Concurrent Distributed Systems

Zusammenfassung

Joel von Rotz / Quelldateien

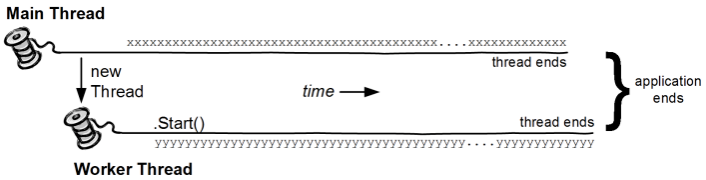
Inhaltsverzeichnis

C#/.NET

Garbage Collector

C# verfügt über einen Garbage Collector, welcher nicht verwendete (& referenzlose) Objekte automatisch löscht und somit Speicher freigibt.

Threads `System.Threading`



- Erhält eigenen Stack für lokale Variablen
- Mehrere Threads können auf gemeinsame Variablen zugreifen
  - **Deadlock** und **Race Condition** beachten!

Erstellen

Erstellen mit `new Thread(...)` auf zwei Varianten: `ThreadStart` & `ParameterizedThreadStart`

```
Thread t  = new Thread(new ThreadStart(f1));
Thread     t2     =     new     Thread(new
ParameterizedThreadStart(f2));

static void f1(void) {/* ... */};
static void f2(object value){/* ... */};
```

Starten

Starten mit `.start(param)`:

```
t.start();
t2.start(true);
```

Priorität konfigurieren

Priorität setzen mit `.Priority`

```
t.Priority = ThreadPriority.Lowest;
```

`Highest` (4), `AboveNormal` (3), `Normal` (2), `BelowNormal` (1), `Lowest` (0)

Beenden

1. Methode ohne Felder beendet
2. Auftreten einer Exception

```
static void Main() {
  try {
    new Thread(Go).Start();
  } catch(Exception ex) {
    Console.Writeline("Exception!");
  }
}
static void Go() {
  throw null; // exception will NOT be caught
  Console.Writeline("uups");
}
```

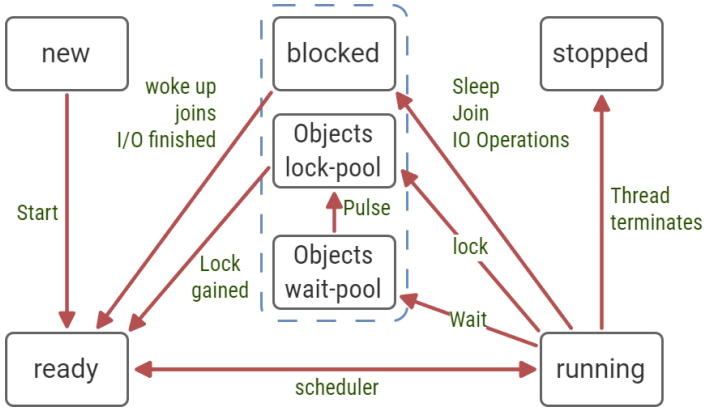
Thread sind (fast) isoliert

Beispiel oben `try/catch` ist nur im Bezug zur Erstellung des Threads brauchbar, denn es wird die Exception **NICHT** abfangen, da diese **IM** Thread ausgelöst wurde.

Die Funktion `.Abort()` „killed" den Thread à la:

Scenario You want to turn off your computer
Solution You strap dynamite to your computer, light it, and run.

Lebenszyklen



Legende

`new` Thread-Objekt erstellt, aber noch nicht gestartet

`ready` gestartet, lokaler Speicher (Stack) zugeteilt, wartet auf Zuweisung des Prozessors

`running` Thread läuft

`blocked` Thread wartet bis eine Bedingung erfüllt wird / Aufruf einer Betriebssystemroutine, z.B. File-Operationen

`stopped` Thread existiert nicht mehr, Objekt schon.

`Object lock-pool` Bei der Verwendung vom *lock*-Konstrukt, erhält der Threads Lebenszyklus diesen zusätzlichen Zustand. Jedes Object hat genau einen lock-pool.

`Object wait-pool` Menge von Threads, die vom Scheduler unterbrochen wurden und auf ein Ereignis warten, um fortgesetzt wreden zu können.

Wichtig

Der Objects lock-pool und der Objects wait-pool müssen zum gleichen Objekt gehören.

```
object synch = new object();

lock (synch) {
  Monitor.Wait(synch);
}
```

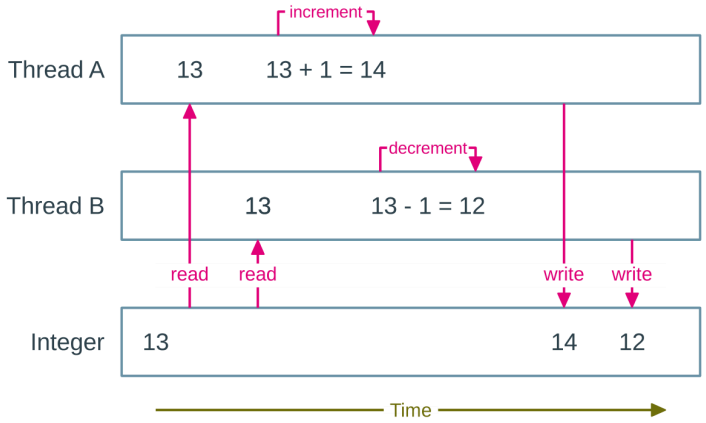
Bei nicht Einhaltung wird die Exception ausgelöst:

`System.Threading.SynchronizationLockException`

Thread Synchronisation

Race Conditions

...ist eine Konstellation, in denen das Ergebnis einer Operation vom zeitlichen Verhalten bestimmter Einzeloperationen abhängt.

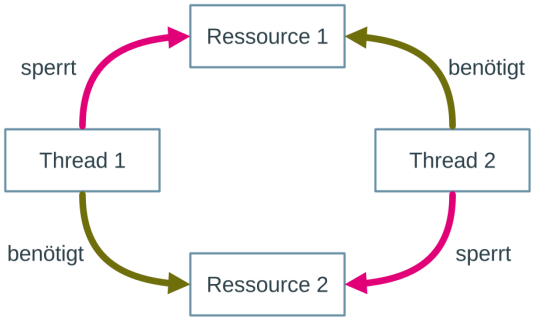


Gute Lösung dazu muss vier Bedingungen erfüllen:

1. Nur ein Thread in kritischen Abschnitten
2. Keine Annahmen zur zugrundeliegenden Hardware treffen.
3. Ein Thread darf andere Threads nicht blockieren, <u>ausser</u> in kritischen Bereichen
4. Thread sollte nicht unendlich lange warten, bis dieser in den kritischen Bereich eintreten kann.

Deadlocks

Entsteht, wenn Threads auf Resourcen warten, welche sie gegenseitig sperren und somit kein Thread sich befreien kann.



Join-Funktion

Mit `.Join()` können Threads auf den Abschluss eines anderen Threads warten (z.B. Öffnung einer Datei bevor Schreibung). Beim Aufruf wird der aktuelle Thread blockiert, bis die Join-Kondition erreicht wurde.

```
// in Thread t
t2.Join(); // wait for Thread t2's completion
```

`lock` Konstrukt

Mit Locks können Threads Code Bereiche reservieren. Dies wird mit…

```
lock(<object>) {
  /* do stuff with <object> or use it as a flag*/
}
```

… gemacht. Als `<object>` kann eine Flag (z.B. ein `object` Objekt) oder eine Ressource (z.B. File Objekt) verwendet werden.

`lock` ist die Kurzform für…

```
Monitor.Enter(<object>);
try{
  /* critical section */
}
finally { Monitor.Exit(<object>) }
```

EventWaitHandle

Threads warten an einem inaktiven Event-Objekt, bis dieses aktiv (frei) geschaltet wird. Es gibt zwei Arten:

`AutoResetEvent` Threadaktivierung durch das Event setzt das Eventsignal automatisch zurück zu *inaktiv* (nur `.Set()`)

`ManualResetEvent` Eventsignal muss manuel zurückgesetzt werden (`.Set()` → dann `.Reset()`)

```
private static
  EventWaitHandle wh = new AutoResetEvent(false);

static void Main() {
  new Thread(Waiter).Start();
  Thread.Sleep(1000);
  wh.Set();
}

static void Waiter() {
  Console.Writeline("Waiting ... ");
  wh.WaitOne();
}
```

Pulse/Wait

Wenn der Zugang zu einem kritischen Abschnitt nur von bestimmten Bedingungen oder Zuständen abhängt, so reicht das Konzept der einfachen Synchronisation mit *lock* nicht aus

```
/* Monitor.<func> */
bool Wait(object obj);
bool Wait(object obj, int timeout_ms);
bool Wait(object obj, TimeSpan timeout);

void Pulse(object obj);
void PulseAll(object obj);
```

Es führen zwei Wege aus dem Warte-Zustand:

1. Anderer Thread signalisiert Zustandswechsel
2. Angegebene Zeit ist abgelaufen (dabei wird der aktuelle Lock wieder genommen und `Wait` gibt `false` zurück)

⚠ Nur in kritischen Bereichen

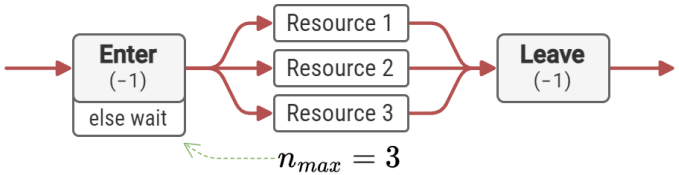
`Wait`, `Pulse` und `PulseAll` dürfen nur innerhalb eines kritischen Bereichs ausgeführt werden!

Ruft ein Thread `Wait` auf, wird der Lock für diesen Abschnitt freigeben! Nach Erhalt eines Pulses wartet der Thread auf den Lock seines Abschnittest.

```
private static object synch = new object();

static void Main() {
  new Thread(Waiter).Start();
  Thread.Sleep(1000);
  lock (synch) {
    Monitor.Pulse(synch);
  }
}

static void Waiter() {
  lock (synch) {
    Console.WriteLine("Waiting ... ");
    if (Monitor.Wait(synch, 1000))
      Console.WriteLine("Notified");
    else
      Console.WriteLine("Timeout");
  }
}
```

Semaphore

(Signalmasten, Leuchttürme)



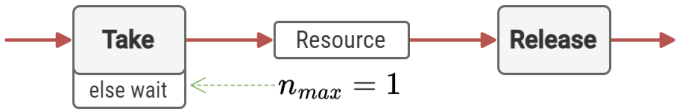
Mit Semaphoren können an vorbestimmte Anzahl *Teilnehmer* Ressourcen erlaubt werden, bevor der Ressourcen-Zugang gesperrt wird.

`.WaitOne()` **(sema.$P()$)** Eintritt (Passieren) in einen synchronisierten Bereich, wobei mitgezählt wird, der wievielte Bereich es ist.

`.Release()` **(sema.$V()$)** Verlassen (Freigeben) eines synchronisierten Bereichs, wobei mitgezählt wird, wie oft der Bereich verlassen wird.

```
// (initialCount: 3, maximumCount: 3)
private static Semaphore s = new Semaphore(3, 3);

static void Main() {
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    new Thread(Go).Start(i);
  }
}

static void Go(object number) {
  while (true) {
    s.WaitOne(); // thread X waits

    // thread X enters critical section
    Thread.Sleep(1000); // entries limited to 3

    s.Release(); // Thread X leaves
  }
}
```

Mutex



Nützlich, wenn eine Ressource (z.B. Ethernet-Schnittstelle) von mehreren Threads verwendet werden möchte.

Freigabe-Scope

Im Vergleich zu Semaphoren, welches erlaubt von anderen Aktivitätsträgern freizugeben, muss die Mutex vom Mutex-Besitzer freigegeben werden!

```
private static      //   (initially owned, name)
  Mutex mu = new Mutex(false, "CoolName");

static void Main() {
  if (!mu.WaitOne(TimeSpan.FromSeconds(5),false)) {
    Console.WriteLine("Another app instance exists");
    return;
  } try {
    Console.WriteLine("Running - Enter to exit");
    Console.ReadLine();
  } finally {
    mu.ReleaseMutex();
  }
}
```

Streams

Streams dienen dazu, drei elementare Operationen ausführen zu können:

Schreiben Dateninformationen müssen in einem Stream geschrieben werden. Das Format hängt vom Stream ab.

Lesen Aus dem Datenstrom muss gelesen werden, ansonsten könnte man die Daten nicht weiterverarbeiten.

Wahlfreien Zugriff Nicht immer ist es erforderlich, den Datenstrom vom ersten bis zum letzten Byte auszuwerten. Manchmal reicht es, erst ab einer bestimmten Position zu lesen.

C# implementiert Stream-Klassen mit sequentielle Ein-/Ausgabe auf verschiedene Datentypen:

Zeichenorientiert (`StreamReader/-Writer`, `StringReader/-Writer`) mit Wandlung zwischen interner Binärdarstellung und externer Textdarstellung. Grundlage ist die byteorientierte Ein- und Ausgabe mit den Klassen `TextReader` und `TextWriter`

Binär (`BinaryReader/-Writer`, Unterklassen von `Stream`) ohne Wandlung der Binärdarstellung

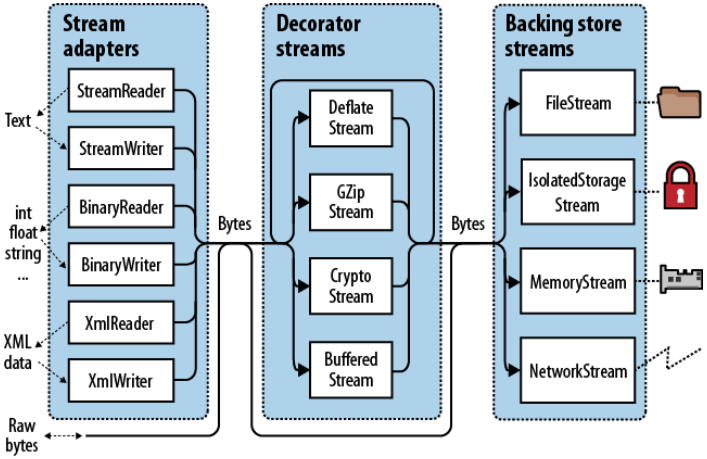
Stream Architektur

.NET-Stream-Architektur konzentriert sich auf drei Konzepte:

Adapter formen Daten (Strings, elementare Datentypen, etc.) aus Programmen um. (siehe Adapter Entwurfsmusters)

Dekorator fügen neue Eigenschaften zu dem Stream hinzu. (siehe Dekorator Entwurfsmusters)

Sicherungsspeicher ist ein Speichermedium, wie etwa ein Datenträger oder Arbeitsspeicher.



Lesen

Lesen aus einem Netzwerk TCP-Socket (`SR` = `StreamReader`)::

```
TcpClient client = new TcpClient("192.53.1.103",13);
SR inStream = new SR(client.GetStream());
Console.WriteLine(inStream.ReadLine());
client.Close();
```

Lesen aus einer Datei (`SR` = `StreamReader`):

```
try {
  using (SR sr = new SR("t.txt")) {
  string line;
    while ((line = sr.ReadLine()) ≠ null) {
      Console.WriteLine(line);
    }
  }
} catch (Exception e) {
  Console.WriteLine(e);
}
```

Lesen aus einer Datei mit einem Pass-Through-Stream:

```
Stream stm = new FileStream("Daten.txt",
                    FileMode.Open,
                    FileAccess.Read);
ICryptoTransform ict = new ToBase64Transform();
CryptoStream cs = new CryptoStream(stm,
                        ict,
                        CryptoStreamMode.Read);
TextReader tr = new StreamReader(cs);
string s = tr.ReadToEnd();
Console.WriteLine(s);
```

Schreiben

Lesen von einer Tastatur und Schreiben auf den Bildschirm:

```
string line;
Console.Write("Bitte Eingabe: ");
while ((line = Console.ReadLine()) ≠ null) {
  Console.WriteLine("Eingabe war: " + line);
  Console.Write("Bitte Eingabe: ");
}
```

Schreiben in eine Daten mit implizitem FileStream:

```
try {
  using (StreamWriter sw = new StreamWriter("Daten.txt")) {
    string[] text = { "Titel", "Köln", "4711" };
for (int i = 0; i < text.Length; i++)
sw.WriteLine(text[i]);
}
Console.WriteLine("fertig.");
}
catch (Exception e) { Console.WriteLine(e); }
```

```
StreamWriter sw = new StreamWriter("Daten.txt")
// equals to
FileStream fs = new FileStream("Daten.txt",
                        FileMode.Create);
StreamWriter sw = new StreamWriter(fs);
```

Socket Kommunikation ····· `System.Net.Sockets.Socket`

Sockets werden für *Interprozesskommunikation* verwendet, also zwischen zwei oder mehrere Prozesse (z.B. Applikation). Damit zwei Prozesse sich verstehen, müssen beide die selbe Sprache (Protokoll) sprechen: *TCP/IP*, *UDP*, *Datagram-Sockets*, *Multicast-Sockets*, etc.

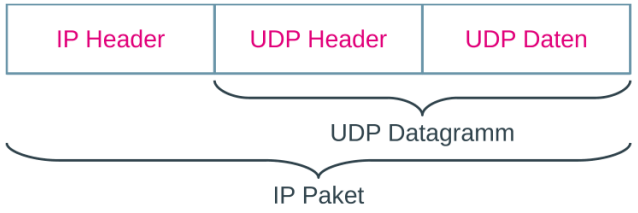
Sockets können…

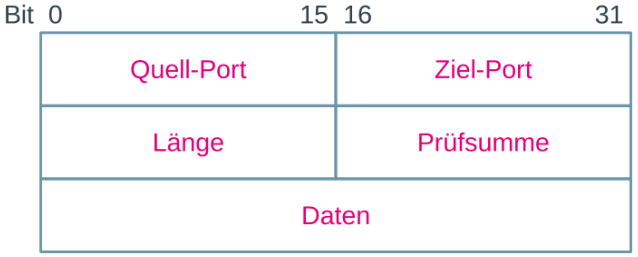
- …Einen Port binden
- …An einem Port auf Verbindungsanfragen hören
- …Verbindung zu entfernten Prozess aufbauen
- …Verbindungsanfragen akzeptieren
- …Daten an entfernten Prozess senden

UDP Protokoll — User Data Protocol

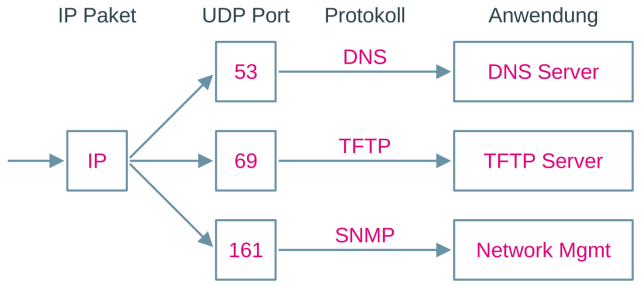
Ermöglicht das Senden von gekapselte rohe IP Datagramme zu übertragen, ohne Verbindungsaufbau.

⇒ *Verbindungslos* bedeutet keine Garantie, dass das gesendete Paket beim Empfänger ankommen.





UDP Header besteht aus 8 Byte. Die *Länge* entspricht Header Bytes + Daten Bytes. Die Prüfsumme wird über das gesamte Frame berechnet (IP Paket).



Der Ziel-Port bestimmt, für welche Anwendung ein Datenpaket bestimmt ist.

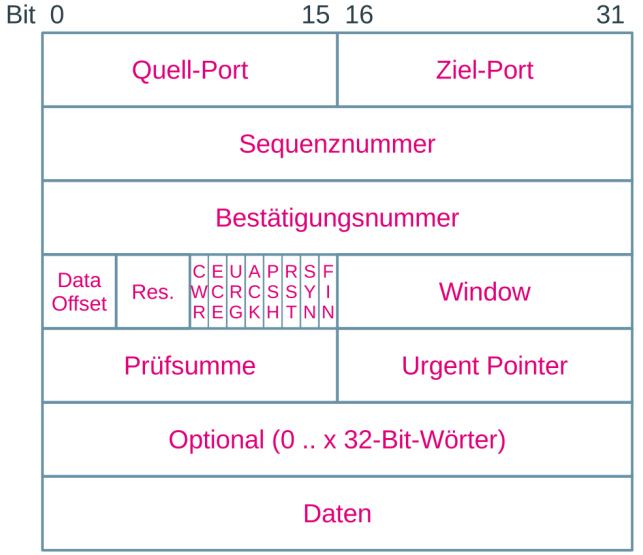
TODO Add Code Snippets here?

TCP Protokoll — Transmission Control Protocol

Datagram ist ähnlich wie bei UDP.

IP sorgt dafür, dass die Pakete von Knoten zu Knoten gelangen; **TCP** behandelt den Inhalt der Pakete und korrigiert dies (durch erneutes Senden)

TCP kann als End-to-End Verbindung in Vollduplex betrachtet werden → Möglich mit separierten Sende- & Empfangs-Counter.



Wichtige Merkmale:

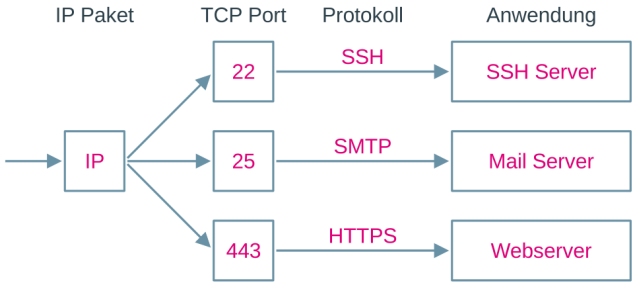
Verbindungsorientiert Vor Datenübertragung, wird eine Verbindung aufgebaut (Threeway Handshake)

Zuverlässige Datenübertragung Sicherstellung, dass alle gesendeten Daten korrekt beim Empfänger ankommen (Sequenz-Counter, ACK, Fehlerkorrektur [z.B. Prüfsummen])

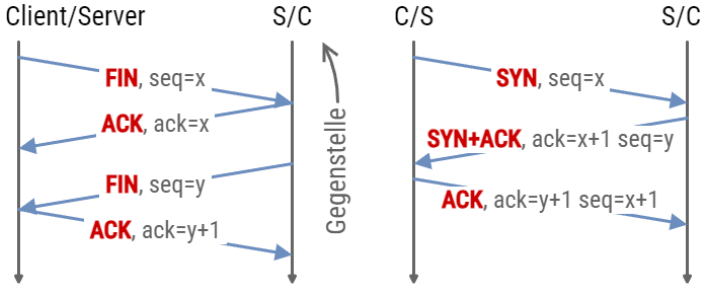
Segmentierung und Reassemblierung Grosse Datenmengen werden in kleinere Segmente (65535 bytes [64KB]) aufgeteilt und entsprechend beim Empfänger wieder zusammengesetzt.

Flow Control damit Sender den Empfänger nicht mit mehr Daten überfordert.

Congestion Control Dynamische Datenübertragungsrate anhand Netzwerkauslastung



Verbindungsaufbau wird via *Three-Way* Handshake gemacht (folgendes Bild rechts). Der Abbau mit einem *Four-Way* Handshake (folgendes Bild links).

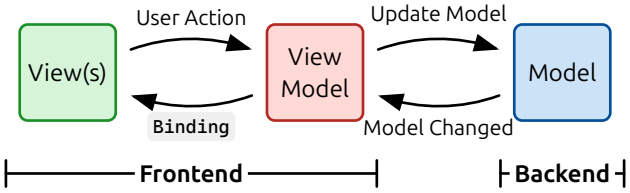


TODO Add Code Snippets here?

Interfaces

TODO Hello

MVVM



Model-View-ViewModel (MVVM) ist ein Entwurfsmuster und eine Variante des **Model-View-Controller**-Musters (MVC).

Darstellung und Logik wird getrennt in UI und Backend.

✓ Vorteile

- ViewModel kann unabhängig von der Darstellung bearbeitet werden
- Testbarkeit keine UI-Tests nötig
- Weniger *Glue Code* zwischen Model & View
- Views kann separat von Model & ViewModel implementiert werden
- Verschiedene Views mit dem selben ViewModel.

✗ Nachteile

- Höherer Rechenaufwand wegen bi-direktionalen „Beobachters“
- Overkill für simple Applikationen
- Datenbindung kann grosse Speicher einnehmen

Link 1, Link 2

View

What to display, Flow of interaction

Ist das User Interface des Programmes und ist via `Binding` und `Command` and das ViewModel gebunden.

View Model

Business Logic, Data Objects

Bildet den Zustand der View(s) ab. Es können verschieden Views mit dem selben ViewModel verbunden werden.

Model

How to display information

Beschreibt den Zustand für das Backend und kommuniziert mit anderen Prozessen (z.B. Betriebssystemroutinen)

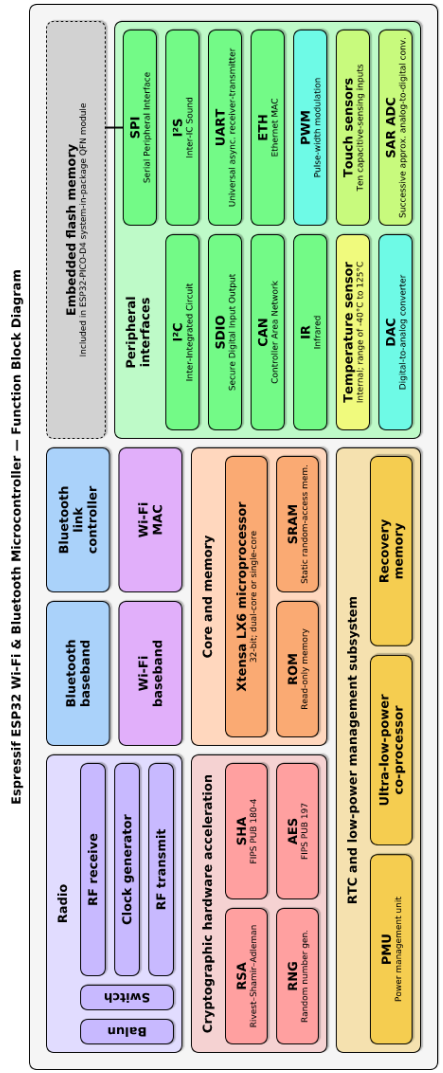
Werkzeuge & Entwicklung

Espressif

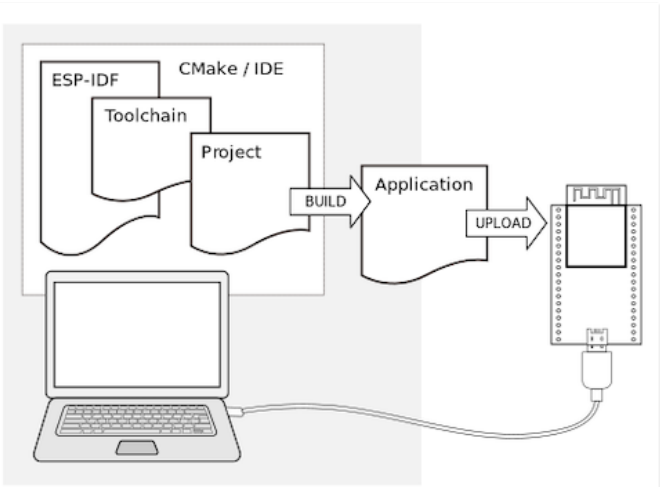
Chinesische Firma in Shanghai (Gründung 2008). Halbleiter-Chips werden bei TSMC hergestellt (*fabless* Herstellung).

Mikrocontroller

ESP8266 (2014) Tensilica Xtensa LX106, 64KB iRAM, 96KB DRAM, WiFi, ext. SPI Flash
ESP32 (2016) Wi-Fi + BLE, Single/Dual Core Xtensa LX6 @240 Mhz
ESP32-S2 (2019) Single-Core, Security, WiFi, keine FPU, kein Bluetooth, Xtensa LX7 @240 MHz
ESP32-S3 (2019) (FPU, WiFi+BLE, Dual-Xtensa LX7 @240 MHz, + RISC-V)
ESP32-C3 (2020) (Single-Core RISC-V @160 MHz, Security, WiFi+BLE)
ESP32-C6 (2021) (RISC-V @160 MHz, RISC-V @160 MHz + LP RISC-V @20 MHz, WiFi, Bluetooth/BLE, IEEE 802.15.4)
ESP32-H2 (2023) (Single-core RISC-V @96 MHz, IEEE802.15.4, BLE, no WiFi)

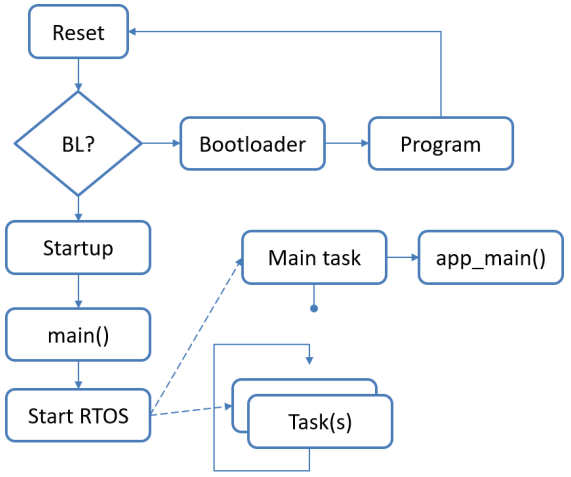


ESP-IDF



ESP32 Startup

1. Power-On oder Reset
2. Bootloader
3. EN Low? → Neue Anwendung über UART laden
4. Startup IDF (Initialisierung, Memory,…)
5. Starten FreeRTOS
6. ‚main' Task → ruft `app_main()` Funktion auf
7. Anwendung läuft in `app_main()`, oder started neue Tasks



ESP app_main()

- `app_main()` wird von einem Task gerufen → Task hat tiefste Priorität `0` (`tskIDLE_PRIORITY`)
- **FreeRTOS**: Preemptive, Highest Priority Task läuft
- `printf` wird auf Konsole (UART) umgeleitet

Verteilte Entwicklung

TODO muss noch machen :)

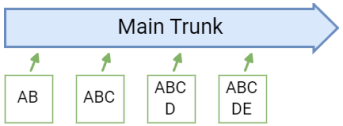
Git

Git ist eine Versionsverwaltungssoftware!

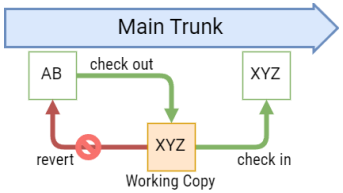
Konzepte

Following shows the most basic concepts used in version control systems such as Git.

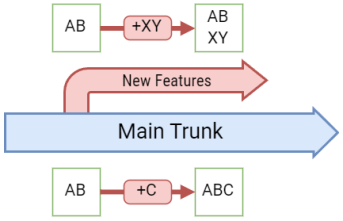
Basic Checkins



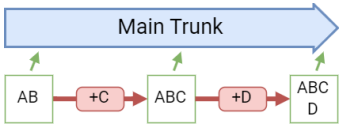
Checkout and Edit



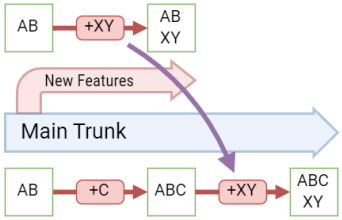
Branching



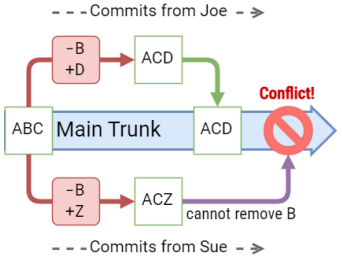
Diffs



Merging



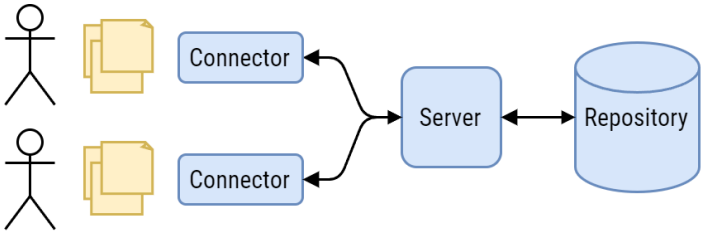
Conflicts



Was gehört in ein VSC

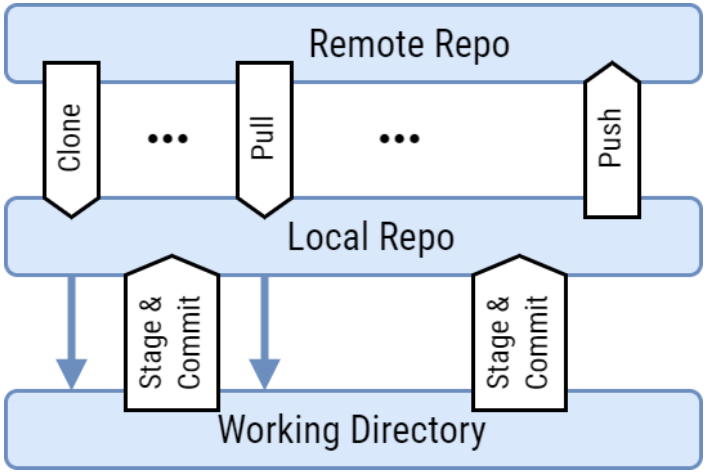
- **Kein** Backup: Source, Derived, Other
- `.gitignore`
- Stufen: Repository, Verzeichnis, rekursiv
- Empfehlungen

Modell



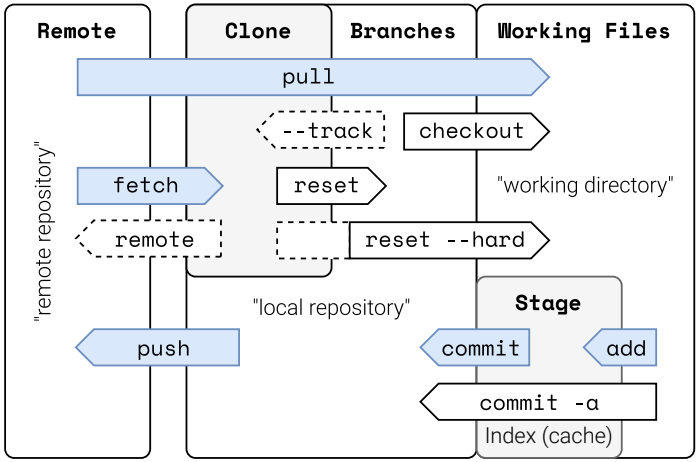
- **Connector**: git bash, Client
- **Server**: git (local und als Server (z.B. GitHub))
- Server & Repository: local, remote, verteilt
  - Zentralisiert (z.B. SVN) oder verteilt (z.B. git)
- Überlegungen: Platz, Übertragung, Arbeitsfluss

Workflow



„Commit Early, commit often"

Befehle



- Optionales **Remote Repository**
- **Local Repository** (clone)
- Lokale Datenbank existiert als **Working Directory** auf Disk
- **Index**: Cache, Stage, Sammlung von Änderungen, welche in die Datenbank überführt (**commit**) werden
- **fetch**, **pull**, **push**
- **checkout**, **add**

Konfiguration

TODO ist dies nötig?

```
git config user.name "[name]"
git config user.email "[email]"
git init
git clone [url]
git status
git add [file]
git diff [file]
git diff --staged [file]
```

Branch & Merge

Verteile Architekturen

Multicore

Konfiguration

Feldbus

Drahtlos

Remote Access

FreeRTOS Crash Kurs

Critical Sections, Reentrancy

Semaphore

Mutex

Nachrichten

Semaphore

Event Flags

Queues

Direct Task Notification

Stream Buffer

Message Buffer

CI/CD

Continuous **I**ntegration and **C**ontinuous **D**elivery

Pipeline

Ausführung von Jobs & Stages überspringen

```
when: manual        # .gitlab-ci.yml
[ci skip]           # commit message
git push -o ci.skip # command line
```

C# / .NET

```
string str = $"Create string with directly concatting
{variables} into it!";
```

Threads

Streams

Espressif ESP32

FreeRTOS SMP

SMP → **S**ymmetric **M**ulti**p**rocessing

`CPU0` → `PRO_CPU` Protocol

`CPU1` → `APP_CPU` Application (`app_main()`)

Task für separatem Core erstellen

Hello

```
xTaskCreatePinnedToCore(
   ...,
  tskNO_AFFINITY)
```