Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

Fakultät Informationstechnik
im Studiengang Softwaretechnik und Medieninformatik

Bachelorarbeit

Entwurf und Implementierung einer hochperformanten, serverbasierten Kommunikationsplattform für Sensordaten im Umfeld des automatisierten Fahrens in Rust

Michael Watzko

Sommersemester 2018
14.02.2018 - 22.06.2018

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Inform. Manfred Dausmann
Zweitprüfer: TODO: title Hannes Todenhagen

Firma: IT Designers GmbH
Betreuer: TODO: title Hannes Todenhagen

[git] • master @ ccd38a2 • 5. März 2018

Sperrvermerk

U SHALL NOT PASS

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Esslingen, den 5. März 2018 _____

Michael Watzko

Danksagungen

„Alle Zitate aus dem Internet sind wahr!“

Albert Einstein

„Rust is a vampire language, it does not reflect at all!“

https://www.youtube.com/watch?v=-Tj8Q12DaEQ

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Begriff „autonomes Fahren“ hat spätestens seit den Tesla Autos einen allgemeinen Bekanntheitsgrad erreicht. Damit ein Auto selbstständig fährt, müssen erst viele Hürden gemeistert werden. Dazu gehört zum Beispiel das Spur halten – auch bei fehlenden Fahrspurmarkierungen, das richtige Interpretieren von Verkehrsschildern und navigieren durch komplexen Kreuzungen. TODO: ref tesla.com?

Bevor ein autonomes Fahrzeug Entscheidungen treffen kann, benötigt es ein möglichst genaues Model seines Umfelds. Hierzu werden von verschiedene Sensoren wie Front-, Rück- und Seitenkameras, Abstandssensoren und TODO: arg1 Informationen gesammelt und ausgewertet. Aber vielleicht kann ein Auto nicht immer selbständig genügend Informationen zu seinem Umfeld sammeln? TODO: (huhuhu Server implied huhuhu) TODO: fix 404

1.2 Projektkontext

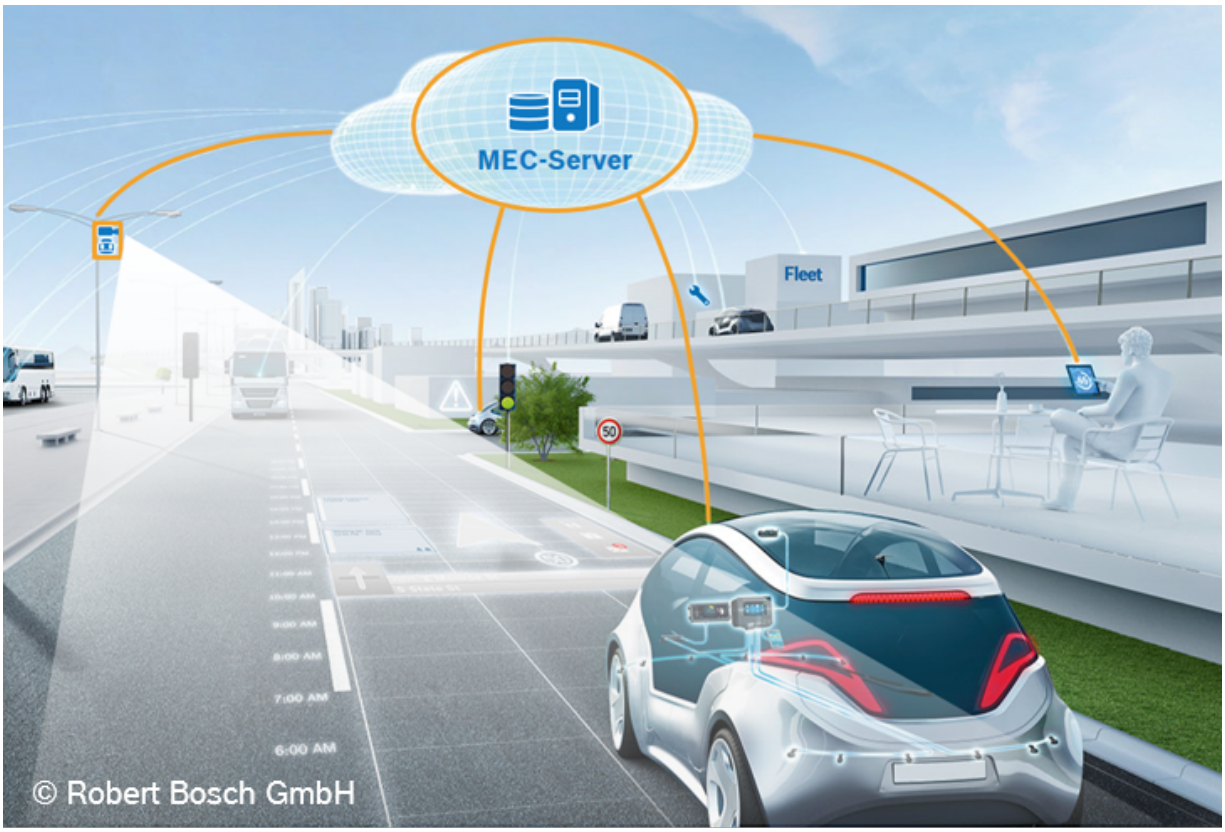

Abbildung 1.1: MEC-View Schaubild der Robert Bosch GmbH [MEC]

Quelle: https://www.uni-due.de/~hp0309/images/Schaubild_BoschStyle_V2.png

Diese Abschlussarbeit befasst sich mit dem MEC[1]-Server, der Teil des MEC-View Forschungsprojekts ist. Das MEC-View Projekt wird durch das BMWi[2] gefördert und befasst sich mit der Thematik autonom fahrender Fahrzeuge. Es soll erforscht werden, ob und in wie weit eine durch externe Sensorik geleistete Unterstützung nötig und möglich ist, um in eine Vorfahrtstraße autonom einzufahren.

Das Forschungsprojekt ist dabei ein Zusammenschluss verschiedener Unternehmen:

[1] Mobile Edge Computing
[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Unternehmen	Aufgabenbereich
Bosch	Hochautomatisiertes Fahrzeug
Osram	„Intelligente“ Infrastruktursensoren
Nokia	5G Mobilfunk, Mobile Edge Computing (MEC)
Universität Ulm	Sensordatenfusion, Prädiktion
IT-Designers Gruppe	MEC-Server Architektur Mikroskopische Verkehrsanalyse Verhaltensanalyse
TomTom	Hochgenaue statische und dynamische Karten
Daimler	Fahrstrategien Verhaltensanalyse Streckenfreigabe
Universität Duisburg	Mikroskopisch, stochastische Simulationsmodelle

1.2.1 Ablauf

Externe Sensoren übermitteln erkannte Fahrzeuge via Mobilfunk an einen MEC-Server, der direkt am Empfängerfunkmast angeschlossen ist. TODO: platform, vm? Nachdem die erkannten Fahrzeuge der verschiedenen Sensoren zusammengeführt wurden (Fusions-Algorithmus), sollen sie an das autonom fahrende Fahrzeug über Mobilfunk übermittelt werden. Somit erhält das Fahrzeug bereits im Voraus Einsicht über eventuelle Möglichkeiten in die Vorfahrtsstraße einzufahren und könnte deshalb beispielsweise die Geschwindigkeit anpassen. Zudem sollen bei unübersichtlichen Kreuzungen somit zuverlässiger andere Verkehrsteilnehmer erkannt werden.

1.2.2 Sicherheit

TODO: überhaupt relevant? Da bei Fehlern möglicherweise andere Verkehrsteilnehmer zu Schaden kommen können, müssen diverse Sicherheitsrichtlinien beachtet werden. Die Industrienorm ISO 26262 beschreibt dabei verschiedene Vorgehensweisen, unter anderem eine FBA[3], Risikoabschätzung durch Einstufung nach ASILs[4] und beschreibt Gegenmaßnahmen.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel ist es, eine alternative Implementierung des MEC-View Servers in Rust zu schaffen. Durch die Garantien (Abschnitt 2.12) von Rust wird erhofft, dass der menschliche

[3] Fehlerbaumanalyse
[4] Automotive Safety Integrity Levels

Faktor als Fehlerquelle gemindert wird und somit eine fehlertolerantere und sicherere Implementation geschaffen werden kann.

Für eine bessere Wartbarkeit und Nachvollziehbarkeit soll die Implementation in Rust möglichst in Struktur und Architektur der C++ Implementation ähneln.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist im wesentlichen in die folgenden Themengebiete aufgeteilt: Grundlagen, Anforderungs- und Systemanalyse, Systementwurf und Implementation und Auswertung.

Im Themengebiet Grundlagen sollen wesentliche Bestandteile dieser Arbeit erläutert und erklärt werden. Hierzu zählt zum einen die Programmiersprache Rust in ihrer Entstehungsgeschichte TODO: ref, Garantien TODO: ref und Sprachfeatures TODO: ref, zum anderen die hochperformante, serverbasierte Kommunikationsplattform mit ihren Protokollen TODO: ref und dem Systemkontext in dem diese betrieben wird.

In der Anforderungs- und Systemanalyse wird der Kontext in dem das System betrieben werden soll genauer betrachtet. Umzusetzende funktionale und nicht-funktionale Anforderungen werden aufgestellt, sowie eine Übersicht von Systemen mit denen das System interagiert wird.

Das Themengebiet Systementwurf und Implementation befasst sich mit dem theoretischen und praktischen Lösen der im vorherigen Kapitel aufgestellten Anforderungen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich hierbei um eine alternative Implementation handelt, wird zur bestehenden C++ Implementation Bezug genommen. Auf architektonische Unterschiede im Systementwurf, die sich aufgrund von Sprach- und Bibliotheksunterschiede, werden hier genauer beschrieben.

Zuletzt wird eine Auswertung der Implementation aufgezeigt. TODO: michael.write_more();

2 Die Programmiersprache Rust

Rust hat als Ziel, eine sichere (siehe Abschnitt 2.12) und performante TODO: Systemprogrammiersprache zu sein, die ohne eine Laufzeit ausgeführt werden kann und TODO: ergonomisch nutzbar ist. Abstraktionen sollen die TODO: Ergonomie verbessern, aber keine unnötigen Performanceeinbußen verursachen (siehe Unterabschnitt 2.12.3).

Aus anderen Programmiersprachen bekannte Fehlerquellen – wie „dangling pointers“, „double free“ oder „memory leaks“ TODO: ref – werden durch strikte Regeln und mit Hilfe des Compilers verhindert. Im Gegensatz zu Programmiersprachen, die dies mit Hilfe einer Laufzeit ermöglichen (zbsp. Java oder C#), werden diese Regeln in Rust durch eine statische Lebenszeitanalyse (Abschnitt 2.8) und mit dem Eigentümerprinzip (Abschnitt 2.9) bei der Compilation überprüft und erzwungen.

Rust hat in den letzten Jahren viel an Beliebtheit gewonnen und scheint dem Anspruch eine sichere und performante Programmiersprache zu sein, gerecht zu werden:

> *„[..]Leute, die [..] sichere Programmierung haben wollen, [..] können das bei Rust haben, ohne [..] undeterministischen Laufzeiten oder Abstraktionskosten schlucken zu müssen. “* [Lei17, Felix von Leitner in einem Blogeintrag]
>
> *„[..] Rust makes it safe, and provides nice tools“* [Qui, Folie 130, Federico Mena-Quintero in „Ersetzen von C Bibliotheken durch Rust“]
>
> *„Rust hilft beim Fehlervermeiden“* [Grü17, Federico Mena-Quintero in einem Interview]
>
> *„Rust is [..] a language that cares about very tight control“* [fgi17, Diskussion zwischen Programmierern auf Reddit]

2.1 Geschichte

In 2006 begann Graydon Hoare die Programmiersprache Rust in seiner Freizeit als Hobbyprojekt zu entwickeln [Rusa]. Als Grund nannte er seine Unzufriedenheit mit der Programmiersprache C++, in der es sehr schwierig sei, fehlerfreien, speichersicheren und nebenläufigen Programmcode zu entwickeln. Zudem beschrieb er C++ als „ziemlich fehlerträchtig“ [Sch13].

TODO: (re)move? / quotation besser verpacken? in text einbinden? möglich? unnötig?

> *„It's not bad programmers, it's that C is a hostile language“* [Qui, S. 54]
>
> *„I'm thinking that C is actively hostile to writing and maintaining reliable code“* [Qui, S. 129]

Auch Federico Mena-Quintero – Mitbegründer des GNOME-Projekts TODO: cite `https://people.gnome.org/~federico/` or so – äußerte in einem Interview mit Golem im Juli 2017 seine Bedenken an der Verwendung der „feindseligen“ Sprache C [Grü17]. In Vorträgen TODO: nix mehrzahl? vermittelt er seither, wie Bibliotheken durch Implementationen in Rust ersetzt werden können [Qui].

Ab 2009 begann Mozilla die Weiterentwicklung finanziell zu fördern, als einfache Tests und die Kernprinzipien demonstriert werden konnten. Die Entwicklung findet dabei öffentlich einsehbar unter `https://github.com/rust-lang/rust` statt und wird dabei nicht ausschließlich von Mozilla Angestellten koordiniert.

Durch automatisierte Tests TODO: ref in Kombination mit drei Veröffentlichungskanälen (relese, stable und nightly) wird die Stabilität des Compilers und die der Standardbibliothek (Abschnitt 2.5) gewährleistet. Auf eine andere Art und Weise wäre eine öffentliche Entwicklung auf GitHub[1] nicht möglich, an der sich jeder – sowohl an Diskussionen als auch an Implementationen – beteiligen kann.

TODO: wo anders? make more text, make better text Bei Rust geht es in vielerlei Hinsicht darum, bekannte Fehlerquellen aus anderen Programmiersprachen zu unterbinden, aber gleichzeitig eine mindestens genau so gute Performance zu erreichen. TODO: hobbyprojekt, mozilla, open-source, Entwicklung auf GitHub - jeder kann sich beteiligen, test(coverage), automatisierte builds, stable/beta/nightly

[1] Plattform zum Hosten von git-Repositories inklusive eingebautem Issue-Tracker und Wiki. Änderungen an Quellcode können vorgeschlagen werden, und durch die Projektverantwortlichen übernommen werden. Bietet auch die Möglichkeit eine kontinuierlichen Integrationssoftware einzubinden, um automatisierte Tests auf momentanen Quellcode und auch für Änderungen auszuführen. Eine vorgeschlagene Änderung kann somit vor Übernahme auf Kompatibilität überprüft werden. TODO: .

2.2 Anwendungsgebiet

Das Ziel von Rust ist es, das Designen und Implementieren von sicheren, nebenläufig und auch praktisch tauglichen Systemen möglich zu machen [Rusa]. TODO: intro paragraph

Da Rust den LLVM[2]-Compiler nutzt, erbt Rust auch eine große Anzahl der Zielplattformen die LLVM unterstützt. Die Zielplattformen sind in drei Stufen unterteilt, bei denen verschieden stark ausgeprägte Garantien vergeben sind. Es wird zwischen

- „Stufe 1: Funktioniert garantiert“ (u.a. X86, X86-64),
- „Stufe 2: Compiliert garantiert“ (u.a. ARM, PowerPC, PowerPC-64) und
- „Stufe 3“ (u. a. Thumb (Cortex-Microcontroller))

unterschieden [Rusb]. Diese Unterscheidung wirkt sich auch auf die Stabilisierungsphase und Implementation neuer Funktionen aus (Beispiel „128-bit Integer Support“ [atu]).

2.3 Aufbau eines Projektverzeichnisses

Der Aufbau eines Rust Projektverzeichnis kann zwischen zwei verschiedenen Arten differenziert werden. Zum einen gibt es den klassische Aufbau, in dem lediglich der Programmcode liegt und der Compiler direkt aufgerufen wird. Zum anderen wird der Aufbau als Crate empfohlen TODO: cite, bei dem automatisch Abhängigkeiten aufgelöst aber auch Metainformationen bezüglich des Autors und der Version hinterlegt sind. Ein klassischer Aufbau ist nur selten anzutreffen.

2.3.1 Klassisch

```
src/
|-- main.rs
|-- functionality.rs
|-- module/
    |-- mod.rs
    |-- functionality.rs
    |-- submodule/
        |-- mod.rs
        |-- functionality.rs
```

Listing 2.1: Verzeichnisstruktur des Quelltext-Verzeichnisses.

Das Quelldatei-Verzeichnis sollte entweder eine *main.rs* für Ausführbare Programme oder eine *lib.rs* für Bibliotheken enthalten. Während der Paketmanager Cargo (Unterabschnitt 2.3.2) eine solche Benennung als Standardkonvention erwartet, kann bei manueller Nutzung des Compilers auch ein anderer Name für die Quelldatei vergeben werden.

Der Compiler startet in der Wurzeldatei und lädt weitere Module, die durch

[2] Früher „Low Level Virtual Machine“ [Wik17], heute Eigenname; ist eine „Ansammlung von modularen und wiederverwendbaren Kompiler- und Werkzeugtechnologien“ [LLVa]. Unterstützt eine große Anzahl von Zielplatformen, u.a. X86, X86-64, PowerPC, PowerPC-64, ARM, Thumb, ... [LLVb].

`mod module;` gekennzeichnet sind (ähnlich `# include "module.h"` in C/C++). Ein Modul kann dabei eine weitere Quelldatei oder ein ganzes Verzeichnis sein. Ein Verzeichnis wird aber nur als gültiges Modul interpretiert, wenn sich eine *mod.rs* Datei darin befindet.

Wie bereits angedeutet, wird in Rust nicht eine „Klasse“, Datenstruktur oder Aufzählung pro Datei erwartet (TODO: wie das bei Java der Fall ist), sondern eine Quelldatei entspricht einem Modul. Diese Umfasst in vielen fällen wenige aber mehrere Datenstrukturen, zugehörige Aufzählung und Fehlertypen.

2.3.2 Als Crate

Eine „Crate“ (dt. Kiste/KastenTODO: .) erweitert den klassischen Aufbau um eine *Cargo.toml* Datei, in der Metainformationen zum Projekt hinterlegt werden. Durch die Benutzung des Werkzeugs „Cargo“ (dt. Fracht/LadungTODO: ., entwickelt und angeboten von der Rust TODO: Gemeinschaft) können Abhängigkeiten automatisch aufgelöst, heruntergeladen und compiliert werden.

```
1 crate/
2 |-- Cargo.toml
3 |-- src/
4     |-- ...
```

Listing 2.2: Vereinfachte Verzeichnisstruktur einer „crate“

TODO: text is shit Eine offizielles Verzeichnis mit über 14.000 Crates (Stand 5. März 2018) ist unter `https://crates.io/` erreichbar. Cargo lädt standardmäßig Abhängigkeiten von dort nach. Jeder kann neue Bibliotheken veröffentlichen. Für den Namen gilt dabei „first come, first serve“.

Eine Crate kann entweder ein ausführbares Programm oder eine Bibliothek sein. Davon abhängig is die Wurzeldatei *src/main.rs* (für ein ausführbares Programm) oder *src/lib.rs* (für eine Bibliothek). Mit dem erzeuge einer Crate (`cargo --bin meineCrate` bzw. `cargo --lib meineBib`) wird auch gleichzeitig git[3] für das Verzeichnis initialisiert.

Es wird allgemein empfohlen, ein Projekt als Crate zu betreiben TODO: cite.

TODO: Cargo.toml example?

2.4 Hello World

[3] (dt. Blödmann) ist eine Software zur Versionierungs von Quelldateien, entwickelt von Linus Torvalds 2005. TODO: cite

```
1 fn main() {
2     println!("Hello World");
3 }
```

Listing 2.3: „Hello World“ in Rust

Der Programmcode in Listing 2.3 gibt auf der Konsole `Hello World` aus. Das `fn` die Funktion `main` definiert und diese der Startpunkt des Programms ist, wird wenige überraschen. Den meisten wird vermutlich eher das Ausrufezeichen in Zeile 2 auffallen, da es auf den ersten Blick dort nicht hingehören sollte. In Rust haben Ausrufezeichen und Fragezeichen besondere Bedeutungen, weswegen die Verwendung in Zeile 2 trotzdem richtig ist.

Die Bedeutung des Fragezeichens dient zum schnelleren Auswerten von `Rusult<_, _>` Werten und wird in TODO: ref genauer erklärt. Das Ausrufezeichen kennzeichnet, dass der ansonsten augenscheinliche Funktionsaufruf tatsächlich ein Aufruf einer Makrofunktion ist.

Eine Funktion `println` gibt es nicht, auch keine aus C erwarteten Funktionen wie `printf`, `fputs`, `sprintf`. Eine Ausgabe erfolgt durch das `println!` Makro, welches die Makros `format!` TODO: ref und `writeln!` Kombiniert und das `Write`-Traits TODO: ref, welches von der Standardausgabe implementiert wird, nutzt TODO: verify, cite?.

TODO: hmmmm Ein kleines Beispiel, viele versteckte Mechaniken zur Laufzeitoptimierung aber trotzdem handlich und leserlich – Rust.

2.4.1 Einfache Datentypen

Die in der `core` Crate (Unterabschnitt 2.5.1) zur Verfügung gestellten Datentypen sind im wesentlichen die üblichen Verdächtigen: `bool` für boolische Ausdrücke; `char` für ein einzelnes Unicode Zeichen; `str` für eine Zeichenkette; `u8`, `i8`, `u16`, `i16`, `u32`, `i32`, `u64`, `i64`, (bald `u128`, `i128` [Mat16]) und `usize`, `isize` für ganzzahlige Werte; `f32`, `f64` für Fließkommazahlen in einfacher und zweifacher Präzision; Arrays und Slices [Rusd].

Ganzzahlige primitive Datentypen mit `u` beginnend sind vorzeichenlos („unsigned“) und mit `i` beginnend sind vorzeichenbehaftet („signed“), gefolgt mit der Anzahl der Bits die der Datentyp groß ist. TODO: shit sentence Die einzige Ausnahme bildet der Datentyp `usize` bzw `isize`, da dieser immer so groß ist, wie die Architektur der Zielplattform (X86 -> 32 Bit, X86_64 -> 64 Bit). Ein Anwendungsfall von `usize` ist dabei die Indexierung eines Arrays oder einer Slice (TODO: siehe nächster paragraph?), da der Index hierfür niemals negativ und niemals größer sein kann, wie die Architektur der Zielplattform darstellen kann TODO: erwähnen?: größer könnte man garnicht addressieren.

Durch dieses Schema bei der Bezeichnung der Datentypen wird eine Verwirrung wie zum Beispiel in C unterbunden, wo die primitiven Datentypen (`short`, `int`, `long`, ..) keine

definierte Größe haben, sondern dies abhängig vom eingesetzten Compiler und der Zielplattform ist [DD13, S. 187]. Erst ab C99 wurden zusätzliche, aber optionale, ganzzahlige Datentypen mit bestimmter Größe definiert [GD14, S. 141].

Konstanten können eindeutig einem Datentyp zugewiesen werden, indem dieser angehängt wird. `4711u16` ist somit vom Datentyp `u16`. Des weiteren dürfen Ziffern durch beliebiges setzen von `_` getrennt werden, um die Lesbarkeit zu erhöhen: `1_000_000_f32`. Eine Schreibweise in Binär (`0b0000_1000_u8`), in Hexadezimal (`0xFF_08_u16`) oder Oktal (`0o64_u8`) ist auch möglich. Konstante Zeichen und Zeichenketten können auch als Bytes (`b'b'` entspricht `u8` und `b"abc"` entsricht `&[u8]`) TODO: hinterlegt werden.

Arrays haben immer eine zur Compilezeit bekannte Größe und Initialisierungswert (siehe Unterabschnitt 2.12.4). Dynamische Arrays gibt es nicht, da diese zu oft Fehlerquellen seien TODO: cite! (Abhilfe: `Vec<_>`, siehe Unterabschnitt 2.5.2). Die Notation ist `[<Füllwert>; <Größe>]`. `[0_u8; 128]` steht also für ein 128 Byte langes Byte Array, das mit 0-en vom Datentyp `u8` gefüllt ist.

„Slices“ (dt. Scheibe/Stück) bezeichnet Rust Referenzen auf Arrays, die auch nur Teilbereiche umfassen können. Die Größe einer Slice wird dabei mit der Referenz auf den Startwert gespeichert TODO: explain Fat-Pointer? und bei Funktionsaufrufen übergeben. Ein zusätzlicher Parameter für die Größe eines Buffers, wie in C üblich, ist somit unnötig. Die Notation ähnelt die eines Arrays, aber ohne Größenspezifikation: `[<Datentyp>]`. Eine Slice kann von einem Array oder einer anderen Slice erzeugt werden, dabei wird der Start- und Endindex des Teilbereiches angegeben. Falls kein Start- oder Endindex angegeben wurde, wird das jeweilige Limit übernommen (0, max) TODO: shit text: `let slice : &[u8] = &array[..8];`

2.4.2 Zusammengesetzen Datentypen

Die Programmiersprache Rust kennt neben den primitiven TODO: skalaren Datentypen (Unterabschnitt 2.5.1) weitere Möglichkeiten Daten zu organisieren:

- ein Tupel, das mehrere Werte namenlos zusammenfasst: `(f32, u8)`,
- eine Datenstruktur, die wie in C Datentypen namenbehaftet zusammenfasst: `struct Punkt { x: f32, y: f32 }`
- eine Aufzählung: `enum Bildschirm { Tv, Monitor }`. TODO: think better!

Im Vergleich zu C kann ein Eintrag in einem `enum` gleichzeitig Daten wie eine Datenstruktur oder ein Tupel halten, oder lediglich einen Ganzzahlwert repräsentieren. Mit dem `type` Schlüsselwort können Aliase erstellt oder im Falle von FFI (siehe Abschnitt 2.13) aufgelöst werden: `type Vektor = (f32, f32);`

Neue Datentypen einer Struktur oder Aufzählung können mit `pub` oder `pub(crate)` gekennzeichnet werden (siehe Unterabschnitt 2.4.6).

TODO: pub pub(crate)

TODO: seit neuestem union, mention?

2.4.3 Funktionen, Ausdrücke und Statements

Funktionen werden durch `fn` gekennzeichnet, gefolgt mit dem Funktionsnamen, der Parameterliste und zuletzt der Datentyp für den Rückgabewert. Die Parameterliste unterscheidet sich von bekannten Programmiersprachen wie C und Java, indem zuerst der Variablenname und darauf folgend der Datentyp notiert wird.

```
1 fn add(a: f32, b: f32) -> f32 {
2     a + b
3 }
```

Listing 2.4: Beispiel einer Funktion

Obwohl in Zeile 2 von Listing 2.4 kein `return` zu sehen ist, wird trotzdem das Ergebnis der Addition zurückgegeben. Dies liegt daran, da in Rust vieles ein Ausdruck ist und somit einen Rückgabewerte liefert [Ruse]. Auch ein if-else ist ein Ausdruck und kann einen Rückgabewert haben. Ein bedingter Operator (?:) is somit unnötig, da stattdessen ein if-else verwendet werden kann: `let a = if b { c } else { d };`. Auch eine Zeile mit einen Semikolon hat einen Rückgabewert: `()`. TODO: explain () void

2.4.4 Implementierung einer Datenstruktur

Zu einer Datenstruktur oder Aufzählung kann ein individuelles Verhalten implementiert werden. In dieser Kombination ähneln diese Konstrukte sehr einer Klasse aus bekannten objektorientierten Programmiersprachen, wie zum Beispiel Java oder C++. TODO: ref rust OOP

Einen Konstruktor gibt es jedoch nicht, lediglich die Konvention, eine statische Funktion `new` stattdessen zu verwenden [Rusf]:

```
1 struct Punkt {
2     x: f32,
3     y: f32,
4 }
5
6 impl Punkt {
7     pub fn new(x: f32, y: f32) -> Punkt {
8         Punkt { x, y }
9     }
```

```
10 }
```

Listing 2.5: Punkt Datenstruktur mit einem „Konstruktor“

In seltenen Fällen wird auch `Default` implementiert (siehe Unterabschnitt 2.4.5), wodurch eine statische Funktion `default()` als Konstruktor ohne Parameter bereitgestellt wird.

Da eine Funktionsüberladung nicht möglich ist, soll bei weiteren Konstruktoren ein sprechender Name verwendet werden. Der `Vec<_>` der Standardbibliothek (siehe Unterabschnitt 2.5.2) bietet zum Beispiel zusätzlich `Vec::with_capacity(capacity: usize)` an, um einen Vektor mit einer bestimmten Größe zu initialisieren.

Für Funktionen können auch die Zugriffsmodifikatoren festgelegt werden (siehe Unterabschnitt 2.4.6). TODO: pub pub(crate)

2.4.5 Generalisierung durch Traits

Ähnlich wie Java bietet Rust durch einen eigenen Typ die Möglichkeit, ein gewünschtes Erscheinungsbild zu definieren, ohne gleichzeitig eine Implementation vorzugeben. Im Gegensatz zu Java wird dieser Typ in Rust „Trait“ (dt. Merkmal) genannt.

Für Merkmale werden Funktionen in einem entsprechenden `trait <Name> { }`-Block ohne Rumpf definiert. Optional kann auch ein Standardrumpf implementiert werden, der bei einer Spezialisierung überschrieben werden darf.

TODO: dafuq u talking about Um ein Merkmal als Parameter zu übergeben, gibt es drei Möglichkeiten:

- Leihen mittels Referenz: `fn foo(bar: &Bar)` oder `fn foo(bar: &mut Bar)`
- Eigentümerschaft übertragen durch TODO: Trait-Object: `fn foo(bar: Box<Bar>)`
- Als TODO: spezialisierte Funktion `fn foo<T: Bar>(bar: T)`

Eine Deklaration `fn foo(bar: Bar)` für das Merkmal `Bar` ist nicht möglich, da zur Compilezeit eine eindeutige Größe nicht bekannt ist.

Eine spezialisierte Funktion verhält sich ähnlich wie eine TODO: Templateklasse in C++: der Compiler erzeugt für jeden Spezialisierung eine Kopie der Funktion und setzt den Typ ein. Dies erlaubt auch eine Optimierung für den entsprechenden Typ TODO: cite.

Trait-Objekt

T: Blubber

Ähnlich wie in C++ <T: Blubber>

TODO: Drop, Sized, Sync, Send, Copy, Clone, Debug, Display, Default, PartialEq, PartialOrd

TODO: Derive

TODO: <T: Blubber> vs Box<T> (Speicherorganisation, performance)

TODO: you idiot forgot an subsub-idea

2.4.6 Zugriffsmodifikatoren

Für Datenstrukturen, Aufzählungen, Merkmale und Funktionen können Zugriffsmodifikatoren festgelegt werden. Für einen globalen Zugriff sorgt ein vorangestelltes `pub`, für einen auf die aktuelle Crate beschränkten Zugriff sorgt `pub(crate)`. Bei keiner Festlegung wird standardmäßig der Zugriff auf das aktuelle Modul beschränkt.

2.4.7 Ausdruck/Expression vs Statement

2.4.8 Matches

```
match foo.bar() { }
```

Verkürzt

```
if let Ok(line) = blubber.readline() { }
```

```
if let Some(value) = foo.bar() { }
```

2.4.9 Namens- und Formatierkonvention / Styleguide

[Rusc]

2.4.10 Formatierung

`format!` all se things

TODO: formatierung

TODO: let, optionaler datentyp, macros, generics, () statt void

TODO: official format/naming convetion, use, function, macro

TODO: Variables, Structs, Enums, Traits

TODO: type safety langauge

TODO: Rust -> MIR -> assembler

TODO: MIR/assemblerbeispiele?
[BO17]

TODO: pattern matching

2.4.11 Niemals nichts und niemals unbehandelte Ausnahmen

Rust kennt `null` (-Pointer) nicht, bietet aber in `core` (Unterabschnitt 2.5.1) `Option<_>` als Ersatz an. Dieser Datentyp erzwingt eine Prüfung vor dem Zugriff auf den optionalen Wert.

TODO: IMMER INITIALISIERT, sonst kein zugriff erlaubt

Für die Fehlerbehandlung wird nicht auf ein Exception-Handling zurückgegriffen, sondern ein eigener Datentyp angeboten, der entweder den Rückgabewert enthält, oder aber einen Fehler: `Result<_, _>` (siehe Unterabschnitt 2.12.5).

Durch den TODO: Fragenzeichenoperator kann trotzdem ein ähnliches Verhalten wie beim auftreten einer Ausnahme in Java oder C++ erzielt werden. TODO: example?

TODO: ref if let Ok(_)

2.4.12 Besorgter Compiler

TODO: many warnings

2.5 Standardbibliothek

Die Rust Community ist darum bemüht, die Standardbibliothek sehr leichtgewichtig zu halten. Nicht eindeutig als fundamental eingestufte Funktionalität wird lieber als Crate auf [crates.io] angeboten anstatt die Standardbibliothek übernommen zu werden TODO: prove via ref. Sie wird selbst als eine Crate (siehe Unterabschnitt 2.3.2) zur Verfügung gestellt, auf die standardmäßige eine Abhängigkeit besteht. Für die Verwendung von Rust im Embedded Bereich, kann diese Abhängigkeit, die für Microcontroller sehr umfangreich ist, durch `#![no_std]` unterbunden werden. Daraufhin sind nur noch die in der `core` Crate zur Verfügung gestellten Sprachkonstrukte verwendbar.

2.5.1 core

2.5.2 std

Die Crate `std` erweitert `core` um viele TODO: containers, collections, rc, arc, mutex, rwlock, platform abstractions: threads, tcp, udp. `Vec<_>` `HashMap<_, _>` `String` `Box` TODO: heap dinge

TODO: core, datatypes, arrays slices, no null „billion dollar mistake“

TODO: std, Vec, str, String, no_std für embedded

TODO: println!, writeln! formatting

https://www.youtube.com/watch?v=-Tj8Q12DaEQ
TODO: static type system with local type inference

2.6 Alles hat einen Rückgabewert

TODO: () ??, Statement vs

2.7 use mod pub

2.8 Geltungsbereich / Memory Management, Lebenszeit

Rust benutzt ein „statisches, automatisches Speicher Management – keinen Garbage Collector“ [Gil17]. Das bedeutet, die Lebenszeit einer Variable wird statisch während der Compilezeit anhand des Geltungsbereichs ermittelt. Durch diese statische Analyses wird eine Variable durch eine automatisierte Anweisung, die der Compiler einfügt, freigegeben. Dies gilt auch für Variablen auf dem Heap. Ein Manuelles `free(*void)` wie in C/C++ üblich entfällt.

```
fn main() { // neuer Scope
    let mut a = Box::new(5); // 5 kommt auf den Heap
    { // neuer Scope
        let b = Box::new(10); // 10 kommt auch auf den Heap
        *a += *b; // a ist nun 15
    } // Lebenszeit von b zuende, Speicher wird freigeben
    println!("a: {}", a); // Ausgabe: "a: 15"
} // Lebenszeit von a zuende, Speicher wird freigegeben
```

Listing 2.6: Geltungsbereich von Variablen

Als Alternative kann eine Variable oder Datenstruktur auch vorzeitig durch Aufruf von `std::mem::drop(_)` freigegeben werden. Die optionalen Implementation von `std::op::Drop` TODO: trait? ref? kommt der Implementation des Destruktors aus C++ gleich.

„static automatic memory management“ - no garbage collection [Gil17] TODO: ßtatic automatic memory management no garbage collection

TODO: while compiling, does not compile on error / unprovable code, trait Drop

TODO: autodrop, auto file close

2.9 Eigentümer- und Verleihprinzip

Bereits 2003 beschreibt Bruce Powel Douglass im Buch „Real-Time Design Patterns“, dass „passive“ Objekte ihre Arbeit nur in dem TODO: Thread-Kontext ihres „aktiven“ Eigentümers tätigen sollen [Dou03, S. 204]. In dem beschriebenen „Concurrency Pattern“ wird eine klare Zuordnung getätigt, welche Objekte welchem anderen Objekt als Eigentümern zugeordnet sind, um eine sicherere Nebenläufigkeit zu schaffen TODO: shit.

Diese Philosophie setzt Rust direkt in der Sprache um, so darf eine Variable immer nur einen Eigentümer haben. Zusätzlich zu einem immer eindeutig identifizierbaren Eigentümer für eine Variable, kann diese auch ausgeliehen werden; entweder exklusiv mit sowohl Lese- als auch Schreiberlaubnis, oder mehrfache mit nur Leseerlaubnis.

Eigentümerschaft kann auch übertragen werden, der alte Eigentümer kann danach nicht mehr auf den Wert zugreifen.

Die Garantie nur einen Eigentümer, eine exklusive Schreiberlaubnis oder mehrere Leseerlaubnisse auf eine Variable zu haben, wird durch die statische Lebenszeitanalyse garantiert (siehe Abschnitt 2.8).

TODO: Split example, explain more

```
fn main() {
    let mut a = Box::new(1.0_f32); // Eigentümer der neuen
                                   // Heap-Variable ist a

    {
        let b = &a; // a wird an b mit Lesezugriff verliehen
        let c = &a; // a wird an c mit Lesezugriff verliehen

        println!("a: {}", a); // "a: 1"
        println!("b: {}", b); // "b: 1"
        println!("c: {}", c); // "c: 1"

        // let d = &mut a; // Nicht erlaubt: Es existieren
                           // verliehene Lesezugriffe

        // *a = 7_f32; // Nicht erlaubt: Es existieren
                       // verliehene Lesezugriffe

    } // Ende von b und c, a nicht mehr verliehen

    {
        let e = &mut a; // Leihe a mit Schreiberlaubnis
        **e = 9_f32;    // Setze Inhalt von a

        // println!("a: {}", a); // Nicht erlaubt: exklusiver
                                 // Zugriff an e verliehen

        println!("e: {}", e); // "e: 9"

    } // Ende von e, a nicht mehr verliehen

    println!("a: {}", a); // "a: 9"
    let f = a; // Neuer Eigentümer der Heap-Variable ist f
    // *a = 12.5_f32; // Nicht erlaubt: Nicht mehr Eigentümer
    // *f = 12.5_f32; // Nicht erlaubt: f nicht änderlich
    println!("f: {}", f); // "f: 9"
}
```

Listing 2.7: Eigentümer und Referenzen von Variablen

TODO: missing move? orly

2.10 Rust als funktionale Programmiersprache

TODO: functional programming -> no global state, no exceptions, find literature TODO: prove via code

2.11 Rust als Objekt-Orientierte Programmiersprache

TODO: trait TODO: prove via design patterns, a few? from faq:: Is Rust object oriented? It is multi-paradigm. Many things you can do in OO languages you can do in Rust, but not everything, and not always using the same abstraction you're accustomed to.

2.12 Versprechen von Rust

2.12.1 Sichere Nebenläufigkeit

TODO: Send, Sync, No dataraces weil Ownership Abschnitt 2.9, Channel, Mutex, RwLock

TODO: Datarace benötigt immer einen schreibenden + min einen lesenden gleichzeitig

2.12.2 Keine vergessene Null-Pointer Prüfung

Wie in Unterabschnitt 2.4.11 beschrieben, kennt Rust keinen `NULL` Pointer. Daher ist es auch nicht möglich, durch Nachlässigkeit auf den falschen Speicher zuzugreifen. Eine Prüfung kann entweder durch ein `match` (siehe Unterabschnitt 2.4.8) oder verkürzt durch ein `if let Some(wert) = optional { /* tu etwas mit wert */ }` geschehen.

2.12.3 Zero Cost Abstraction

Trotz der vielen verwendeten Abstraktionen möchte Rust dadurch möglichst keine weitere Laufzeitkosten erzeugen.

Der `Option<_>` Datentyp wir zum Beispiel tatsächlich als Pointer dargestellt, der bei `NULL` `None` ist und ansonsten `Some(_)` [BO17, S. 100]. Somit wird eine Überprüfung erzwungen, ohne dabei Laufzeitkosten erzeugt zu haben.

Bei dem atomaren Referenzzähler `Arc<_>` ist der Zähler im Heapspeicher direkt vor dem eigentlichen Wert und nicht in einem extra Speicherbereich TODO: cite. Ein weiteren indirekten Speicherzugriff mit Laufzeitkosten wird somit verhindert.

2.12.4 Kein undefiniertes Verhalten

TODO: auch: no unitialized usage TODO: ref oreilly TODO: explain option

2.12.5 Keine vergessene Fehlerprüfung

```
1 #include <stdio.h>
2
3 void main(void) {
4    FILE *file = fopen("private.key", "w");
5    fputs("42", file);
6 }
```

Listing 2.8: Negativbeispiel: Fehlende Fehlerprüfung in C

In Listing 2.8 sind mindestens zwei Fehler versteckt, die aber keinen Compileabbruch auslösen, sondern sich zur Laufzeit zeigen können. Der erste Fehler ist eine fehlende Überprüfung des Rückgabewertes von `fopen` in Zeile 4, da dieser `null` ist, falls das Öffnen der Datei fehlgeschlagen ist. Der Versuch in die Datei zu schreiben in Zeile 5 kann daraufhin in einen Speicherzugriffsfehler resultieren und das Programm abstürzen lassen. TODO: vergleich Java/C++(++) exceptions (vergessen von fehlerbehandlung in c++(++) trotzdem möglich)

In Rust wird weder eine Ausnahme geworfen, noch ein Rückgabewert zurück gegeben, der ohne Prüfung verwendet werden kann:

```
1  use std::fs::File;
2  use std::io::Write;
3
4  fn main() {
5      match File::open("private.key") {
6          Err(e) => println!("Fehler aufgetreten: {}", e),
7          Ok(mut file) => {
8              let _ = write!(file, "42");
9          }
10     }
11 }
```

Listing 2.9: Positivbeispiel: Keine fehlende Fehlerprüfung in Rust

Der Rückgabewert von `File::open("private.key")` in Zeile 5 von Listing 2.9 ist vom Typ `Result<File, Error>`. Auf den eigentlichen Rückgabewert `File` kann nicht ohne eine Fehlerprüfung zugegriffen werden, da dies `Result` verhindert. Eine Fehlerprüfung kann wie in Zeile 5 mit einem `match` passieren, oder auch mit anderen Funktionen wie `.unwrap()`, `.unwrap_or()` ... https://doc.rust-lang.org/std/result/enum.Result.html die dann aber eine `panic!` TODO: ref auslösen, falls ein Fehler vorliegt – somit wird ein undefiniertes Verhalten unterbunden TODO: ref.

TODO: Der zweite Fehler...? Durch die Lebenszeitanalyse TODO: ref in Rust ist der Geltungsbereich der `File` Variable bekannt, deshalb wird in dem Beispiel in Rust in Listing 2.9 die Datei auch wieder ordnungsgemäß geschlossen, während dies im C Beispiel in Listing 2.8 nicht der Fall ist.

TODO: explain result

2.12.6 No dangling pointer

TODO: src https://www.youtube.com/watch?v=d1uraoHM8Gg

2.13 Einbinden von Bibliotheken

Externe Datentypen

Rust bietet durch das Foreign Function Interface[4] die Möglichkeit, andere (System-)Bibliotheken einzubinden. Entsprechende Strukturen und Funktionen werden durch einen `extern`-Block oder im Falle von Strukturen stattdessen optional mit einem `#[repr(C)]` gekennzeichnet.

In einem Beispiel, soll die Nutzung von Foreign Function Interface demonstriert werden.

[4] Beschreibt den Mechanismus wie ein Programm das in einer Programmiersprache geschrieben ist, Funktionen aufrufen kann, die einer einer anderen Programmiersprache geschrieben wurden. [Wik18a]

```c
typedef struct PositionOffset {
    long position_north;
    long position_east;
    long *std_dev_position_north; // OPTIONAL
    long *std_dev_position_east;  // OPTIONAL

    // ...
} PositionOffset_t;
```

Listing 2.10: Ausschnitt von „PositionOffset“ TODO: ref mecview lib in C, autgen ASN

Die Struktur in Listing 2.10 muss zur Nutzung in Rust zuerst bekannt gemacht werden. Dabei gibt es mehrere Möglichkeiten:

1. Falls der Aufbau der Struktur nicht von Bedeutung ist, kann es ausreichen, den Datentyp lediglich bekannt zu machen: `#[repr(C)] struct PositionOffset;`
2. Der Aufbau ist wie bei Punkt 1 unbedeutend, es soll aber ausdrücklich auf einen externen Datentyp hingewiesen werden: `extern { type PositionOffset; }` [Rush] (TODO: nightly)
3. Der Inhalt der Struktur ist von Bedeutung, da darauf zugegriffen werden soll oder in Rust eine Instanz erzeugbar sein soll. In diesem Fall muss die Struktur komplett wiedergegeben werden:

```rust
use std::os::raw::c_long;

#[repr(C)]
pub struct PositionOffset {
    pub position_north: c_long,
    pub position_east: c_long,
    pub std_dev_position_north: *mut c_long,
    pub std_dev_position_east: *mut c_long,
    // ...
}
```

Listing 2.11: Ausschnitt von „PositionOffset“ TODO: ref mecview lib in Rust

In Listing 2.11 ist die Struktur „PositionOffset“ definiert, die durch das Attribut `#repr(C)` wie eine C-Struktur im Speicher organisiert wird. Somit ist sie kompatibel zu der C-Struktur aus Listing 2.10.

Wenn auf eine C-Struktur zugegriffen wird, sollten auch, wie in Listing 2.11 zu sehen, spezielle Datentypen (`c_long`, `c_void`, `c_char`, ...) verwendet werden, um die Kompatibilität mit verschiedenen Systemen und C-Compilern zu wahren. TODO: u32 immer 32bit, aber int nicht immer gleich (Beispiel!?) –> Probleme

Ein C-Pointer `*long` wird in Rust „Raw-Pointer“ genannt und entweder `*mut c_long` oder `*const c_long` geschrieben. Der Unterschied ist wie zwischen `&mut c_long` und `&c_long` und dient dem TODO: Rusttypsystem!? ref!? zur Unterscheidung TODO: Erzwinungt im Besitz von entsprechender Mutability zu sein, während es für die C-Seite keinen Unterschied macht [Rusg]:

Referenz in Rust	Raw-Pointer in Rust	C-Pointer
`&mut c_long`	`*mut c_long`	`long*`
`&c_long`	`*const c_long`	`long*`

Abbildung 2.1: Vergleich Rust Raw-Pointer und Referenz zu C-Pointer

Externer Funktionsaufruf

Während eine Struktur, die eine externe Struktur wiedergibt, sich optional in einem `extern {}` Block befinden kann, ist es zwingend, eine externe Funktionen darin bekannt zu machen:

```
1  use std::os::raw::c_void;
2
3  #[link(name = "messages", kind = "static")]
4  extern {
5      type asn_TYPE_descriptor_s;
6      type asn_enc_rval_t;
7
8      fn uper_encode_to_buffer(
9          type_descriptor: *const asn_TYPE_descriptor_s,
10         struct_ptr: *const c_void,
11         buffer: *mut c_void,
12         buffer_size: usize,
13     ) -> asn_enc_rval_t;
14 }
```

Listing 2.12: Externe Funktionsdefinition der ASN.1 Funktion zum Enkodieren

Wie in Listing 2.12 zu sehen ist, können auch `extern {}` Blöcke mit Attributen versehen werden. Zwingend ist bei der Verwendung eines `#[link(..)]` Attributes der Name der

Bibliothek, auf die sich der im `extern {}` Block stehende Code bezieht. Optional kann auch wie in Listing 2.12 die Art der TODO: Linkung (dylib, static) angegeben werden.

Die Art der Definition einer externen Funktion unterscheidet sich nicht von einer normalen Funktionsdefinition. Es sollten aber, wie in Abschnitt 2.13 beschrieben, zu C bzw. der externen Sprache kompatiblen Datentypen verwendet werden.

2.14 Kernfeatures

https://www.youtube.com/watch?v=d1uraoHM8Gg
TODO: no need for a runtime, all static analytics
TODO: memory safety
TODO: data-race freedom
TODO: active community
TODO: concurrency: no undefined behavior
TODO: ffi binding Foreign Function Interface
TODO: zero cost abstraction
TODO: package manager: cargo

https://www.youtube.com/watch?v=-Tj8Q12DaEQ
TODO: static type system with local type inference
TODO: explicit notion of mutability
TODO: zero-cost abstraction *(do not introduce new cost through implementation of abstraction)
TODO: errors are values not exceptions TODO: no null
TODO: ßtatic automatic memory management no garbage collection
TODO: often compared to GO and D (44min)

2.15 Schwächen

https://www.youtube.com/watch?v=-Tj8Q12DaEQ
TODO: compile-times
TODO: Rust is a vampire language, it does not reflect at all!
TODO: depending on the field -> majority of libraries?

2.16 Performance Fallstricke

TODO: [Llo]

2.17 Beispiele von Verwendung von Rust

TODO: firefox

https://www.youtube.com/watch?v=-Tj8Q12DaEQ
TODO: GTK binding heavily to rust

TODO: unstable TODO: ffi

3 Hochperformante, serverbasierte Kommunikationsplattform

3.1 Hochperformant -> parallel?

3.2 Serverbasierte Kommunikationsplattform

3.3 Low-Latency + Entwurfsmuster + Patterns? + Algorithmen?

3.4 ASN.1

Die Notationsform ASN.1[1] ermöglicht abstrakte Datentypen und Werte zu beschreiben [Jr93]. Die Beschreibungen können anschließend zu Quellcode einer theoretisch[2] beliebigen Programmiersprache compiliert werden. Beschriebene Datentypen werden dadurch als native Konstrukte dargestellt und können mittels einer der standardisierten (oder auch eigenen [ITUb]) Encodierungen serialisiert werden.

Um den Austausch zwischen verschiedenen Anwendungen und Systemen zu ermöglichen, sind von der TODO: ITU bereits einige Encodierungen standardisiert [ITU15a, S. 8]. Für diese Arbeit ist aber einzig der PER Standard relevant, da der Server diese Encodierung verwenden muss, um mit den Sensoren und den Autos zu kommunizieren (siehe TODO: ref requirements / analyse).

Die anderen bekannteren Verfahren werden deshalb nur kurz erwähnt:

- **BER** (Basic Encoding Rules): Flexible binäre Encodierung [Wik18b], zu finden in X.690 [ITU15b]
- **CER** (Canonical Encoding Rules): Reduziert BER mit der Restriktion die Enden von Datenfelder speziell zu Markieren anstatt deren Größe zu übermitteln, eignet sich gut für große Nachrichten [Wik18b], zu finden in X.690 [ITU15b]
- **DER** (Distinguished Encoding Rules): Reduziert BER durch die Restriktion Größeninformationen zu Datenfeldern in den Metadaten zu übermitteln, eignet sich gut für kleine Nachrichten [Wik18b], zu finden in X.690 [ITU15b]
- **XER** (XML Encoding Rules): Beschreibt den Wechsel der Darstellung zwischen ASN.1 und XML, zu finden in X.693 [ITU15c]

TODO: isdn

[ITUa]

> *„ ASN.1 has a long record of accomplishment, having been in use since 1984. It has evolved over time to meet industry needs, such as PER support for the bandwidth-constrained wireless industry and XML support for easy use of common Web browsers. “* [ITUa]

[1] Abstract Syntax Notation One

[2] Es gibt keine Einschränkungen seitens des Standards, aber entsprechende Compiler zu finden erweist sich als schwierig TODO: ref impl Schwierigkeiten mit ASN+Rust

3.4.1 PER

Die Packed Encoding Rules werden in in X.691 [ITU15a] beschrieben. Sie beschreiben eine Encodierung, die genutzt werden kann, um beschriebene Datentypen möglichst kompakt – also in wenigen Bytes – zu serialisieren.

TODO: sources: Für den Einsatz im Mobilfunknetz ist diese Encodierung sehr beliebt, da bei der Übermittlung einer Nachricht kein anderen Kommunikationsteilnehmer auf dieser Frequenz eine weiter Nachricht übermitteln kann. Eine kürzere Nachricht blockiert eine Frequenz kürzer, weshalb kürzere Nachrichten einen höheren Durchsatz erlaubt. Im Mobilfunkbereich ist dies von besonderer Bedeutung, da das Medium von vielen Teilnehmern gleichzeitig geteilt wird. TODO: michael.refactor_this_shit()

3.5 Stand der Technik (c++ Version) MEC-View Server und Umgebung

4 Anforderungen

4.1 Funktionale Anforderungen

4.2 Nichtfunktionale Anforderungen

4.3 Kein Protobuf weil

5 Systemanalyse

5.1 Systemkontextdiagramm

5.2 Schnitstellenanalyse

5.3 C++ Referenzsystem

TODO: Design Pattern, Gamma et al, four important aspects TODO: Real Time Design Patterns Buch: Ab Seite 141, verschiedene Systempatterns, microkernel [Dou03, S. 151]? channel architektur pattern [Dou03, S. 167]?

TODO: hard real-time [Dou03, S. 75]

TODO: soft real-time [Dou03, S. 76]

TODO: Message Queuing Pattern [Dou03, S. 207]

6 Systementwurf

6.1 Änderungen bedingt durch Rust

7 Implementierung

TODO: Schwierigkeiten: FFI binding, manuell -> meh, also generieren

8 Auswertung

9 Zusammenfassung und Fazit

Literatur

[atu] aturon. GitHub. Tracking issue for 128-bit integer support (RFC 1504). Englisch. URL: https://github.com/rust-lang/rust/issues/35118#issuecomment-278078118 (besucht am 19. 02. 2018).

[Bla15] Jim Blandy. Why Rust? Trustworthy, Concurrent System Programming. Englisch. 2015. URL: http://www.oreilly.com/programming/free/files/why-rust.pdf (besucht am 01. 06. 2017).

[BO17] Jim Blandy und Jason Orendorff. Programming Rust. Fast, Safe Systems Development. O'Reilly Media, Dez. 2017. ISBN: 1491927283.

[DD13] P.J. Deitel und H. Deitel. C for Programmers with an Introduction to C11. Deitel Developer Series. Pearson Education, 2013. ISBN: 9780133462074.

[Dou03] B.P. Douglass. Real-time Design Patterns: Robust Scalable Architecture for Real-time Sys Addison-Wesley object technology series Bd. 1. Addison-Wesley, 2003. ISBN: 9780201699562.

[fgi17] fgilcher. Subreddit Rust. fgilcher kommentiert. Englisch. 3. Nov. 2017. URL: https://www.reddit.com/r/rust/comments/7amv58/just_started_learning_rust_and_was_wondering_does/dpb9qew/ (besucht am 14. 02. 2018).

[Gil17] Florian Gilcher. GOTO 2017. Why is Rust Successful? Englisch. 6. Dez. 2017. URL: https://www.youtube.com/watch?v=-Tj8Q12DaEQ (besucht am 21. 02. 2018).

[GD14] J. Goll und M. Dausmann. C als erste Programmiersprache: Mit den Konzepten von C11. SpringerLink : Bücher. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. ISBN: 9783834822710.

[Grü17] Sebastian Grüner. „C ist eine feindselige Sprache". Der Mitbegründer des Gnome-Projekts Deutsch. 22. Juni 2017. URL: https://www.golem.de/news/rust-c-ist-eine-feindselige-sprache-1707-129196.html (besucht am 14. 02. 2018).

[ITUa] International Telecommunication Union (ITU). Introduction to ASN.1. ASN.1 Project. Englisch. URL: https://www.itu.int/en/ITU-T/asn1/Pages/introduction.aspx (besucht am 23. 02. 2018).

[ITUb] International Telecommunication Union (ITU). The Encoding control notation. ASN.1 Pro Englisch. URL: https://www.itu.int/en/ITU-T/asn1/Pages/ecn.aspx (besucht am 23. 02. 2018).

[ITU15a] International Telecommunication Union (ITU). „Information technology – ASN.1 encoding rules. Specification of Packed Encoding Rules (PER)“. Englisch. In: (Aug. 2015).

[ITU15b] International Telecommunication Union (ITU). „Information technology – ASN.1 encoding rules. Specification of Basic Encoding Rules (BER), Canonical Encoding Rules (CER) and Distinguished Encoding Rules (DER)“. Englisch. In: (Aug. 2015).

[ITU15c] International Telecommunication Union (ITU). „Information technology – ASN.1 encoding rules. XML Encoding Rules (XER)“. Englisch. In: (Aug. 2015).

[Jr93] Burton S. Kaliski Jr. A Layman's Guide to Subset ASN.1, BER, and DER. An RSA Labor Englisch. 1. Nov. 1993. URL: http://luca.ntop.org/Teaching/Appunti/asn1.html (besucht am 23. 02. 2018).

[Lei17] Felix von Leitner. Fefes Blog. D soll Teil von gcc werden. Deutsch. 22. Juni 2017. URL: https://blog.fefe.de/?ts=a7b51cac (besucht am 14. 02. 2018).

[Llo] Llogiq. Llogiq on stuff. Rust Performance Pitfalls. Englisch. URL: https://llogiq.github.io/2017/06/01/perf-pitfalls.html (besucht am 14. 02. 2018).

[LLVa] LLVM.org. The LLVM Compiler Infrastructure Project. LLVM Overview. Englisch. URL: https://llvm.org/ (besucht am 19. 02. 2018).

[LLVb] LLVM.org. The LLVM Compiler Infrastructure Project. LLVM Features. Englisch. URL: https://llvm.org/Features.html (besucht am 19. 02. 2018).

[Mat16] Niko Matsakis. GitHub. Tracking issue for 128-bit integer support (RFC 1504). Englisch. 2016. URL: https://github.com/rust-lang/rust/issues/35118 (besucht am 05. 03. 2018).

[MEC] MEC-View. MEC-View. Deutsch. URL: http://mec-view.de/ (besucht am 19. 02. 2018).

[Qui] Federico Mena Quintero. Replacing C library code with Rust. What I learned with librsvg. Englisch. URL: https://people.gnome.org/~federico/blog/docs/fmq-porting-c-to-rust.pdf (besucht am 14. 02. 2018).

[Rusa] Rust. The Rust Programming Language. Englisch. URL: https://www.rust-lang.org/en-US/faq.html (besucht am 16. 02. 2018).

[Rusb] Rust. The Rust Programming Language. Rust Platform Support. Englisch. URL: https://forge.rust-lang.org/platform-support.html (besucht am 19. 02. 2018).

[Rusc] Rust-Lang. Style Guidelines. Englisch. URL: https://doc.rust-lang.org/1.0.0/style/README.html (besucht am 23. 02. 2018).

[Rusd] Rust-Lang/Book. The Rust Programming Language. Primitive Types. Englisch. URL: https://doc.rust-lang.org/book/first-edition/primitive-types.html (besucht am 21. 02. 2018).

[Ruse] Rust-Lang/Book. The Rust Programming Language. Statements and expressions. Englisch. URL: https://doc.rust-lang.org/reference/statements-and-expressions.html (besucht am 05. 03. 2018).

[Rusf] Rust-Lang/Book. The Rust Programming Language. Constructors. Englisch. URL: https://doc.rust-lang.org/beta/nomicon/constructors.html (besucht am 05. 03. 2018).

[Rusg] Rust-Lang/Book. The Rust Programming Language. Unsafe Rust. Englisch. URL: https://doc.rust-lang.org/book/second-edition/ch19-01-unsafe-rust.html#dereferencing-a-raw-pointer (besucht am 20. 02. 2018).

[Rush] Rust-Lang/RFCs. GitHub. Tracking issue for RFC 1861: Extern types. Englisch. URL: https://github.com/rust-lang/rust/issues/43467 (besucht am 20. 02. 2018).

[Sch13] Julia Schmidt. Graydon Hoare im Interview zur Programmiersprache Rust. Deutsch. 12. Juli 2013. URL: https://www.heise.de/-1916345 (besucht am 16. 02. 2018).

[Wik17] Wikipedia. LLVM — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. 2017.

[Wik18a] Wikipedia. Foreign function interface — Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2018.

[Wik18b] Wikipedia. X.690 — Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2018.

Glossar

Foreign Function Interface Beschreibt den Mechanismus wie ein Programm das in einer Programmiersprache geschrieben ist, Funktionen aufrufen kann, die einer einer anderen Programmiersprache geschrieben wurden. [Wik18a] . 20, 23

git (dt. Blödmann) ist eine Software zur Versionierungs von Quelldateien, entwickelt von Linus Torvalds 2005. TODO: cite . V, 6, 8

GitHub Plattform zum Hosten von git-Repositories inklusive eingebautem Issue-Tracker und Wiki. Änderungen an Quellcode können vorgeschlagen werden, und durch die Projektverantwortlichen übernommen werden. Bietet auch die Möglichkeit eine kontinuierlichen Integrationssoftware einzubinden, um automatisierte Tests auf momentanen Quellcode und auch für Änderungen auszuführen. Eine vorgeschlagene Änderung kann somit vor Übernahme auf Kompatibilität überprüft werden. TODO: . . 6

LLVM Früher „Low Level Virtual Machine“ [Wik17], heute Eigenname; ist eine „Ansammlung von modularen und wiederverwendbaren Kompiler- und Werkzeugtechnologien“ [LLVa]. Unterstützt eine große Anzahl von Zielplatformen, u.a. X86, X86-64, PowerPC, PowerPC-64, ARM, Thumb, ... [LLVb]. . 7

Abkürzungsverzeichnis

ASIL Automotive Safety Integrity Level. 3

ASN.1 Abstract Syntax Notation One. 26

BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. 2

FBA Fehlerbaumanalyse. 3

MEC Mobile Edge Computing. 2, 3

Abbildungsverzeichnis