Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Лабораторная работа № 2

Дисциплина Математические основы верификации ПО

Тема Моделирование гонки процессов

Студент Брянская Е.В.

Группа ИУ7-41М

Оценка (баллы) _____

Преподаватель Кузнецова О.В.

Москва
2024 г

Задание: необходимо описать взаимодействие двух процессов, работающих с одними данными. Затем место возникновения гонки необходимо дополнить мьютексами.

Фрагмент кода

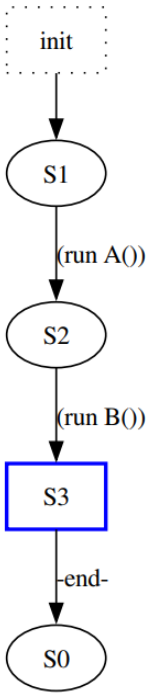
```
int x = 1024;

proctype A() {
    int tmp
    tmp = x
    tmp++
    x = tmp

    printf("x=%d\n", x)
}

proctype B() {
    int tmp
    tmp = x
    tmp--
    x = tmp

    printf("x=%d\n", x)
}

init {
    run A()
    run B()
}
```

В программе запускаются два процесса, изменяющие значение глобальной переменной x. Один из процессов должен увеличивать на 1 значение, другой уменьшать.

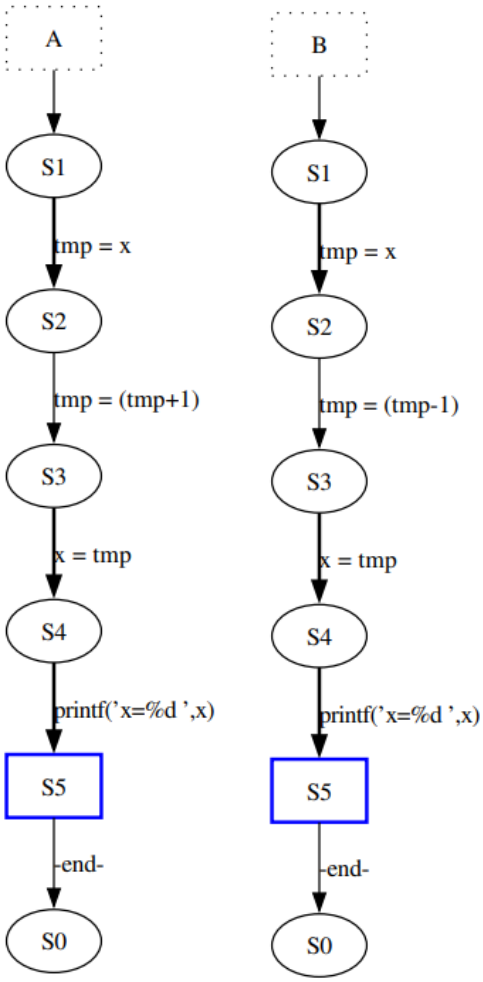
Ожидаемый конечный результат выполнения программы без возникновения гонки – 1024.

Граф переходов между состояниями модели

Общий граф переходов выглядит следующим образом:



Детализированный граф:



Демонстрация работы программы

```
$ pc_spin651/spin.exe -p labs/lab02/lab02.pml
  0:    proc  - (:root:) creates proc  0 (:init:)
Starting A with pid 1
  1:    proc  0 (:init::1) creates proc  1 (A)
  1:    proc  0 (:init::1) labs/lab02/lab02.pml:22 (state 1)    [(run A())]
  2:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:5 (state 1)  [tmp = x]
Starting B with pid 2
  3:    proc  0 (:init::1) creates proc  2 (B)
  3:    proc  0 (:init::1) labs/lab02/lab02.pml:23 (state 2)    [(run B())]
  4:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:14 (state 1) [tmp = x]
  5:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:6 (state 2)  [tmp = (tmp+1)]
  6:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:7 (state 3)  [x = tmp]
          x=1025
  7:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:9 (state 4)  [printf('x=%d\\n',x)]
  8:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:15 (state 2) [tmp = (tmp-1)]
  9:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:16 (state 3) [x = tmp]
             x=1023
 10:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:18 (state 4) [printf('x=%d\\n',x)]
 10:    proc  2 (B:1)                terminates
 10:    proc  1 (A:1)             terminates
 10:    proc  0 (:init::1)       terminates
3 processes created
```

По логу видно, что оба процесса одновременно сохранили значение переменной x в промежуточную переменную tmp и далее выполнили необходимые операции, записав итоговый результат в глобальную переменную x. Таким образом, был затёрт промежуточный результат, который никак не был использован вторым процессом.

Итого, можно сделать вывод о наличия гонки в системе.

Модель с использованием мьютекса

Решить проблему с гонкой может использование мьютексов, которые предотвращают одновременное вхождение процессов в критическую секцию.

Для этого в коде была заведена глобальная переменная mutex, которая увеличивается на 1 в случае, если процесс находится в критической секции и уменьшает на 1 в случае её освобождения.

```
int x = 1024, mutex = 0;

proctype A() {
   atomic {
      (mutex == 0) -> mutex++
    }

      int tmp
      tmp = x
      tmp++
      x = tmp

      printf("x=%d\n", x)

      mutex--
}
```

```
proctype B() {
   atomic {
      (mutex == 0) -> mutex++
   }

      int tmp
      tmp = x
      tmp--
      x = tmp

      printf("x=%d\n", x)

      mutex--
}

init {
   run A()
   run B()
}
```

Демонстрация работы программы

1

```
$ pc_spin651/spin.exe -p labs/lab02/lab02.pml
  0:    proc  - (:root:) creates proc  0 (:init:)
Starting A with pid 1
  1:    proc  0 (:init::1) creates proc  1 (A)
  1:    proc  0 (:init::1) labs/lab02/lab02.pml:34 (state 1)    [(run A())]
Starting B with pid 2
  2:    proc  0 (:init::1) creates proc  2 (B)
  2:    proc  0 (:init::1) labs/lab02/lab02.pml:35 (state 2)    [(run B())]
  3:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:20 (state 1) [((mutex==0))]
  4:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:20 (state 2) [mutex = (mutex+1)]
  5:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:23 (state 3) [tmp = 0]
  6:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:23 (state 4) [tmp = x]
  7:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:24 (state 5) [tmp = (tmp-1)]
  8:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:25 (state 6) [x = tmp]
          x=1023
  9:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:27 (state 7) [printf('x=%d\\n',x)]
 10:    proc  2 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:29 (state 8) [mutex = (mutex-1)]
 10:    proc  2 (B:1)                terminates
 11:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:5 (state 1)  [((mutex==0))]
 12:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:5 (state 2)  [mutex = (mutex+1)]
 13:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:8 (state 3)  [tmp = 0]
 14:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:8 (state 4)  [tmp = x]
 15:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:9 (state 5)  [tmp = (tmp+1)]
 16:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:10 (state 6) [x = tmp]
          x=1024
 17:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:12 (state 7) [printf('x=%d\\n',x)]
 18:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:14 (state 8) [mutex = (mutex-1)]
 18:    proc  1 (A:1)           terminates
 18:    proc  0 (:init::1)       terminates
3 processes created
```

2

```
$ pc_spin651/spin.exe -p labs/lab02/lab02.pml
  0:    proc  - (:root:) creates proc  0 (:init:)
Starting A with pid 1
  1:    proc  0 (:init::1) creates proc  1 (A)
  1:    proc  0 (:init::1) labs/lab02/lab02.pml:34 (state 1)    [(run A())]
  2:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:5 (state 1)  [((mutex==0))]
  3:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:5 (state 2)  [mutex = (mutex+1)]
  4:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:8 (state 3)  [tmp = 0]
  5:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:8 (state 4)  [tmp = x]
  6:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:9 (state 5)  [tmp = (tmp+1)]
  7:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:10 (state 6) [x = tmp]
          x=1025
```

```
  8:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:12 (state 7) [printf('x=%d\\n',x)]
  9:    proc  1 (A:1) labs/lab02/lab02.pml:14 (state 8) [mutex = (mutex-1)]
  9:    proc  1 (A:1)           terminates
Starting B with pid 1
 10:    proc  0 (:init::1) creates proc  1 (B)
 10:    proc  0 (:init::1) labs/lab02/lab02.pml:35 (state 2)    [(run B())]
 11:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:20 (state 1) [((mutex==0))]
 12:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:20 (state 2) [mutex = (mutex+1)]
 13:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:23 (state 3) [tmp = 0]
 14:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:23 (state 4) [tmp = x]
 15:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:24 (state 5) [tmp = (tmp-1)]
 16:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:25 (state 6) [x = tmp]
          x=1024
 17:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:27 (state 7) [printf('x=%d\\n',x)]
 18:    proc  1 (B:1) labs/lab02/lab02.pml:29 (state 8) [mutex = (mutex-1)]
 18:    proc  1 (B:1)           terminates
 18:    proc  0 (:init::1)       terminates
3 processes created
```

Выше приведён лог программы с использованием мьютексов. Приведено оба случая выполнения двух процессов:

1. сначала B, потом A
2. сначала A, потом B

Вывод

В результате выполнения работы был рассмотрен случай гонки и способ её предотвращения с помощью мьютексов.