

# Genetic sequence alignment acceleration using a FPGA based platform

What methods can be used to accelerate the Smith-Waterman algorithm for genetic sequence alignment with an FPGA equipped platform?

**Robin NOLLET**

Supervisors: Ing. Václav Šimek  
: Ing. Jonas Lannoo

Master Thesis to obtain the degree of  
Master of Science in Engineering Technology:  
Electronical engineering

Academic Year 2019 - 2020



©Copyright KU Leuven

Without written permission of the supervisor(s) and the author(s) it is forbidden to reproduce or adapt in any form or by any means any part of this publication. Requests for obtaining the right to reproduce or utilise parts of this publication should be addressed to KU Leuven Campus Brugge, Spoorwegstraat 12, B-8000 Brugge, +32 50 66 48 00 or via e-mail [iiw.brugge@kuleuven.be](mailto:iiw.brugge@kuleuven.be).

# Acknowledgements

Het voorwoord vul je persoonlijk in met een appreciatie of dankbetuiging aan de mensen die je hebben bijgestaan tijdens het verwezenlijken van je masterproef en je hebben gesteund tijdens je studie.

# Summary

De (korte) samenvatting, toegankelijk voor een breed publiek, wordt in het Nederlands geschreven en bevat **maximum 3500 tekens**. Deze samenvatting moet ook verplicht opgeladen worden in KU Lokaal.

# Abstract

Het extended abstract of de wetenschappelijke samenvatting wordt in het Engels geschreven en bevat **500 tot 1.500 woorden**. Dit abstract moet **niet** in KU Loket opgeladen worden (vanwege de beperkte beschikbare ruimte daar).

**Keywords:** Voeg een vijftal keywords in (bv: Latex-template, thesis, ...)

# Contents

<b>Acknowledgements</b>	<b>iii</b>
<b>Summary</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Table of contents</b>	<b>vii</b>
<b>List of figures</b>	<b>viii</b>
<b>List of tables</b>	<b>ix</b>
<b>List of symbols</b>	<b>x</b>
<b>List of abbreviations</b>	<b>xi</b>
<b>1 Vormelijke richtlijnen van de scriptie</b>	<b>1</b>
1.1 Verplichte onderdelen en volgorde in de scriptie . . . . .	1
1.2 Lay-out . . . . .	1
1.2.1 Papierformaat en bladspiegel . . . . .	2
1.2.2 Titelblad . . . . .	2
<b>2 Structuur van de masterproeftekst</b>	<b>3</b>
2.1 Opdeling in hoofdstukken . . . . .	3
2.2 Verdere onderverdeling binnen een hoofdstuk . . . . .	3
2.3 Dit is een voorbeeld van een sectie . . . . .	3
2.3.1 Dit is een voorbeeld van een subsectie . . . . .	3
<b>3 Figuren en tabellen</b>	<b>4</b>
3.1 Algemene richtlijnen . . . . .	4
<b>4 Richtlijnen voor formules</b>	<b>6</b>

---

<b>5</b>	<b>Richtlijnen voor referenties</b>	<b>7</b>
5.1	Inleiding . . . . .	7
5.2	Referentiestijl . . . . .	7
<b>A</b>	<b>Uitleg over de appendices</b>	<b>10</b>

# List of Figures

3.1	Dit is een voorbeeld van een figuur-float . . . . .	5
-----	---	---



# List of Tables

3.1 Dit is een voorbeeld van een tabel . . . . . 5

# List of symbols

Maak een lijst van de gebruikte symbolen. Geef het symbool, naam en eenheid. Gebruik steeds SI-eenheden en gebruik de symbolen en namen zoals deze voorkomen in de hedendaagse literatuur en normen. De symbolen worden alfabetisch gerangschikt in opeenvolgende lijsten: kleine letters, hoofdletters, Griekse kleine letters, Griekse hoofdletters. Onderstaande tabel geeft het format dat kan ingevuld en uitgebreid worden. Wanneer het symbool een eerste maal in de tekst of in een formule wordt gebruikt, moet het symbool verklaard worden. Verwijder deze tekst wanneer je je thesis maakt.

$b$	Breedte	$[mm]$
$A$	Oppervlakte van de dwarsdoorsnede	$[mm^2]$
$c$	Lichtsnelheid	$[m/s]$

## List of abbreviations

## Chapter 1

# Vormelijke richtlijnen van de scriptie

### 1.1 Verplichte onderdelen en volgorde in de scriptie

De masterproefscriptie bevat volgende onderdelen

- Voorkaft met titelblad
- Herhaling titelblad
- Bladzijde met verplichte tekst copyright
- Voorwoord
- Samenvatting
- Abstract
- Inhoudstafel
- Symbolenlijst
- Masterproeftekst
- Referentielijst
- Bijlagen
- Achterkaft met gegevens van de campus

### 1.2 Lay-out

De scriptie is standaard in het Nederlands, maar mag in het Engels geschreven worden mits motivatie.

Dit document is opgesteld volgens de vereiste lay-out van de faculteit. Hieronder volgen een aantal specifieke richtlijnen die ook in de template<sup>1</sup> verwerkt zijn.

### 1.2.1 Papierformaat en bladspiegel

Deze LaTeX-template is opgesteld volgens de geldende regels van de faculteit. Het is dus niet toegelaten zelf aanpassingen aan de stijl ervan te doen. Bij voorkeur wordt de thesis recto-verso afgedrukt.

### 1.2.2 Titelblad

Volg nauwgezet de aanwijzingen in deze template voor het opstellen van het titelblad.

Is een masterproef uitgevoerd onder *embargo*, dan wordt dit expliciet vermeld op het titelblad (onder voorbehoud van goedkeuring van de fPOC). De cover wordt geprint in kleur op wit papier. Indien meerdere studenten samen een masterproef realiseren, worden de namen alfabetisch op achternaam weergegeven op het titelblad door deze in de juiste volgorde in de template in te vullen. Een student die een Nederlandstalige opleiding volgt en de toelating heeft gekregen om zijn masterproefscriptie in het Engels te schrijven, moet het Nederlandstalige titelblad nog steeds gebruiken. De titel zelf is dan wel in het Engels.

---

<sup>1</sup>Deze template dient gebruikt te worden in combinatie met LaTeX. Voor meer informatie over de installatie en het gebruik hiervan, wordt doorverwezen naar de website: [www.latex-project.org](http://www.latex-project.org).

## Chapter 2

# Structuur van de masterproeftekst

### 2.1 Opdeling in hoofdstukken

De masterproeftekst vormt de kern van de scriptie. De tekst wordt logisch opgedeeld in een aantal hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk is altijd een inleiding, het tweede en eventueel derde de literatuurstudie of een *state of the art*, gevolgd door een hoofdstuk dat de methodologie beschrijft. De volgende hoofdstukken bevatten de elementen van het eigen onderzoek. Het laatste hoofdstuk bevat de algemene besluiten van de masterproef. Elk hoofdstuk vormt een afgerond geheel (m.a.w. met inleiding en conclusie!).

### 2.2 Verdere onderverdeling binnen een hoofdstuk

De tekst wordt onderverdeeld in logische paragrafen met een aangepaste nummering. De nummering van de onderliggende delen van een hoofdstuk bevat begint steeds met het hoofdstuknummer en gaat maximum tot drie subniveaus. Volgende onderverdeling wordt gebruikt:

### 2.3 Dit is een voorbeeld van een sectie

#### 2.3.1 Dit is een voorbeeld van een subsectie

##### 2.3.1.1 Dit is een voorbeeld van een subsubsectie

Dit is een voorbeeld van een paragraaf

## Chapter 3

# Figuren en tabellen

### 3.1 Algemene richtlijnen

Alle figuren en tabellen worden genummerd en binnen een float omgeving geplaatst

```
(\begin{figure} figuurcontent \end{figure})
```

Foto's, grafieken, schema's,... worden alle onder de benaming 'Figuur' gecatalogeerd.

Het is belangrijk dat tabellen en figuren duidelijk zijn en dat ze alle informatie bevatten die nodig is om ze te begrijpen.

Tabellen worden bij voorkeur niet gesplitst over twee bladzijden. Indien een tabel niet op één bladzijde past, wordt het bijschrift op de volgende bladzijde hernomen en aangevuld met (vervolg). Ook de kolomkoppen van de tabel worden hernomen.

In de tekst wordt naar alle tabellen en figuren verwezen met het itemnummer. Schrijf dus niet 'onderstaande figuur toont....', maar wel 'Figuur 3.1 toont...'. Doe dit door gebruik te maken van de commando's `\label{}` en `\ref{}`. Geef figuren ook zinvolle captions (`\caption{Caption}`). Figuren worden gecentreerd op de bladzijde. Ook het bijschrift wordt gecentreerd en onder de figuur geplaatst. Na de figuurnummer volgt een de beschrijving van de figuur.

Figuur 3.1 toont een voorbeeld gegeven van een float omgeving voor een figuur. Hieronder wordt de syntax weergegeven.

```
\begin{figure}[!ht]
\centering
\includegraphics[width=0.75\linewidth]{image.jpg}
\caption{Dit is een voorbeeld van een figuur-float}
\label{fig:VoorbeeldFigFloat}
\end{figure}
```

Tabellen worden links uitgelijnd op de bladzijde. Ook het bijschrift wordt links uitgelijnd en boven de tabel geplaatst. Na de tabelnummer volgt de beschrijving van de tabel. Tabel 3.1 toont een voorbeeld van een eigen tabel. Vermijd om tabellen te kopiëren van andere werken, maar herwerk ze en plaats de nodige bronvermelding. De nodige syntax om tabel 3.1 te generen wordt hieronder



**Figure 3.1:** Dit is een voorbeeld van een figuur-float

weergegeven:

```
\begin{table}[!ht]
\caption{Dit is een voorbeeld van een tabel}
\begin{tabular}{ccc}
\hline
Kolom 1 & Kolom 2 & Kolom 3\
\hline
1 & 2 & 3\\
4 & 5 & 6\\
\hline
\end{tabular}
\label{tab:VoorbeeldTableFloat}
\end{table}
```

Tot slot, let er op dat er expliciet naar elke tabel en figuur verwezen wordt vanuit de tekst.

**Table 3.1** Dit is een voorbeeld van een tabel

Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3
1	2	3
4	5	6



## Chapter 4

# Richtlijnen voor formules

Er zijn twee manieren om formules in LaTeX in te voeren:

- Inline:  $a^2 + b^2 = c^2$  (`$a^2+b^2 = c^2$`)
- In een equation omgeving (`\begin{equation} a^2+b^2 = c^2 \end{equation}`):

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{4.1}$$

Griekse letters geef je in d.m.b. het backslash commando. Bijvoorbeeld de letter sigma  $\sigma$  verkrijg je door `$\sigma$` inline in te geven. Dit is analoog voor griekse letters in de equation omgeving. Een beknopte lijst van symbolen vind je op de Wikibooks pagina voor LaTeX ([link](#)). Alle andere nuttige informatie omtrent het gebruik van LaTeX voor formules vind je hier ook terug.

## Chapter 5

# Richtlijnen voor referenties

### 5.1 Inleiding

De referentielijst bevat de volledige lijst van literatuur en bronnen waarnaar in de tekst wordt verwezen. Door systematisch de referentielijst aan te vullen bij het schrijven van het literatuuroverzicht gaat er achteraf geen tijd verloren aan het opnieuw opzoeken van referenties.

### 5.2 Referentiestijl

Voor het verwijzen naar informatiebronnen wordt gebruik gemaakt van het numerisch systeem of van het auteur-jaar systeem. Dit kies je door volgend commando in het latex bronbestand aan te passen:

- numerisch (IEEE) : `\bibliographystyle{ieee}`
- alfabetisch (APA) : `\bibliographystyle{apalike}`

Plaats je bronnen in een *bibtex* bestand (evt. via software zoals bv. Jabref Endnote of Mendeley), waarnaar je verwijst vanuit je thesis text a.d.h.v. het commando `\cite`. Enkele links naar nuttige software in deze context:

- JabRef (Open Source)
- Mendeley (Freeware)
- EndNote (Paid license)

Indien je zelf een *.bibtex* bestand wil aanleggen dien je volgende syntax te volgen voor een tijdschriftartikel:

```
@article{hughes2005,  
title={Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry  
and mesh refinement},  
author={Hughes, Thomas JR and Cottrell, John A and Bazilevs, Yuri},  
journal={Computer methods in applied mechanics and engineering},  
volume={194},  
number={39},  
pages={4135--4195},  
year={2005},  
publisher={Elsevier}  
}
```

Enkele voorbeelden van het gebruik van bronnen in een tekst (in APA stijl):

Recent werd het Higgs boson experimenteel vastgesteld door Aad et al. Aad et al. (2012) (syntax: `\cite{aad2012}`).

Als alternatief voor het discretiseren van een CAD model vooraleer een eindige elementenanalyse te kunnen toepassen, stellen Hughes et al. voor om de nodige elementenformulering rechtstreeks uit de NURBS beschrijving van de CAD geometrie te halen Hughes et al. (2005) (syntax: `\cite{hughes2005}`). Daarnaast introduceren ze tevens een k-iteratieve procedure als een verfijning van de geldende p- en h-iteratieve procedures in eindige elementen methoden Cottrell et al. (2009) (syntax: `\cite{cottrell2009}`).

# Bibliography

- Aad, G., Abajyan, T., Abbott, B., Abdallah, J., Khalek, S. A., Abdelalim, A., Abdinov, O., Aben, R., Abi, B., Abolins, M., et al. (2012). Observation of a new particle in the search for the standard model higgs boson with the atlas detector at the lhc. *Physics Letters B*, 716(1):1–29.
- Cottrell, J. A., Hughes, T. J., and Bazilevs, Y. (2009). *Isogeometric analysis: toward integration of CAD and FEA*. John Wiley & Sons.
- Hughes, T. J., Cottrell, J. A., and Bazilevs, Y. (2005). Isogeometric analysis: Cad, finite elements, nurbs, exact geometry and mesh refinement. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 194(39):4135–4195.

## **Appendix A**

# **Uitleg over de appendices**

Bijlagen worden bij voorkeur enkel elektronisch ter beschikking gesteld. Indien essentieel kunnen in overleg met de promotor bijlagen in de scriptie opgenomen worden of als apart boekdeel voorzien worden.

Er wordt wel steeds een lijst met vermelding van alle bijlagen opgenomen in de scriptie. Bijlagen worden genummerd met een drukletter A, B, C,...

Voorbeelden van bijlagen:

Bijlage A:      Detailtekeningen van de proefopstelling

Bijlage B:      Meetgegevens (op USB)

FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
CAMPUS BRUGGE  
Spoorwegstraat 12  
8200 BRUGGE, België  
tel. + 32 50 66 48 00  
iiw.brugge@kuleuven.be  
[www.iw.kuleuven.be](http://www.iw.kuleuven.be)

