Bitte bearbeiten Sie die Aufgaben auf Ihrem Notebook in der virtuellen Linux-Maschine (Debian Linux, aus der Datei `SWF-Debian-2021.ova` für VirtualBox oder `SWF-Debian-2018.ova` für VMware). Hinweise zur Einrichtung der VM finden Sie im Dokument `swf-b1-ss2021-u0.pdf`.

---

2. Worker-Threads vs. Worker-Prozesse

Betrachten Sie die Programme `worker-threads.c` (Listing 1) und `worker-prozesse.c` (Listing 2), die Sie auch von der Kurswebseite herunterladen können.

```
1  // Listing 1: worker-threads.c
2  #include <pthread.h>  // pthread_*
3  #include <stdio.h>    // printf
4  #include <unistd.h>   // sleep
5
6  #define MAX_WORKERS 10
7
8  int i;
9
10 void *worker (void *args) {
11   int i;
12   sleep (1);
13   char c = (int)args;
14   for (i=0; i<10; i++) {
15     printf ("%c", c); fflush (0);
16     sched_yield ();
17   }
18   return NULL;
19 }
20
21 int main () {
22   printf ("--Start--\n");
23   pthread_t threads[MAX_WORKERS];
24   int i;
25
26   // Threads erzeugen
27   for (i=0; i<MAX_WORKERS; i++) {
28     pthread_create (&threads[i],
29                     NULL,
30                     worker,
31                     (void*)(i+'A'));
32   }
33
34
35
36   // auf Threads warten
37   for (i=0; i<MAX_WORKERS; i++)
38     pthread_join (threads[i], NULL);
39
40   printf ("\n--Fertig--\n");
41   return 0;
42 }
```

```
1  // Listing 2: worker-prozesse.c
2
3  #include <stdio.h>    // printf
4  #include <unistd.h>   // sleep
5
6  #define MAX_WORKERS 10
7
8  int i;
9
10 void *worker (void *args) {
11   int i;
12   sleep (1);
13   char c = (int)args;
14   for (i=0; i<10; i++) {
15     printf ("%c", c); fflush (0);
16     sched_yield ();
17   }
18   return NULL;
19 }
20
21 int main () {
22   printf ("--Start--\n");
23   int pids[MAX_WORKERS];
24   int i;
25
26   // Kindprozesse erzeugen
27   for (i=0; i<MAX_WORKERS; i++) {
28     pids[i] = fork ();
29     if (pids[i] == 0) {
30       // Sohn...
31       worker ((void*)(i+'A'));
32       return 0;
33     }
34   }
35
36   // auf Kindprozesse warten
37   for (i=0; i<MAX_WORKERS; i++)
38     waitpid (pids[i], NULL, 0);
39
40   printf ("\n--Fertig--\n");
41   return 0;
42 }
```

a) Lesen Sie zunächst die beiden Programme und überlegen Sie, welches Verhalten bei der Ausführung zu erwarten ist. (Zur Erklärung von zwei vermutlich unbekannten Funktionen: Die Funktion `sched_yield()` in Zeile 16 aktiviert den Scheduler, der aufrufende Prozess bzw. Thread gibt damit freiwillig die CPU ab; die Funktion `fflush()` in Zeile 15 sorgt dafür, dass die mit `printf()` ausgegebenen Zeichen sofort im Terminal erscheinen und nicht gepuffert werden.)

b) Laden Sie in einem Terminalfenster mit

```
wget swf.hgesser.de/vb-b1-ss2017/prakt/worker.zip
```

die beiden C-Quellcode-Dateien (die von der Kursseite auf swf.hgesser.de aus verlinkt sind) in der virtuellen Linux-Maschine herunter, entpacken Sie das Archiv mit

```
unzip worker.zip
```

und übersetzen Sie die Programme mit den folgenden Befehlen:

```
gcc -pthread -o worker-threads worker-threads.c
gcc -o worker-prozesse worker-prozesse.c
```

Führen Sie dann beide Programme mehrfach aus. (Dem Programmnamen stellen Sie immer `./` voran, damit die Shell das Programm im aktuellen Ordner findet.) Sie sollten Ausgaben erhalten, die den folgenden ähneln:

```
student@swfdebian:~/c$ ./worker-threads
--Start--
DEFGHIJCBCBFIGHJECBIFHGJECBIFGHJEBCFIHJGEBCFIHJGEBCFIHJGEBCFIHJGEBCFIHJGEBCFIHJGEDDDDDDDDDAAAAAAAAAA
--Fertig--
student@swfdebian:~/c$ ./worker-prozesse
--Start--
DEFGHIJCCIGJFHECIGFJHECIGFJHECIFGJHECIGFJHECFIGJHECFGIJHECFIGJHECFGIJHEDDDDDDDDDBBBBBBBBBBAAAAAAAAAA
--Fertig--
```

(Ziehen Sie das Terminalfenster am besten so breit, dass die Ausgabe zwischen `--Start--` und `--Fertig--` ohne Zeilenumbruch angezeigt wird.)

c) Kommentieren Sie in beiden Quellcode-Dateien die erste Zeile aus der Funktion `worker()` (Zeile 11) durch Voranstellen von `//` aus. Dann ist `i` nicht länger eine lokale Variable der Funktion, und die `for`-Schleife verwendet die globale Variable `i` (aus Zeile 8) als Schleifenvariable.

Übersetzen Sie beide Programme nach dieser Änderung neu und führen Sie mehrere Testläufe durch.

– Welche Veränderung können Sie beobachten,

– und was verursacht diese Veränderung?

d) Passen Sie in beiden Programmen die Funktion `worker()` an, indem Sie vor dem `return`-Befehl in Zeile 18 noch einen Aufruf `sleep(30);` einbauen (welcher die Funktion 30 Sekunden warten lässt). Kompilieren Sie dann beide Programme neu, starten Sie diese und betrachten Sie in einem zweiten Terminalfenster die Prozessliste. Für die Prozess-Variante (`worker-prozesse`) verwenden Sie dazu die Kommandos

```
ps auxw | egrep "USER|worker-"
```

und

```
pstree -p | grep "worker-"
```

Bei der Thread-Variante (`worker-threads`) geben Sie den Befehl

```
ps -eLf | egrep "UID|worker-"
```

ein, um auch die Threads zu sehen. (Die `grep`- bzw. `egrep`-Befehle, die über `|` an die Aufrufe von `ps` bzw. `pstree` angehängt sind, filtern die Ausgabe und lassen nur die Zeilen erscheinen, die hier von Interesse sind.) Was bedeuten bei den Threads die Angaben in den Spalten `PID` und `LWP`? Mit `man ps` und `man pstree` rufen Sie die eingebaute Dokumentation zu `ps` und `pstree` auf.

e) Lassen Sie mit `ldd worker-prozesse` bzw. `ldd worker-threads` die Listen der von den Programmen verwendeten dynamischen Bibliotheken anzeigen – an der Ausgabe können Sie schon erkennen, welches davon multithreaded ist und welches nicht.