozdział 2.9 w "The Art of Multiprocessor Programming" 2e.

To twierdzenie ma ważną implikację: zamki oparte wyłącznie na zapisie/odczycie współdzielonej pamięci są nieefektywne, dlatego potrzebne jest wsparcie ze strony sprzętu i systemu operacyjnego.