FILE SERVER

CONCURRENT PROGRAMMING IN C

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
STUDENT: RAFFAEL SANTSCHI
BETREUER: NICO SCHOTTELIUS
ABGABE: 22.06.2014

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG

AUSGANGSLAGE

Es soll ein File-Server in C programmiert werden. Dieser soll mittels vorgegebenen Protokoll Files erstellen, bearbeiten, lesen und löschen können. Zusätzlich sollen auch eine Liste aller Files angezeigt werden können.

LERNINHALTE

Selbstständige Definition des Funktionsumfangs des Programmes unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen im Seminar.
Konzeption und Entwicklung eines Programms, das gleichzeitig auf einen Speicherbereich zugreift.
Die Implementation erfolgt mithilfe von Threads oder Forks und Shared Memory (SHM).

VORGABEN

- Dateien sind nur im Speicher vorhanden
- Das echte Dateisystem darf NICHT benutzt werden
- Mehrere gleichzeitige Clients
- Lock auf Dateiebene (kein Globaler Lock)
- Debug-Ausgaben von Client/Server auf stderr

PROTOKOLL

List

```
Client sendet:
    LIST\n

Server antwortet:
    ACK NUM_FILES\n
    FILENAME\n
    FILENAME\n
    FILENAME\n
    ...

Server Beispiel:
    ACK 3
    abc
    def
    aei
```

Create

```
Client sendet:
    CREATE FILENAME LENGTH\n
    CONTENT

Client Beispiel:
    CREATE abc 6\n
    Hello\n
```

```
Server antwortet:
    FILEEXISTS\n
oder
    FILECREATED\n
```

Read

```
Client sendet:
    READ FILENAME\n

Client Beispiel:
    READ abc\n

Server antwortet:
    NOSUCHFILE\n
oder
    FILECONTENT FILENAME LENGTH\n
    CONTENT

Server Beispiel:
    FILECONTENT abc 5\n
    1234\n
```

Update

```
Client sendet:
    UPDATE FILENAME LENGTH\n
    CONTENT

Client Beispiel:
    UPDATE abc 3\n
    12\n

Server antwortet:
    NOSUCHFILE\n
oder
    UPDATED\n
```

Delete

```
Client sendet:
    DELETE FILENAME\n

Client Beispiel:
    DELETE abc\n

Server antwortet:
    NOSUCHFILE\n
oder
    DELETED\n
```

MANUAL

BENUTZUNG

Wenn man im Hauptverzeichnis ist, gibt es ein Makefile. Man kann mit „make“ das run Executable und test Executable erstellen lassen. Danach kann man mit „./run“ den Server starten, es gibt auch die Möglichkeit dem Server einen speziellen Port mit zu geben „./run 8000“. Der Default Port ist 7000. Wenn der Server läuft, kann man den Test-Client starten „./test“, dieser erstellt 100 Files, verändert sie, liesst sie aus, hold sich eine Liste der Files und löscht sie danach wieder. Jede Aktion beim Client ist in einem eigenen Thread um die Concurrency zu testen.

VERZEICHNISSTRUKTUR

Im Hauptverzeichnis gibt es zwei Ordner Client und Server. Im Client Verzeichnis ist ein Java Projekt drin, welches einen Client für den File-Server implementiert. Das Server Verzeichnis ist erneut unterteilt in folgende Verzeichnisse und Dateien:

- include (Alle header files)
-- …
- lib
-- file-linked-list.c (Concurrent Linked List für Files mit create, update, read, delete und list)
-- logger.c (Logging Funktionen finest, debug, info, warn und error)
-- regex-handle.c (Regex Funktionen compile und match)
-- serverlib.c (Error Handling)
-- thread-linked-list.c (Linked List für Threads mit add und cleanup)
-- transmission-protocols.c (Ein-/Auslesen von String über das TCP/IP und Protokoll handling)
-- util.c (Helfer Datei von Reto Hablützel damit Segmentation Faults einen Stacktrace ausgeben)
-src
-- server.c (TCP/IP Verbindung aufbau und Worker Thread starten)
-tests
-- client-test.c (Client welcher über TCP/IP Files erstellt, ändert, liesst und löscht)
-- concurrent-load-test.c (Concurrent Tests ohne TCP/IP)
-- file-linked-list-test.c (Unit Tests für Concurrent Linked List)
-- load-test.c (Load Test für den Server, viele Lese/Schreib/Lösch Vorgänge produzieren)
-- logger-test.c (Unit Tests für Logger)
-- message-creator.c (Helfer Datei, um gemäss Protokol korrekte Messages zu schreiben)
-- server-test.c (Unit tests für CRUD und List Funktionen auch mit Fehlerfällen)
-- tester.c (Main Datei für CUNIT Tests)
-- thread-llinked-list-test.c (Unit Tests für Thread Linked List)

TESTING

Ich habe zuerst mit dem Test Client angefangen, da ich mich in C noch nicht so zu Recht fand, startete ich in Java, einen grossen Vorteil, denn ich mir erhoffte, war die vereinfachte Multi-Threading Funktion. Ich schrieb einen Test Client, welcher das Protokoll beherrschte und über TCP/IP kommuniziert. Ich konnte mit dem Java Client auch sehr schöne Last Tests fahren, aber es wahr etwas mühsam immer hin und her zu switchen und deshalb suchte ich nach einer anderen Lösung und fand dann CUnit. Der Vorteil an CUnit war, dass ich auch einzelnen Funktionen in C testen konnte. Ich erstellte Unit Tests für meine Funktionen und wollte dann aber schon bald Multi-Threaded Testläufe machen, was mich dann an die Grenzen von CUnit brachte. Ich habe dann eigene Test Files geschreiben (concurrent-load-test.c und client-test.c), diese verfügen über eine main-Methode, das heisst man kann sie ohne Framework starten. Sie führen diverse Aufrufe auf dem Server aus und jeder einzelne Aufruf in einem eigenen Thread. Die Tests kann man mittels „make test-concurrent“ oder „make && ../test“ laufen lassen.

LÖSUNG

VERWENDUNG VON FREMDEN CODE

Einige Funktionen in transmission-protocols.c und serverlib.c wurden im Modul Systemsoftware von Karl Brodowsky zur Verfügung gestellt und in diesem Projekt verwendet. Die Datei „util.c“ wurde komplett von Reto Hablützel übernommen, sie wurde von ihm empfohlen, damit man Segmentation Faults besser beheben kann.

ANSATZ

DYNAMISCHE LISTE

Schon früh war mir klar, dass für eine dynamische Liste von Files in C wahrscheinlich eine Linked List das Beste wäre, da man nicht wie in Java ein ArrayList hat, welche sich dynamisch vergrössert. Durch Algorithmen und Datenstrukturen habe ich das Prinzip der Linked List kennen gelernt und ein erster Entwurf stand ziemlich schnell. Es war für mich jedoch noch etwas schwierig dies in C zu implementieren, ich bin eher in der Java Welt zu Hause und mein C Wissen war relativ beschränkt. Die Erweiterungen und Anpassungen bis die Linked List zu eine Concurrent Linked List wurde, war ein iteratives Vorgehen und hat mich sehr viel Zeit und Überlegungsarbeit gekostet.

PROTOKOLL

Die Eingaben kommen mit einem vorgegebenen Schema, somit kann man den Input einfach parsen und man erhält die nötigen Elemente. Doch wie man einen String in C parsed, war mir bis anhin nicht bekannt. Ich lass diverse Artikel im Internet und kam dann auf die Regex Implementation in C (Using regular expressions in C). Mit einer für mich etwas speziellen Regex Notation habe ich es dann geschafft, die nötigen Elemente aus dem String auszulesen.

LOGGING

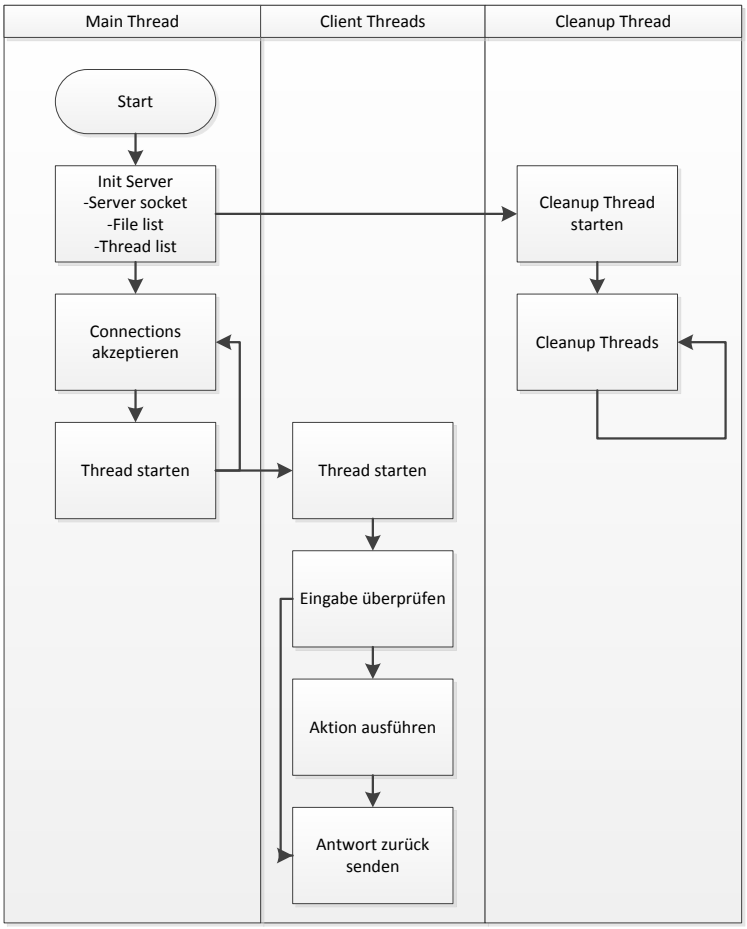
Es war mir schnell einmal klar, dass ich verschiedene Logging Stufen brauchen werden, welche man dann beliebig setzen kann. Ich implementierte zuerst die Stufen Debug, Info, Warning und Error gegen den Schluss, als ich nicht mehr alle Pointer Ausgaben in einer Debug Phase sehen wollte, kam noch die Stufe Finest dazu. Bei den Log Funktionen kann man beliebig viele Elemente mit geben, welche dann in das Template eingefügt werden, wie man dies zum Beispiel von printf kennt. Zur besseren Übersicht wollte ich noch eine Hierarchie-Stufe einbauen, damit nicht zu viel Zeit mit der Implementation verliere, wird einfach ein Integer für die Tiefe mitgegeben. Im folgenden Beispiel sieht man zwei Log Einträge mit verschiedener Hierarchie-Stufe und Log Level und die Programmstücke dazu:

```
140316902713152 Mon Jun 16 15:23:22 2014 [INFO ]: Start 100 threads, which create a file
140365498795776 Mon Jun 16 14:26:38 2014 [DEBUG]:      Try to connect to 127.0.0.1 on port 7000

info(0, "Start %d threads, which create a file", max_files_to_test);
debug(2, "Try to connect to %s on port %d\n", server_ip, server_port);
```

GESAMT ABLAUF

TODO

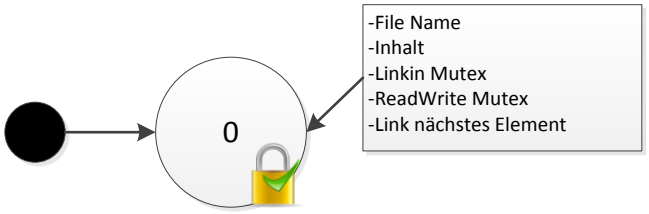


LOCKING

WIE WURDE DER GLOBALE LOCK UMGANGEN?

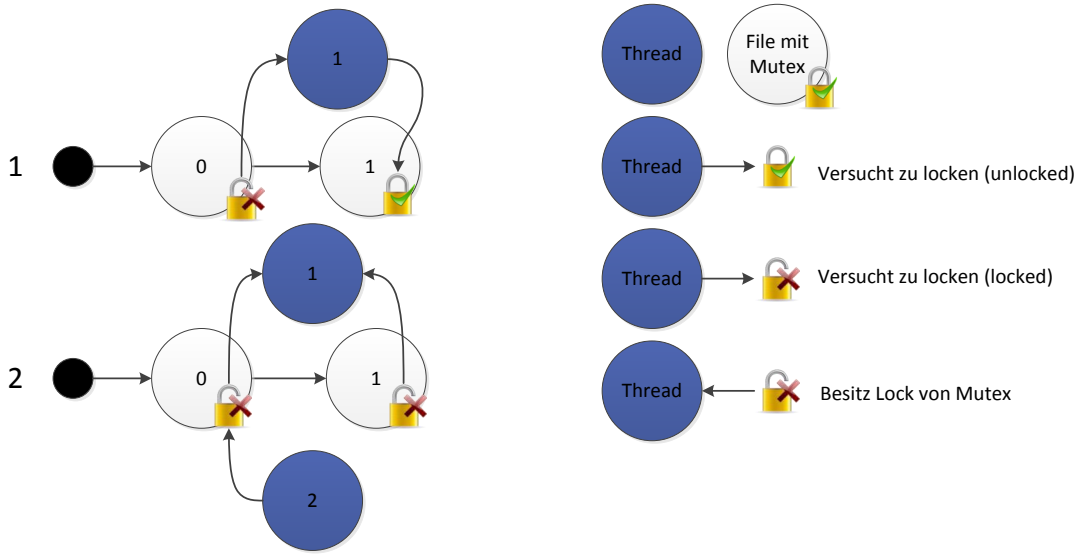
Eine der Vorgaben war, dass man kein globales Locking haben darf, um dies zu umgehen, habe ich eine Concurrent Linked List erstellt. Jedes Element besitzt einen Mutex für das Linking und einen ReadWrite-Mutex für das Lesen und Schreiben. Der Linking Mutex wird verwendet, wenn auf das Element zu gegriffen werden möchte und wird erst wieder freigegeben, wenn die Modifikation erfolgt ist.

Damit das Locking schon von Anfang an möglich ist, wird beim Initialisieren eine Element 0 eingefügt, welches bereits über einen Mutex verfügt.

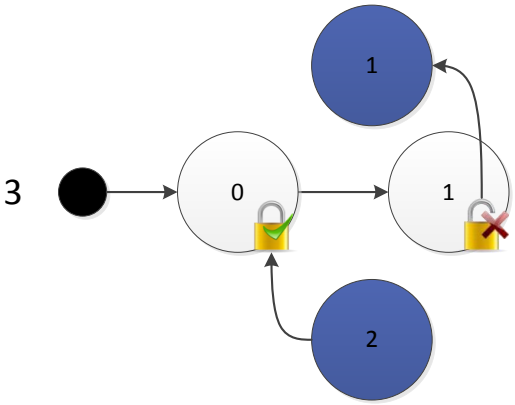


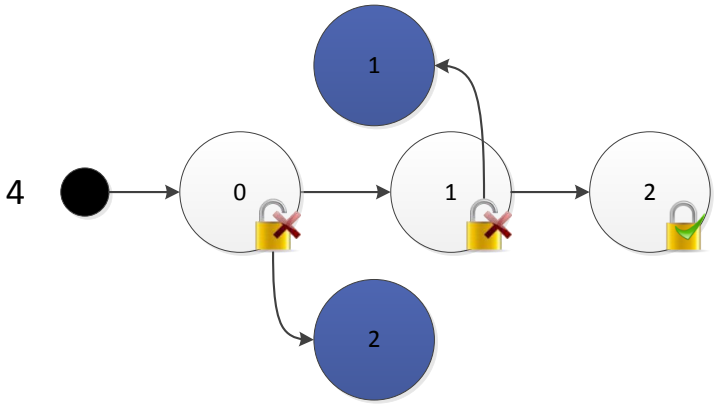
FILELISTE DURCHSUCHEN

Die Liste ist so aufgebaut, dass nur in der Such und List Funktion ein Locking von den Linking Mutexen passiert. Die Such Funktion ist somit eine sehr zentrale Funktion und wird deshalb zuerst beschrieben.

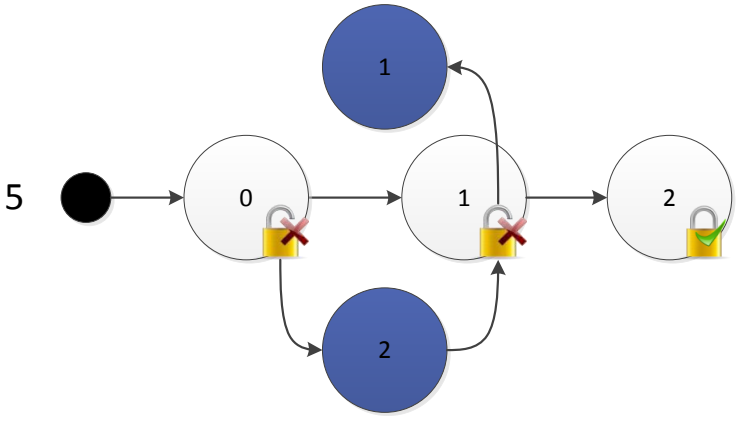


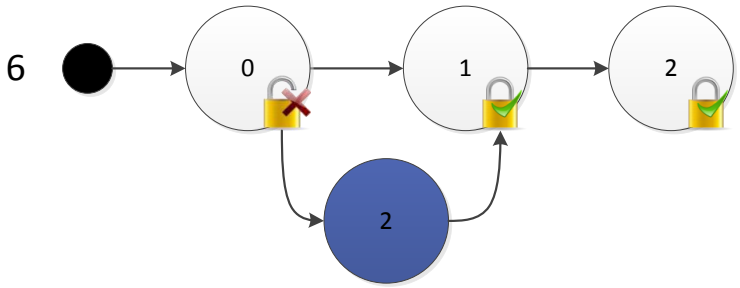
1. Thread 1 hat die Suchfunktion gestartet und hat bereits den Linking Mutex vom ersten Element gelockt und versucht den Mutex von File 1 zu locken
2. Thread 1 hat nun den Mutex von Element 0 und File 1. Thread 2 versucht den Mutex von Element 0 zu locken



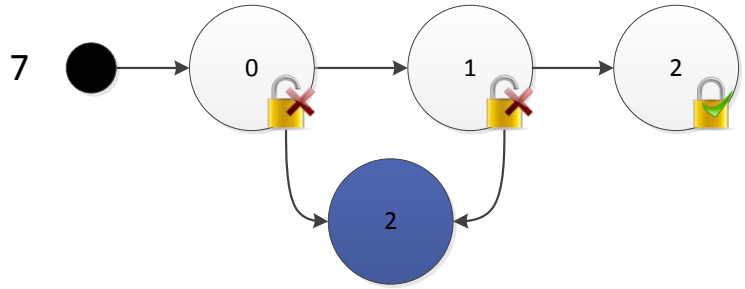


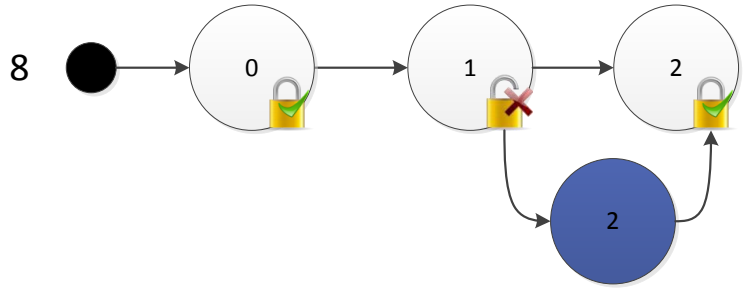
3. Thread 1 hat nach dem erfolgreichen Locking vom Mutex auf File 1 den Mutex auf Element 0 freigegeben. Thread 2 versucht immer noch den Mutex auf Element 0 zu locken
4. Thread 1 kann dank dem Lock auf File 1 das „next“ Attribut verändern und fügt einen neues File hinzu. Thread 2 hat nun den Lock auf Element 0



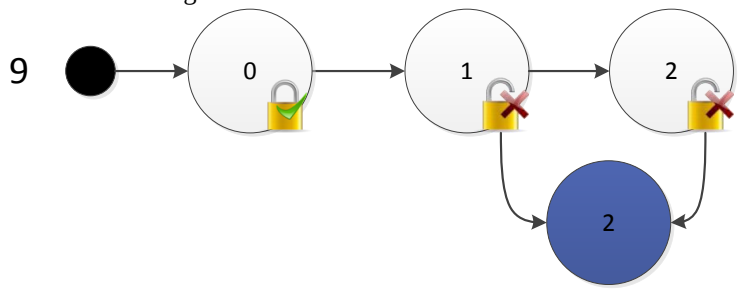


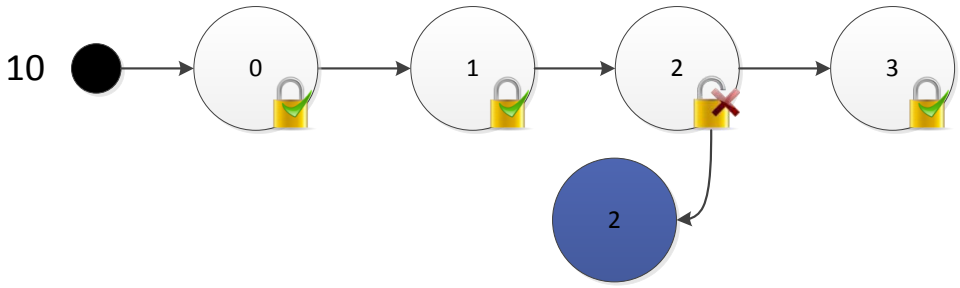
5. Thread 2 versucht nun den Mutex auf File 1 zu locken. Thread 1 ist unverändert
6. Thread 1 hat den Lock auf File 1 freigegeben und hat sich beendet. Thread 2 ist unverändert

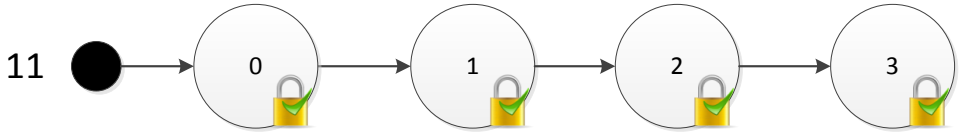




7. Thread 2 hat nun den Mutex auf Element 0 und File 1 gelockt
8. Thread 2 gibt den Mutex auf Element 0 frei und versucht den Mutex auf Element 2 zu locken



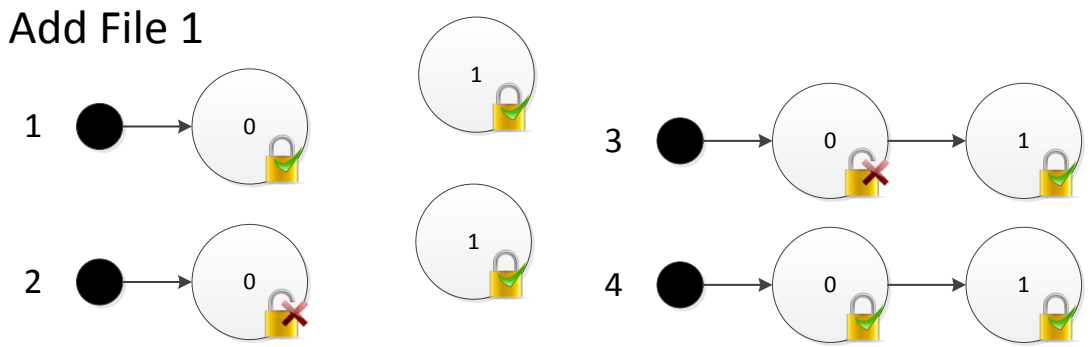




9. Thread 2 hat nun den Mutex auf File 1 und File 2
10. Thread 2 gibt den Mutex von File 1 frei und kann durch das Locking auf File 2 ein neues File hinzufügen
11. Thread 2 gibt den Mutex frei und beendet sich

FILE ERSTELLEN (CREATE)

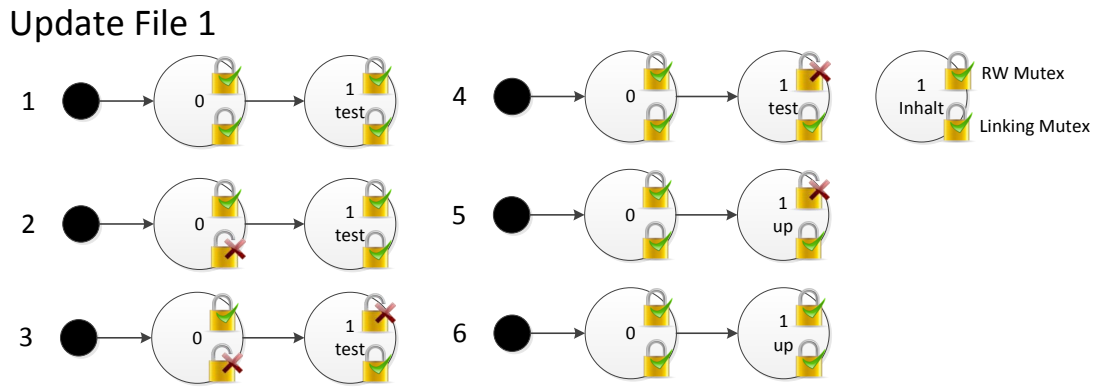
Wenn ein neues File erstellt wird, wird es an das Ende der Liste hinzugefügt, dass braucht zwar Zeit, da man jedes Mal bis zum Ende der Liste iterieren muss, jedoch muss dass sowie so gemacht werden, da der Filename nur ein Mal vorkommen darf. Das letzte Element wird von der Such Funktion ausgegeben



1. In der Liste befindet sich momentan das erste Element und ein File wird hinzugefügt
2. Der Linking Mutex vom letzten Element der Liste wird gelockt
3. Das neue File wird mit dem letzten Element verknüpft
4. Der Mutex wird freigegeben

FILE ÄNDERN (UPDATE)

Damit ein File geändert werden kann, muss es existieren und somit wird zuerst die Such Funktion ausgerufen. Die Suchfunktion lockt das File eines vor dem zu editierenden File und gibt die beiden Files dann zurück. Die Update Funktion locket dann den ReadWrite Mutex mit Write und gibt erst danach den Linking Mutex vom vorherigen File frei, damit ist sichergestellt, dass nicht eine andere Aktion das gleiche File erhält und es danach zu Inkonsistenzen führt. Das verwenden eines zusätzlichen ReadWrite Mutex hat den grossen Vorteil, dass andere Files nicht mehr davon betroffen sind, falls der Update Prozess länger dauern sollte. Es kann danach ohne Probleme über die Liste iteriert werden.



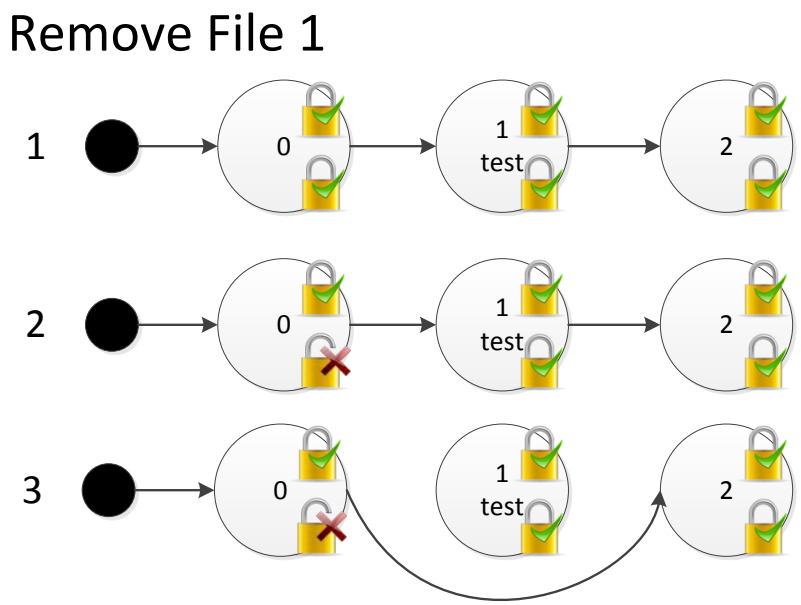
1. Start Situation
2. Der Linking Mutex vom vorherigen Element wird gelockt
3. Der ReadWrite Mutex wird mit Write gelockt
4. Der Linking Mutex vom vorherigen Element wird freigegeben
5. Der Inhalt des Files wird verändert (test → up)
6. Der Write Mutex wird freigegeben

FILE LESEN (READ)

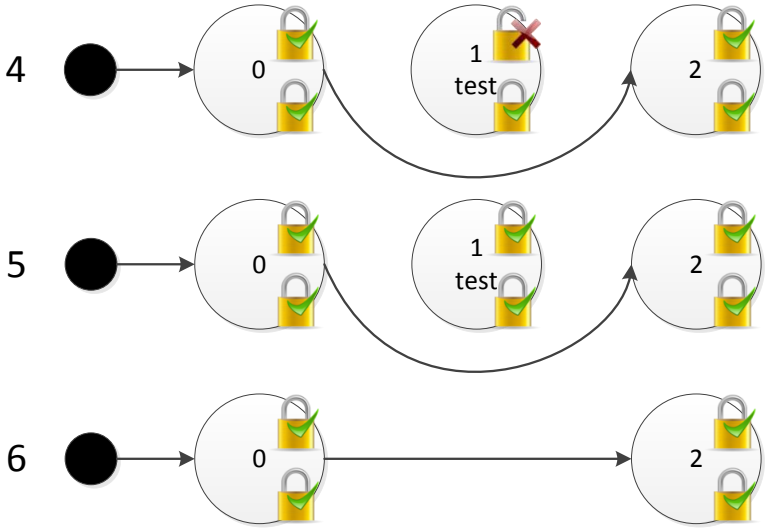
Der Lese Vorgang läuft genau gleich wie der Update Vorgang ab, mit einem kleinen Unterschied, der ReadWrite Mutex wird nur mit Read gelockt. Dies hat zur Folge, dass beliebig viele Thread gleichzeitig das File lesen können. Falls ein Update Vorgang gestartet wird, muss dieser warten, bis alle Read Prozess, welche den Mutex gelockt haben beendet sind.

FILE LÖSCHEN (DELETE)

Wie bei den vorherigen Vorgängen wird zuerst die Such Funktion gestartet, diese lockt das File eine Stelle vor dem zu löschenden File und gibt die Elemente zurück. Der Lösch Vorgang nimmt das File aus der Liste heraus und löscht es.



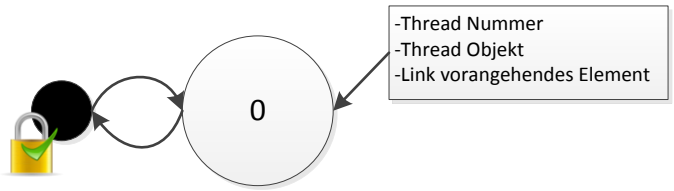
1. Start Situation
2. Der Linking Mutex vom vorherigen Element wird gelockt
3. Das File wird aus der Liste herausgenommen. Das Element 0 zeigt nun direkt auf File 2



4. Der ReadWrite Mutex wird mit Write gelockt, damit sichergestellt wird, dass keine Read oder Write Vorgänge auf diesem File am Laufen sind
5. Der ReadWrite Mutex wird freigegeben
6. Das File wird gelöscht

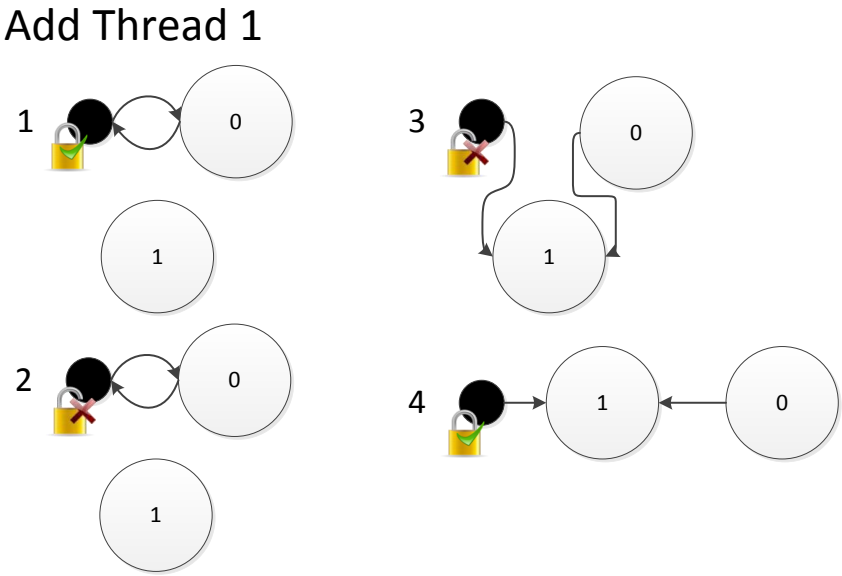
CLEANUP

Für jede Verbindung wird ein neuer Thread aufgemacht und damit diese wieder sauber aufgeräumt werden, habe ich eine zusätzliche Linked List erstellt, welche für die Anwendung effizienter ist.
Der grosse Unterschied ist, dass die Elemente vorne und nicht hinten eingefügt werden. Diese Liste ist auch nur für die Add-Funktion gleichzeitig aufrufbar, die Löschfunktion bzw. der Cleanup Vorgang darf nur jeweils von einem Thread gestartet werden. Sie besitz keine Update, Read oder spezifische Delete Funktion. Weiter gibt es bei ihr nur einen Mutex und der ist für das Einfügen von neuen Elementen.



THREAD HINZUFÜGEN

Die Add Funktion wird für jede Verbindung aufgerufen und sollte deshalb möglichst effizient sein, somit habe ich die Anzahl Locks und Vorgänge auf ein Minimum reduziert. Der Thread wird während dem Locking als neuer Head definiert und mit dem vorangehenden Element verknüpft.

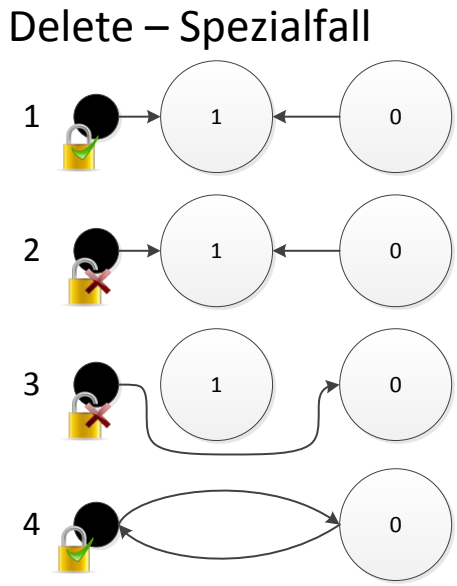


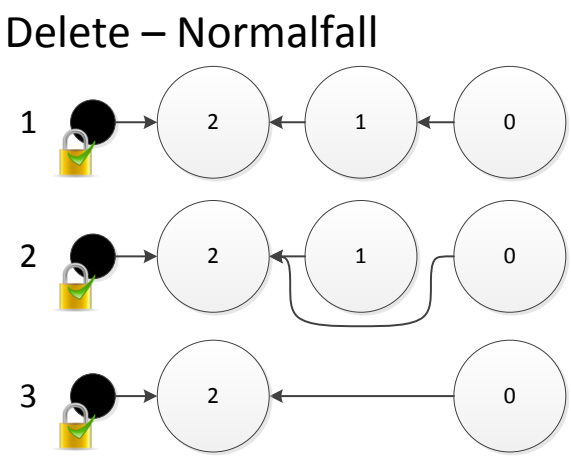
1. Thread 1 soll in die Liste hinzugefügt werden
2. Der Mutex wird gelockt, damit ist sichergestellt, dass nicht zwei Threads an den Start der Liste gehängt werden
3. Thread 1 wird als Head hinzugefügt und beim vorherigen Head als Vorangehender
4. Der Mutex wird freigegeben

CLEANUP / DELETE

Bei einem Cleanup Auruf wird von Ende der Liste angefangen. Das Ende der Liste bildet immer das Element 0, es wird nie entfernt. Von diesem Element wird dann immer das vorangehende Element gejoined und dann aus der Liste gelöscht.

Beim Delete gibt es zwei unterschiedliche Fälle, wenn man einen Thread aus der Liste entfernt, ist kein Locking nötig, wenn man jedoch das letzte Element aus der Liste entfernt, muss man den Lock beachten.





Spezialfall

1. Thread 1 soll gelöscht werden, da Element 0 immer in der Liste bleibt, ist es das letzte Element in der Liste
2. Der Mutex wird gelockt
3. Der Head wird auf das Element 0 gesetzt und das „prev“ Attribut vom Element 0 wird auf NULL gesetzt
4. Der Mutex wird freigegeben

Normalfall

1. Thread 1 soll gelöscht werden
2. Das „prev“ Attribut von Element 0 wird auf Thread 2 gesetzt
3. Thread 1 wird gelöscht

RÜCKBLICK

Die Aufgabe war für mich sehr schwierig zu meistern und hat viel mehr Zeit gekostet als am Anfang gedacht. Am Anfang hatte ich zuerst ein wenig Probleme mit dem ganzen Aufbau, danach stand der erste Entwurf relativ schnell einmal. Dann kam aber die mühsame Arbeit der Optimierung, dass der Server auch stabil läuft. Ich hatte viele Segmentation Faults und wusste nicht wo sie auftraten. Schlussendlich habe ich an vielen Stellen noch nachbessern müssen. Es stellt sich zum Beispiel heraus, dass viele SegV von dem Logger kamen, da die Message länge zu lang war, ich habe danach vsnprintf anstatt vsprintf verwendet um sicher zu gehen, dass dies nicht mehr passiert.

Die Arbeit war sehr spannend und ich hab jetzt ein viel besseres Verständnis für C. Ich kenne nun einige Patterns und komme auch mit dem Programm make besser zu Gange. Es war sehr toll die Limits des Servers auszureizen und ihn noch stabiler und schneller zu machen. Wirklich mühsam an C sind die Segmentation Faults und Core Dumps, an welche ich mich immer noch nicht gewöhnt habe, vor allem in Kombination mit Concurrency. Es gab einige Stunden, in denen ich versuchte den Ablauf zu reproduzieren und den Fehler zu finden und fast verzweifelt bin. Ich denke, da hab ich noch sehr viel Potenzial mein Verständnis zu erweitern.

Es war auch spannend, dass ich den Server mit einem Java Client testen konnte. Das hat mir am Anfang sehr geholfen, da ich mich in dieser Welt einfach schon auskannte und so mit JUnit Test schreiben konnte. CUnit, welches ich danach noch für Unit Tests in C verwendet habe, ist ok, aber bei weitem natürlich nicht so mächtig wie JUnit. Meines Wissens ist es zum Beispiel nicht möglich eine Erwartet/Aktuell-Ausgabe bei einem fehlgeschlagenen ASSERT ausgeben zu können, was eine sehr wichtige Funktion ist.

Da ich die Funktionen in separate Files unterteilt habe, habe ich nun eine eigenen kleine Library von Helfer in C (wie zum Beispiel den Logger, die Concurrent Linked List oder Thread List), welche für weiter Projekte sehr nützlich werden können. Alles in allem eine sehr spannende und herausfordernde Aufgabe, welche mein Verständnis für C und Concurrency verbessert hat und wie vorher erwähnt wiederverwendbare Elemente zum Ergebnis hatte.