



Master's thesis

Master's Programme in Computer Science

Title

Firstname Lastname

September 3, 2024

FACULTY OF SCIENCE
UNIVERSITY OF HELSINKI

Contact information

P. O. Box 68 (Pietari Kalmin katu 5)
00014 University of Helsinki, Finland

Email address: info@cs.helsinki.fi

URL: <http://www.cs.helsinki.fi/>

Contents

1	Introduction	1
2	History	2
3	Current API's	3
3.1	Argus	3
3.2	libcamera	3
3.3	HAL3	4
3.4	Kamaros	4
4	Discussion	5
5	Conclusions	6
A	Sample Appendix	i
	Bibliography	i
B	Instructions for LaTeX	
B.1	General Setup	i
B.2	Bibliography in Latex	ii
B.3	Some instructions about writing in Latex	iii
B.4	Figures	iv
B.5	Tables	iv
C	Tutkielmapohjan käyttöohjeet	
C.1	Ensiaslkeleet	i
C.2	Kirjallisuusviitteet Latexissa	ii
C.3	Joitain ohjeita Latexilla kirjoittamiseen	iv
C.4	Kuvat	iv

C.5	Taulukot	v
-----	--------------------	---

1 Introduction

Views expressed in this thesis are my own and do not represent anyone else.

This thesis will give an overview of the history of camera API's, where it all began, the current situation and the direction we're going in.

2 History

This chapter will give a brief overview of the history of camera API's. In the early days cameras were quite simple, there effectively was just the "press button" followed by receiving a picture. This was the case with most cameras such as webcams, even the integrated laptop ones were just USB devices. Linux had initially had lacking support for this, but in the early 2000s Video For Linux (V4L, later V4L2 for version 2) was developed. This covered most of the use cases at the time. In 2008 the Nokia N900 was released, this was a Linux based phone that was not like most cameras at the time. It provided interfaces for customizing just about everything. From ISPs to Image Processing Algorithms (IPA's).

3 Current API's

3.1 Argus

Argus is a camera API that's developed by Nvidia. Argus runs only on Nvidia hardware, such as the Jetson Orin Nano Developer Kit.

Argus is roughly based on V4L2 though effectively a re-implementation. At the time Argus was created, V4L2 was still in an early stage. It did not support a variety of features such as multicamera setups etc. hence Argus was created in order to add the missing features easily. These days V4L2 and Argus are very close though in later chapters we'll give an overview of what pros and cons each has.

The reason Argus doesn't use V4L2 is largely a historical one at this point. At the time Argus was created V4L2 was in an early stage, it had very limited features. Nvidia created Argus in order to alleviate these issues but ended up with an API that is very similar to V4L2. Automotive for example needed support for multi camera use cases, this was something that wasn't supported in V4L2 at the time.

Over time, the API has aged a little though. Today it's still very dependent on EGL. EGL is a very dated API, like OpenGL it's largely in maintenance mode today.

3.2 libcamera

libcamera is an open-source (with binary blobs for some cameras) C++ embedded camera framework that supports a large number of complex cameras such as the IMX 219, 477 and many more. It supports multiple encoders to receive images in for example PNGs/raw images. The primary target for libcamera is Arm processors in the form of Raspberry PI's, Chrome OS and Android though many other architectures are also supported.

Before libcamera, the way to use camera sensors was very complex, often requiring it's own MCU. libcamera moved this almost completely to userspace, trivializing many applications. libcamera supports a variety of IPA's for 3A (Auto focus, Auto exposure, Auto white balancing). Camera configuration is done using V4L2, libcamera being essentially an extension for it.

3.3 HAL3

Hardware Abstraction Layer 3 (HAL3) is probably the most well known one that will be discussed in this thesis. It's included in each Android phone, it has remarkable features for a mobile phone camera. It was created to bridge the gap between the higher level the API camera2 and the lower level hardware API's. It allows for more modification than camera2, while requiring more work to manage.

3.4 Kamaros

Kamaros is a new API

4 Discussion

5 Conclusions

Appendix A Sample Appendix

You can add one or more appendices to your thesis.

Appendix B Instructions for LaTeX

B.1 General Setup

In the HY-CS-main.tex file you will find the following STEPS 0–5. Below you can find related instructions.

STEP 0 – Access the thesis template

- Import the thesis template into a new Overleaf project. The easiest way to do it is to:
 - Obtain a zip file of the LaTeX template from the webpage of your programme.
 - Go to <https://www.overleaf.com/edu/helsinki> and login to Overleaf with your university credentials.
 - Go to the list of your projects at <https://www.overleaf.com/project>, click “New Project” and “Upload Project”, the projects under your account
 - Then upload the zip with the template.
 - You are now ready to write your thesis in Overleaf by editing the template, you can start by renaming the project.

STEP 1 – BSc or MSc thesis?

1. Select whether you are writing BSc (tkt) or MSc (csm for CS) thesis.
2. Select your language: `finnish`, `english`, or `swedish`.
3. If you are writing MSc select your line / track.

STEP 2 – Set up your personal information

1. Specify the title of your thesis with `\title{}`.
2. Specify your name to the author field with `\author{}`.
3. Specify the names of your supervisors of the thesis with `\supervisors{}`.

4. Specify the keywords of the thesis with `\keywords{}`.
5. Specify the ACM classification terms of the thesis with `\classification{}`. See <https://dl.acm.org/ccs> for more information.

STEP 3 – Write your abstract

- You can have the abstract in multiple languages with the `otherlanguages` environment. The example below shows how to provide an English abstract:

```
\begin{otherlanguage}{english}
\begin{abstract}
Your abstract text goes here.
\end{abstract}
\end{otherlanguage}
```

STEP 4 – Writing your thesis

1. There are some minimal contents and instructions below
2. Remove, or comment out, this appendix from your thesis.

STEP 5 – Set your bibliography style

- The default is Author-Year style (Einstein, 1905), but it can be easily changed to numbered [1] or alphabetical [Ein05] , as the examples of these are in comments.
- Discuss the style to use with your supervisor.

B.2 Bibliography in Latex

The bibliography is defined in a separate `.bib` file. For this template, it is named `bibliography.bib` and includes the content show in Figure B.1.

Chapter Bibliography lists all the works that you refer to in your text. You refer to the works in the bibliography using an appropriate *citation key*.

References are done using `\citep{einstein}`, which generates in text a citation formatted according to the selected style (`einstein`), or `\citep{latexcompanion,knuth99}`, which

generates (**latexcompanion**; **knuth99**). As examples of a different kinds of citations (see how these look in the Latex source), we can write (**einstein**) to refer to the work written by **einstein** in **einstein**, because the work by **einstein** appears in the bibliography included in this template.

Note that there are different possible styles for the bibliography and citation keys. Consult your supervisors on the chosen style – and once you arrive at a preferred style, use it consistently throughout the thesis.

```
@article{einstein,
  author =      "Albert Einstein",
  title =      "{Zur Elektrodynamik bewegter K{\o}rper}. ({German})
    [{On} the electrodynamics of moving bodies]",
  journal =     "Annalen der Physik",
  volume =     "322",
  number =     "10",
  pages =      "891--921",
  year =       "1905",
  DOI =        "http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004"
}

@book{latexcompanion,
  author =     "Michel Goossens and Frank Mittelbach and Alexander Samarin",
  title =     "The \LaTeX\ Companion",
  year =      "1993",
  publisher = "Addison-Wesley",
  address =   "Reading, Massachusetts"
}

@book{knuth99,
  author =     "Donald E. Knuth",
  title =     "Digital Typography",
  year =      "1999",
  publisher =  "The Center for the Study of Language and Information",
  series =     "CLSI Lecture Notes (78)"
}
```

Figure B.1: Examples of bibliographic reference in .bib file.

B.3 Some instructions about writing in Latex

The following gives some superficial instructions for using this template for a Master's thesis. For guidelines on thesis writing you can consult various sources, such as university courses on scientific writing or your supervisors.

For more detailed instructions, just google, e.g., "Overleaf table positioning", and your

chances of finding good info are pretty good.

B.4 Figures

Besides text, here are simple examples how you can add figures and tables in your thesis. Remember always to refer to each figure in the main text and provide them with a descriptive caption.

Figure B.2 is an example of a figure in the document (see the source about how to add them).



Figure B.2: University of Helsinki flame-logo for Faculty of Science.

B.5 Tables

Table B.1 gives an example of a table. Remember always to cite the table in the main text, table captions go on top of the table.

Table B.1: Experimental results.

Experiment	1	2	3
A	2.5	4.7	-11
B	8.0	-3.7	12.6
$A + B$	10.5	1.0	1.6

Appendix C Tutkielmapohjan käyttöohjeet

C.1 Ensiaskeleet

HY-CS-main.tex tiedosto sisältää viisi askelta STEPS 0–5. Alla on kuvattu, mitä nämä askeleet tarkoittavat ja miten niitä seuraamalla luot pohjan tutkielmallesi.

STEP 0 – Kopioi tutkielmapohja

- Hae tutkielmapohja uuteen Overleaf-projektiin. Tämä käy helpoiten seuraavasti:
 - Lataa Latex-pohjan zip-tiedosto koulutusohjelman sivuilta.
 - Mene osoitteeseen www.overleaf.com/edu/helsinki ja kirjaudu Overleafiin yliopiston tunnuksillasi.
 - Overleafissa (<https://www.overleaf.com/project>), klikkaa “New Project” and “Upload Project”.
 - Valitse lataamasi tutkielmapohjan zip-tiedosto.
 - Nyt voit lähteä kirjoittamaan tutkielmaasi suoraan pohjaan, voit aloittaa esim. vaihtamalla projektin nimen.

STEP 1 – BSc vai MSc tutkielma?

1. Valitse (tiedostossa HY-CS-main.tex) oletko tekemässä BSc (tkt) vai MSc (csm tietojenkäsittely) tutkielmaa.
2. Valitse kieli jolla kirjoitat tutkielman: `finnish`, `english` tai `swedish`.
3. Jos olet kirjoittamassa maisterintutkielmaa, valitse linja/opintosuunta.

STEP 2 – Aseta henkilökohtaiset tietosi

1. Kirjoita alustava otsikko tutkielmallesi: `\title{}`.
2. Kirjoita oma nimesi kohtaan `\author{}`.
3. Lisää ohjaajien nimet `\supervisors{}`.

4. Määrittele avainsanat `\keywords{}`.
5. Määritä tutkielmasi ACM luokittelutermit `\classification{}`. Ks. lisätietoa: <https://dl.acm.org/ccs>.

STEP 3 – Kirjoita tiivistelmä

Voit kirjoittaa tiivistelmän (koko tiivistelmäsivu) eri kielillä `otherlanguages`-ympäristön avulla. Alla esimerkki jolla kirjoitat englanninkielisen tiivistelmän muulla kuin englannin kielellä kirjoitettuun tutkielmaan:

```
\begin{otherlanguage}{english}
\begin{abstract}
Your abstract text goes here.
\end{abstract}
\end{otherlanguage}
```

STEP 4 – Kirjoita tutkielma

1. Kirjoittamisesta Latexilla löydät hieman ohjeita alemmaa.
2. Poista tämä liite ja muu ohjeistus tutkielmastasi, esim. kommentoimalla.

STEP 5 – Aseta kirjallisuuslähdeluettelon tyyli

- Oletustyylin tekijä-vuosi, eli (Einstein, 1905), voit vaihtaa viittaustyylin (tiedostossa `HY-CS-main.tex`) helposti (eri mallit kommentoituna) esim. numeroituun [1], tai aakkostyyliin [Ein05]. Lisää ohjeita liittyen viittaustyylin säätämiseen BibTeXissä löytyy verkosta: <https://ctan.org/pkg/biblatex>
- Sovi käytettävä tyyli ohjaajasi kanssa.

C.2 Kirjallisuusviitteet Latexissa

Kirjallisuuslähteet ylläpidetään erillisessä `.bib`-tiedostossa. Tässä tutkielmapohjassa käytetyt kirjallisuuslähteet, joista esimerkkejä kuvassa C.1, löytyvät tiedostosta `bibliography.bib`.

```

@article{einstein,
  author =      "Albert Einstein",
  title =      "{Zur Elektrodynamik bewegter K{\o}rper}. ({German})
    [{On} the electrodynamics of moving bodies]",
  journal =     "Annalen der Physik",
  volume =     "322",
  number =     "10",
  pages =      "891--921",
  year =       "1905",
  DOI =        "http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004"
}

@book{latexcompanion,
  author   = "Michel Goossens and Frank Mittelbach and Alexander Samarin",
  title    = "The \LaTeX\ Companion",
  year     = "1993",
  publisher = "Addison-Wesley",
  address  = "Reading, Massachusetts"
}

@book{knuth99,
  author   = "Donald E. Knuth",
  title    = "Digital Typography",
  year     = "1999",
  publisher = "The Center for the Study of Language and Information",
  series   = "CLSI Lecture Notes (78)"
}

```

Figure C.1: Esimerkkejä kirjallisuuslähteiden kuvaamisesta .bib-tiedostossa.

Viitteet kirjallisuuslähteisiin muodostetaan komennolla `\citep{einstein}`, josta generoituu tekstiin valitun viittaustyylin mukaisesti muotoiltu viite (**einstein**), tai `\citep{latexcompanion}` josta tekstiin puolestaan generoituu (**latexcompanion**; **knuth99**). Voit esimerkiksi kirjoittaa (**einstein**) viitataksesi julkaisuun, jonka on kirjoittanut **einstein** vuonna **einstein**, kun vain lähde **einstein** on oikein lisättyä kirjallisuuslähdetiedostossa (katso miltä nämä näyttävät Latex lähdekoodissa).

Tekstissä viitatut kirjallisuuslähteet tulevat automaattisesti viiteluetteloon. Kirjallisuuslähteiden tietojen oikeellisuus ja yhdenmukaisuus .bib-tiedostossa vaikuttavat luonnollisesti siihen, miten tiedot tutkielmassa näyttäytyvät. Tämä on syytä huomioda, sillä esim. verkosta valmiiksi BibT_EX muodossa löytyvien tietojen täydellisyyten tai samanmuotoisuuteen ei pidä sokeasti luottaa.

Keskustele viittaustyylin valinnasta ohjaajan kanssa.

C.3 Joitain ohjeita Latexilla kirjoittamiseen

Seuraavassa on joitain ohjeita tämän tutkielman pohjan käyttöön maisterintutkielmassa. Kirjoittamisohjeita löytyy useasta eri lähteestä. Voit esimerkiksi tutustua kandidaatin tutkielman ohjeisiin. Ohjaajan kanssa on hyvä keskustella aikaisessa vaiheessa työn rakenteesta.

Yksityiskohtaisia ohjeita Latexin käyttämisestä saa parhaiten hakemalla verkosta, esim. haku englanniksi "Overleaf table positioning" tuottaa oletettavasti aika toimivan vastauksen.

C.4 Kuvat

Kuva C.2 toimii esimerkkinä kuvan lisäämisestä työhön (katso tarkemmin mallia Latex lähdekoodista). Muista myös viitata jokaiseen kuvaan tekstissä.



Figure C.2: Helsingin yliopiston logo matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan värein.

C.5 Taulukot

Taulukossa C.1 on esimerkki kokeellisten tulosten raportoinnista taulukkona. Muista myös viitata jokaiseen taulukkoon tekstissä.

Table C.1: Kokeelliset tulokset.

Koe	1	2	3
A	2.5	4.7	-11
B	8.0	-3.7	12.6
$A + B$	10.5	1.0	1.6