



Hochschule für angewandte Wissenschaften München  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik

## Bachelorarbeit

# **Modulare Ansteuerung eines FPGAs über Software**

abgegeben von Maren Konrad

Bearbeitungsbeginn:	12.08.2019
Abgabetermin:	12.02.2020
lfd. Nr. gemäß Belegschein:	1234



Hochschule für angewandte Wissenschaften München  
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik

## Bachelorarbeit

# **Modulare Ansteuerung eines bildverarbeitenden FPGAs über generische Kernelmodule**

## **Modular control of an image processing FPGA via camera software**

abgegeben von Maren Konrad

Bearbeitungsbeginn:	12.08.2019
Abgabetermin:	12.02.2020
lfd. Nr. gemäß Belegschein:	1234
Betreuer (Hochschule München):	Prof. Dr. Gerhard Schillhuber
Betreuer (Extern):	XX
Betreuer (Extern):	XX



Erklärungen des Bearbeiters:

Name: Konrad

Vorname: Maren

1) Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt habe.

Sämtliche benutzte Quellen und Hilfsmittel sind angegeben, wörtliche und sinngemäße Zitate sind als solche gekennzeichnet.

München, den 13. September 2019

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

2) Der Veröffentlichung der Bachelorarbeit stimme ich hiermit **NICHT** zu.

München, den 13. September 2019

\_\_\_\_\_  
Unterschrift



## **Kurzfassung**

In dem vorliegenden Bericht geht es um die Verbesserung einer Kamera-Software. Es wird hierzu eine Abstraktionsebene vorgestellt, die aus mehreren Modulen besteht. Um das Verständnis zu erleichtern wird außerdem eine kurze Einführung zur Bildkette gegeben und anschließend auf ausgewählte Module eingegangen. Durch die Abstraktionsebene wird die Übersichtlichkeit und Erweiterung der Software in Zukunft erleichtert werden. Dieser Bericht ist für Leser aus dem Bereich der Elektrotechnik geschrieben.

## **Abstract**

This report handle the improvement of an camera software. For this, an abstraction level will be introduce, which consists out of a few modules. At first there is a short intorduction to the image processing chain to make the understanding easier and then go into details of selected modules. Because of the abstraction level the clarity and extensions of the software will be easier in future.

This report targets readers having an electric engineering background.





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>12</b>
2.1	Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. Betriebs KG . .	12
2.2	Hinführung zum Thema . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>14</b>
3.1	Linux - Kernel und Userspace . . . . .	14
3.2	IO Control . . . . .	15
3.3	Datenaustausch zwischen Kernel und Userspace . . . . .	15
3.4	Plattformtreiber . . . . .	16
3.5	Multifunction Device . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Aktuelle Implementierung</b>	<b>18</b>
4.1	Entwicklungsumgebung . . . . .	18
4.2	Kamera . . . . .	18
4.3	Software . . . . .	18
<b>5</b>	<b>FPGA Resource Abstraction</b>	<b>20</b>
5.1	Plattformtreiber und Multifunction Device . . . . .	20
5.2	Implementierung im Kernel . . . . .	21
5.3	Implementierung im Userspace . . . . .	21
5.4	IO Control . . . . .	21
5.4.1	Konzeptionierung . . . . .	21
5.4.2	Implementierung . . . . .	21
5.5	Einbindung ins Geometrie Framework . . . . .	21

<b>6</b>	<b>Testbackend</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>23</b>

# Abkürzungsverzeichnis

**ARRI** Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. Betriebs KG

**FPGA** Field Programmable Gate Array

**FRA** FPGA Resource Abstraction

**Geometrie Framework** Geometrie Framework

**GUI** grafische Benutzeroberfläche

**IOCTL** IO Control

**MFD** Multifunction Device

**SMPTE** Society of Motion Picture and Television Engineers

**SDI** Serial Digital Interface gemäß Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) 292M <sup>1</sup>

**Xbar** Crossbar

---

<sup>1</sup> <https://ieeexplore.ieee.org/document/7291770>

# 2

## Einleitung

### 2.1 Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. Betriebs KG

Die Bachelorarbeit fand bei der Firma Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. Betriebs KG (ARRI) statt. Nach der Gründung 1917 liegt der Hauptsitz von ARRI immer noch in München. Mittlerweile sind weltweit um die 1500 Mitarbeiter angestellt und die Firma ist einer der führenden Hersteller und Lieferanten in der Film- und Fernsehindustrie.

Die ARRI Gruppe ist in fünf Geschäftsbereiche eingeteilt: Kamerasysteme, Licht, Postproduktion, Verleihservice und Operationskamerasystem für die Medizin. [1]

Das Thema dieser Bachelorarbeit wurde im Bereich Kamerasysteme in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung erarbeitet.

### 2.2 Hinführung zum Thema

Damit die Kamera einwandfrei funktioniert müssen Firmware und Software zusammenspielen. Im Geometrie Framework (Geometrie Framework) werden die verschiedenen Module aus dem Field Programmable Gate Array (FPGA) abgebildet und entsprechend der Kameraeinstellungen die Bildgrößen berechnet.

In der Software werden dann in verschiedenen Funktionen die einzelnen Register im FPGA entsprechend gesetzt. Durch die aktuelle Implementierung können keine Module gleichzeitig im FPGA geupdatet werden.

Damit eine modulare Ansteuerung möglich wird, soll eine weitere Abstraktionsebene erstellt werden. Dieses sogenannte FPGA Resource Abstraction (FRA) soll die einzelnen Module im Kernel darstellen und entsprechend aus dem Userspace über IO Control (IOCTL) angesprochen werden können. Zusätzlich werden dann die direkten Hardwarezugriffe aus dem Hauptcode eliminiert.

Durch die neue Abstraktionsebene soll die Wartbarkeit sowie die Erweiterung der Kamerasoftware in Zukunft ohne tiefere Kenntnisse von FPGA durch unterschiedliche Entwickler möglich werden.

# Theoretische Grundlagen

Zu Beginn sollen einige Grundlagen näher erläutert werden, die zum Erstellen der Arbeit essenziell waren.

## 3.1 Linux - Kernel und Userspace

Da das Zielsystem auf Linux läuft, soll zunächst dieses Betriebssystem betrachtet werden. Im Herbst 1991 wurde die erste Version des Systems von Linus Torvalds veröffentlicht und der Gründer kümmert sich, mit Unterstützung, weiterhin um die Entwicklung des frei verfügbaren Betriebssystems.

Der Name Linux bezeichnet dabei eigentlich nur den Kern des Systems, auch Kernel genannt. Zusätzlich benötigt man noch System- und Anwendersoftware. Oft wird dieser Teil als Userspace zusammengefasst. [4, S. 46]

Der Kernel hat verschiedene Aufgaben. Unter anderem ist er für die Prozess- und die Speicherverwaltung sowie das Gerätemanagement zuständig. [5, S. 234]

Im Normalfall hat der Nutzer aus dem Userspace keinen direkten Zugriff auf die Kernelfunktionen und der Hardware. Nur über Systemaufrufe, auch Syscalls, hat ein Programm im Userspace die Möglichkeit Änderungen an der Hardware zu kommunizieren beziehungsweise bestimmte Funktionen im Kernel zu nutzen. [4, S. 124] Die Brücke zwischen der Hardware und dem Benutzer stellt somit der Kernel da.

## 3.2 IO Control

Um ein zuverlässig arbeitendes Betriebssystem zu haben, muss der Speicherbereich von Kernel und Userspace getrennt sein. [5, S. 232] Damit entsteht die Notwendigkeit zwischen Userspace und Kernel Daten auszutauschen. Die Anwendungen im Userspace können über das sogenannte Systemcall Interface auf die Funktionen im Kernel zugreifen. In einer Struktur vom Typ `file_operations` wird die Schnittstelle zu einem Treiber vorgegeben. In dieser Struktur werden treiberabhängige Funktionszeiger gespeichert. [5, S. 249]

Im folgenden soll lediglich der Zeiger auf das IO Control (IOCTL) betrachtet werden, da dieser im weiteren Teil der Arbeit eine wichtige Rolle spielt. Durch die IOCTL Methode wird dem Programmierer ein flexibles Werkzeug zur Verfügung gestellt.

```
int (*ioctl) (struct inode *node, struct file *instanz, unsigned
             int cmd, unsigned long arg);
```

**Code sample 1:** Funktionsdeklaration des IOCTL in der `file_operations` Struktur

Über die *node* wird der Dateideskriptor und über *instanz* ein Zeiger auf die Treiberinstanz an den Funktionszeiger übergeben. Das Kommando wird durch eine Nummer widerspiegelt und ist in der Funktionsdeklaration als *cmd* zu finden. Das optionale Argument *arg* wird meistens als Zeiger auf eine Dateistruktur, welche kopiert werden soll angegeben. [3, S. 90f]

Mit den Übergabeparametern und dem Dateideskriptor wird die Funktion dann in Anwendungen im Userspace aufgerufen, im Kernel werden die Daten weiterverarbeitet und wieder zurück gegeben.

## 3.3 Datenaustausch zwischen Kernel und Userspace

Im vorausgegangen Kapitel wurde schon die Notwendigkeit von getrennten Speicherbereichen des Kernels und des Userspaces erläutert. Dadurch wird der Datenaustausch zwischen den beiden Ebenen natürlich schwieriger. Durch *copy\_from\_user* beziehungsweise *copy\_to\_user* stehen im Linux-kernel zwei Funktionen als hilfreiche Werkzeuge für diesen Austausch zu Verfügung.

```
unsigned long copy from user(void *to, const void *from, unsigned
                             long num);
unsigned long copy to user(void *to, const void *from, unsigned
                           long num);
```

**Code sample 2:** Funktionsdeklaration in `asm/uaccess.h`

Die Hauptaufgabe beider Funktionen ist das Kopieren von Daten, zusätzlich werden die übergebenen Speicherbereiche auf Gültigkeit überprüft. In der *copy\_from\_user* werden die Daten ab *from* aus dem Userspace mit der Größe von *num* Bytes an die Stelle *to* in den Kernel kopiert. Analog arbeitet das Gegenstück *copy\_to\_user*. Hier gibt *from* allerdings die Speicherstelle im Kernel an und somit ist *to* die Stelle im Userspace. Im Erfolgsfall geben beide Funktionen 0 zurück, andernfalls wird die Anzahl der nicht kopierten Bytes zurückgegeben. [5, S. 250f]

### 3.4 Plattformtreiber

Gerätetreiber, und damit auch Plattformtreiber, sind unter Linux im Kernel angesiedelt. Eigene Treiber werden hierzu meist modular entwickelt und nicht fest in den Kernel integriert. Allerdings muss auch der Programmierer bei den nachgeladenen Kernelmodulen auf die korrekte Nutzung des Speicherplatzes achten, da diese Module ebenfalls im Kernel laufen und somit ein Segmentierungsfehler schwerwiegende Folgen hätte. [5, S. 231ff.]

Damit die Treiber richtig funktionieren werden müssen gibt es einige Bestandteile, die in jedem Modul wiederzufinden sind. Standardmäßig wird die Registrierung von Treiber und Device an unterschiedlichen Teilen des Programms ausgeführt. [2]

Jedes Kernelmodule besitzt mindestens eine *init* und *exit* Funktion. Hierzu gibt es im Kernel eigene Makros, in welchen die Funktionen übergeben werden. Der Aufruf ist dann entweder beim Kernelboot bzw. beim Laden des Modules oder beim Entfernen des Treibers. (<https://elixir.bootlin.com/linux/v4.15.9/source/include/linux/module.h> ab Zeile 77)

```
struct platform_driver {
    int (*probe)(struct platform_device *);
    int (*remove)(struct platform_device *);
    void (*shutdown)(struct platform_device *);
    int (*suspend)(struct platform_device *, pm_message_t
        state);
    int (*resume)(struct platform_device *);
    struct device_driver driver;
    const struct platform_device_id *id_table;
    bool prevent_deferred_probe;
};
```

**Code sample 3:** Struktur in `linux/platform_device.h`

Nachdem der entsprechende Treiber geladen ist und das Plattformgeräte registriert wurde, wird die *.probe* Funktion aufgerufen. Dort wird dann eine Instanz des Devices erzeugt. Analog dazu gibt es die *.remove* Funktion, hier wird die Instanz entsprechend wieder aufgelöst. [2]



Beim Anlegen der Instanz kann ein Zeiger auf ein struct übergeben werden, in welchem Daten übergeben werden. In der probe Funktion sind somit spezielle Daten für ein entsprechendes Device vorhanden. [2]

### 3.5 Multifunction Device

Normalerweise wird lediglich ein Device angelegt, ohne weitere Unterteilungen zu machen. Es ist allerdings möglich unter einem Parentdevice noch weitere Childdevices zu registrieren. Diese Art wird dann Multifunction Device (MFD) genannt.

```
extern int devm_mfd_add_devices(struct device *dev, int id,  
                               const struct mfd_cell *cells, int n_devs,  
                               struct resource *mem_base, int irq_base,  
                               struct irq_domain *irq_domain);
```

**Code sample 4:** Funktionsdeklaration in mfd/core.h

Durch die obere Funktion werden alle Childdevices automatisch entfernt, wenn diese aufgelöst werden.

Als ersten Parameter ein Zeiger auf das Parentdevice übergeben. *mfd\_cell* ist eine Struktur, welche das Childdevice näher beschreibt und über die *n\_devs* wird die Anzahl der zu registrierenden Childdevices übergeben. Die anderen Übergabeparameter werden nicht näher betrachtet, da sie im folgenden nicht benötigt werden. (<https://elixir.bootlin.com/linux/v5.2.14/source/drivers/mfd/mfd-core.c>)

# 4

## Aktuelle Implementierung

Zunächst soll die Entwicklungsumgebung und die aktuelle Implementierung in der Software näher betrachtet werden. In dieser Arbeit wird nur das FPGA-Module Crossbar (Xbar) softwareseitig implementiert, da es sonst den Umfang der Arbeit überschreitet.

### 4.1 Entwicklungsumgebung

### 4.2 Kamera

v.4.15.9

### 4.3 Software

Nahezu alle Module im FPGA werden in dem Geometrie Framework abgebildet. Das objektorientierte Framework führt hauptsächlich Berechnungen der Bildgrößen und Offsets durch. Nach der Änderung einer Größe in der Quelle oder Senke werden alle Module in der Bildkette geupdated und entsprechend voreingestellter Parameter werden die Größen neu berechnet.

Nach der Änderung der Größen wird in dem entsprechenden Modul ein Flag gesetzt, welches später dafür sorgt, dass auch das Modul im FPGA geupdated wird.

Der FPGA wird mit dem Starten der Software über ein IOCTL initialisiert und anschließend kann man über eine Variable im Shared Memory in allen Prozessen darauf zugegriffen werden. Das Problem ist, dass durch den

Zugriff auf ein Modul immer der ganze FPGA gesperrt werden muss. Dadurch kann es passieren, dass es einen oder zwei Frames dauert, bis alle Einstellungen in der Bildkette aktuell sind.

Die Funktion zum Updaten des Modules wird bei einer gesetzten Flag ausgeführt. Hier werden dann an den entsprechenden Offset im FPGA die übergebenen Einstellungen geschrieben.

# 5

## FPGA Resource Abstraction

In diesem Kapitel soll auf die Vorgehensweise und die Implementierung des in 2.2 vorgestellte FRA eingegangen werden. Schwerpunkte.... In dieser Arbeit wird nur die Crossbar softwareseitig implementiert, da es sonst den Umfang der Arbeit übersteigt.

### 5.1 Plattformtreiber und Multifunction Device

Um eine einwandfreie Kommunikation zwischen den Firmware Modulen im FPGA und dem Kernel zu gewährleisten, muss ein generischer Treiber erstellt werden.

Wie in dem Kapitel 3.4 bereits erläutert, werden für die grundlegende Funktionsweise eines Treiber verschiedene Funktionen benötigt. Zunächst soll auf die Registrierungs- bzw. Aufräumfunktion des Modules eingegangen werden.

Beim Laden wird eine Klasse erstellt und Speicherplatz allokiert. Nach dem Setzen der Major ID in einer Datenstruktur wird eine Minor ID Liste und Spinlock initialisiert. Über die Liste wird später eine freie Minor ID ausgewählt und gesetzt. Der Spinlock sorgt bei diesem Vorgang dafür, dass dieser nicht unterbrochen wird und keine Minor ID doppelt vergeben wird. Am Ende der Funktion wird der Plattformtreiber mit der `platform_driver` Struktur registriert. Analog wird beim Freigeben des Modules der Speicherplatz freigegeben, der Plattformtreiber wird abgemeldet und die Klasse zerstört.

Damit das Kernel-Modul ordnungsgemäß geladen bzw. entladen wird, werden hierzu zwei Funktionen erstellt. Durch ein Makro des Linuxkernels (zitat?) werden diese Funktionen, dann anstelle/.. des .. aufgerufen.

## **5.2 Implementierung im Kernel**

## **5.3 Implementierung im Userspace**

## **5.4 IO Control**

### **5.4.1 Konzeptionierung**

### **5.4.2 Implementierung**

## **5.5 Einbindung ins Geometrie Framework**

6

**Testbackend**

7

**Ausblick**

# Literaturverzeichnis

- [1] ARRI. *About ARRI*. Webseite. Accessed 2019-09-06. URL: <https://www.arri.com/en/company/about-arri>.
- [2] Jonathan Corbet. *The platform device API*. Webseite. Accessed 2019-09-13. URL: <https://lwn.net/Articles/448499/>.
- [3] Jonathan Corbet, Alessandro Rubini, and Greg Kroah-Hartman. *Linux Device Drivers: Where the Kernel Meets the Hardware*. O'Reilly Media, Inc., 2005. URL: <https://free-electrons.com/doc/books/ldd3.pdf>.
- [4] Johannes Plötner and Steffen Wendzel. *Linux: das umfassende Handbuch*; Galileo Press, 2012.
- [5] Joachim Schröder, Tilo Gockel, and Rüdiger Dillmann. *Embedded Linux: Das Praxisbuch*. Springer-Verlag, 2009.