

LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN
PROGRAMMING LANGUAGES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE



Titel der Arbeit

Ruben Triwari

Bachelorarbeit
im Studiengang 'Informatik plus Mathematik'

Betreuer: Prof. Dr. Johannes Kinder

Mentor: Moritz Dannehl, M.Sc.

Ablieferungstermin: 4. September 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Grundlagen und Termini	2
2.1	Maschinelles Lernen	2
2.1.1	Definition	2
2.1.2	Deep Learning	3
2.1.3	Überwachtes Lernen	5
2.1.4	Unüberwachtes Lernen	5
2.1.5	Reinforcement Learning	5
2.2	Sentence Transformer	6
2.3	Code-Llama	7
2.3.1	Large Language Model	7
2.3.2	Llama 2	7
2.3.3	Code-llama	7
2.4	Code2Vec	7
2.5	t-SNE	7
3	Methodik	7
3.1	Datensatz	7
3.2	Datenpipeline	7
3.3	Stabilität von SentenceTransformer	7
4	Funktionskommentare	9
4.1	Motivation	9
4.2	Methodik	9
5	Code2Vec	9
5.1	Motivation	9
5.2	Adaption auf C	9
5.3	Training	9
6	Funktionsnamen	9
6.1	Motivation	9
6.2	Methodik	9
7	Coddelama-Erklärungen	9
7.1	Motivation	9
7.2	Codellama	9
7.3	Prompt Engineering und Temperature	9
8	Ergebnisse	9
8.1	Evaluierung durch Experten	9
8.1.1	Methodik	9
8.1.2	Auswertung und Ergebnisse	9

8.2	Qualitative Evaluierung	9
8.3	Quantitative Evaluierung	9
9	Limitation	9
10	Diskussion	9
11	Fazit	9
12	Results: Comparing natural language supervised methods for creating Rich Binary Labels	9
13	Conclusion	10
14	Notes on form	10
14.1	Formatting	10
14.2	Citation	11
15	General Addenda	13
15.1	Detailed Addition	13
16	Figures	13
16.1	Example 1	13
16.2	Example 2	13
	Literatur	16

Abstract

1 Einführung

In den letzten Jahren gab es große Fortschritte in der natürlichen Sprachverarbeitung, besonders hervorzuheben sind Large Language Models die sich mittlerweile in vielen Bereichen der Informatik in die Lösungsansätze für Problemen in jeweiligen Bereichen eingeschlichen haben. Diese Arbeit untersucht nun, ob diese Fortschritte in der natürlichen Sprachverarbeitung eine Hilfestellung leisten können um Source Code Funktionen semantisch sinnvoll in einen Vektor mit reelwertigen Zahlen zu codieren. Diese Vektoren können dann später als Label verwendet werden um ein Modell zu trainieren was Binary Code als Input nimmt und diesen ebenfalls in einen semantischen Vektor mit reelwertigen Zahlen codiert. Das resultierende Modell kann hinterher verwendet werden um Reverse Engeneering zu erleichtern. Ein einfaches Beispiel ist folgendes: Man stelle sich vor, dass man eine Funktion die in Binary Code vorliegt, mühselig manuell verstanden was für eine Aufgabe die Funktion in der Code Base hat. Nun kann man diese Funktion codieren und über die Gesamte Code Base einen Nearest Neighbor Search durchführen und all ähnlichen Funktionen ausgeben lassen. Das spart zeit, denn nun hat man eine Idee was diese anderen Funktionen für eine Aufgabe in der Code Base erfüllen könnten.

Das oben beschriebene Problem Source Code Vektoren in sinnvoll semantische reelwertige Vektoren zu codieren ist sehr ähnlich zu einen Problem in der natürlichen Sprachverarbeitung und dort bereits gelöst. Die rede ist von dem Problem einen gegebenen Satz in einen semantisch sinnvollen Vektor abzubilden. Es ist nageliegend zu versuchen dieses Ergebnis der natürlichen Sprachverarbeitung zu benutzen um eine Lösung für unser Problem zu konstruieren. Die intuitivste Idee ist es einfach die Funktionsnamen, die in natürlicher Sprache verfasst sind als beschreibung der Funktion zu verwenden. Diese Beschreibunf können wir nun mühelos codieren, da sie in natürlicher Sprache vorliegt. Eine zweite Idee ist, die Kommentare der Funktionen, die in natürlicher Sprache verfasst sind, als Beschreibung der Funktion zu verwenden. Am viel versprechsten ist es die Funktionen von einen Large Language Modell in natürlicher Sprache beschreiben zu lassen. Als letztes habe ich noch ein bestehendes Modell Code2Vec verwendet und es für dieses Problem angepasst.

2 Grundlagen und Termini

2.1 Maschinelles Lernen

In diesen Abschnitt wird zunächst maschinelles lernen definiert und dann darauf aufbauend grundlegende Trainingsarten vorgestellt. Heutzutage ist maschinelles Lernen weitverbreitet und wird nahezu in jeden Bereich der Informatik verwendet. Maschinelles Lernen wird überall eingesetzt wo eine analytische Lösung eines Problems zu aufwendig oder gar überhaupt nicht existiert. Diese Lösung durch maschinelles Lernen versucht aus den Daten ein Muster abzuleiten. Bei einer endlichen Menge an Daten ist meist, das resultierende Modell nur eine approximation der gesuchten Lösung.

2.1.1 Definition

Trotz des bekanntheitsgrades, gibt es den irreflehen, dass maschinelles lernen nur was mit Neuronalen Netzwerken zu tun hat, diese Annahme ist im allgemeinen falsch. Generell kann ein Problem das mit maschinelles Lernen gelöst wird, wie folgt formuliert werden:

Definition 1 Sei X eine beliebige Input Menge, Y eine beliebige Output Menge, $f \in \{X \rightarrow Y\}$ die gesuchte Lösung des Problems, \mathbb{D} eine beliebige Menge aus gegebenen Datenpunkten, $H_1 \subset \{X \rightarrow Y\}$ ein Hypothesenraum, und $A_1 : \mathcal{P}(\{X \rightarrow Y\}) \times \mathcal{P}(\mathbb{D}) \rightarrow \{X \rightarrow Y\}$ ein Lernalgorithmus. Dann ist das Ziel, bei gegebenen Daten, den Hypothesenraum H_1 und den Lernalgorithmus A_1 so zu wählen, sodass

$$A_1(H_1, \mathbb{D}) \approx f.$$

Maschinelles lernen ist also die Suche nach einem Lernalgorithmus und Hypothesenraum, die dann in Kombination mit gegebenen Daten, die optimale Lösung approximieren. Dabei ist hervorzuheben, dass der Datensatz das Herzstück jeder Problemstellung im Bereich des maschinellen Lernens ist. Ist der Datensatz zu klein oder überhaupt nicht repräsentativ für das gegebene Problem, wird der Lernalgorithmus die falschen Muster erkennen und dadurch eine fehlerhafte Approximation produzieren.

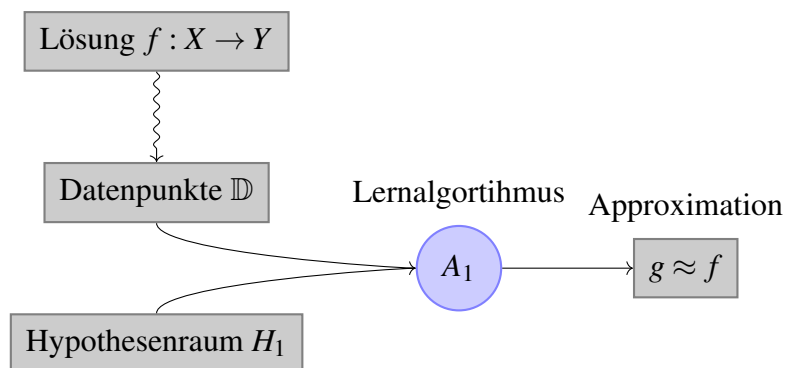


Abbildung 2.1: Grundlegendes maschinelles Lernen Problem

In der Figur 2.1 ist die Problembeschreibung nochmal bildlich dargestellt, erwähnenswert ist

das die Datenpunkte nicht immer in abhängigkeit mit $f : X \rightarrow Y$ stehen. Beispielsweise können die Datenpunkte einfach nur aus den Eingabewerten bestehen: $\mathbb{D} = \{x_1, x_2, x_2, \dots, x_n\} \subset X$. Die Struktur des Datensatzes kann sehr unterschiedlich sein, dass hängt auch mit unterschiedlichen Lernmethoden zusammen.

2.1.2 Deep Learning

Bevor die Lernmethoden genauer betrachtet werden, wird kurz Deep Learning vorgestellt. Deep Learning ist ein Neuronales Netzwerk mit mehreren Layern zwischen Input und Output Layer. Zunächst müssen wir jedoch Neuronale Netzwerke definieren.

Definition 2 Ein Neuronales Netzwerk (NN) ist eine Funktion $N : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^p$, wobei $q \in \mathbb{N}$ die Anzahl der Inputs und $p \in \mathbb{N}$ die Anzahl der Outputs ist. Sei $(L_i)_{i \in \{1, \dots, n\}}$ die Layer, $(K_i^l)_{l=1, \dots, n, i=1, \dots, r_l}$ die Knoten im jeweiligen Layer $l \in \{1, \dots, n\}$ und $r_l \in \mathbb{N}$ die Anzahl der Knoten im Layer L_l . Jeder Knoten im Layer L_l ist mit jedem Knoten im Layer L_{l+1} verbunden, mit $l \in \{1, \dots, n-1\}$. Jede Verbindung besitzt ein Gewicht $W_{i,j}^l$, wobei $l \in \{1, \dots, n-1\}$ und das Gewicht der Verbindung $K_i^l \rightarrow K_j^{l+1}$ zugeordnet ist. Daraus ergibt sich eine Familie von Matrizen $(W_l)_{l=1, \dots, n-1}$, wobei $W_l \in \mathbb{R}^{r_l \times r_{l+1}}$. Nun hat jeder Layer noch einen sogenannten Bias $(B_l)_{l=2, \dots, n}$, dieser ist ein Zeilenvektor $B_l \in \mathbb{R}^{r_l}$. Als letztes braucht jeder Knoten eine Aktivierungsfunktion, dass heißt für jeden Layer gibt es r_l Funktionen: $(F_l)_{l=1, \dots, n}$, mit $F_l \in \{\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}\}^{r_l}$. Es ist hilfreich die Funktionsanwendung auch für den Vektor F_l zu definieren: Sei $x \in \mathbb{R}^{r_l}$, dann setze

$$F_l(x) := \begin{pmatrix} f_1(x_1) \\ \vdots \\ f_{r_l}(x_{r_l}) \end{pmatrix}.$$

Dann ist die Funktion $N : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^p$ wie folgt definiert:

$$N(x) = h_1(x)$$

,wobei

$$h_l : \mathbb{R}^{r_l} \rightarrow \mathbb{R}^{r_{l+1}}$$

$$h_l(x) = \begin{cases} h_{l+1}(F_{l+1}(W_l x + B_{l+1})) & , \text{if } l < n \\ x & , \text{sonst} \end{cases}.$$

Wir bezeichnen L_1 als Input-Layer, L_n als Output-Layer und L_i , mit $i \in \{2, \dots, n-1\}$, als Hidden-Layer.

Also ist Deep Learning ein bestimmter Hypothesenraum, denn alle Neuronale Netzwerke sind höher dimensionale reelwertige Funktionen. Schließlich gilt für den Hypothesenraum:

$$H = \{\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^k\}, \text{ wobei } n, k \in \mathbb{N}$$

Die Definition von einem Neuronalen Netzwerk erscheint zunächst länglich und unintuitiv, diese wird aber anschaulich anhand eines Beispiels.

Beispiel 2.1 Sei $N : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$, $(L_i)_{i=1,2,3}$ Layer. Der Input-Layer besitzt zwei Knoten $r_1 = 2$, der erste Hidden-Layer besitzt $r_2 = 3$, der zweite Hidden-Layer besitzt $r_3 = 3$ Knoten und der Output-Layer besitzt $r_4 = 2$ Knoten. Mit den Knoten $(K_i^l)_{l=1,2,3,i=1,\dots,r_l}$ und zufälligen Gewichten:

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.7 & 0.4 \\ 0 & 0.7 & 0.8 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 3}, W_2 = \begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0.4 \\ 0.1 & 0.7 & 0.8 \\ 1 & 0.33 & 0.2 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{3 \times 3}, W_3 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.45 \\ 0.1 & 0.23 \\ 1 & 0.33 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{3 \times 2}.$$

Für den Bias setzen wir:

$$B_2 = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3, B_3 = \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3, B_4 = \begin{pmatrix} 0.7 \\ 0.8 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^2,$$

Außerdem setzen wir alle Aktivierungsfunktionen:

$$(F_l)_i = \tanh, \text{ wobei } l \in \{1, 2, 3\}, i \in \{1, \dots, r_l\}$$

Dann gilt für das Neuronale Netzwerk $N : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$:

$$N(x) = \tanh \left(\begin{pmatrix} 0.2 & 0.45 \\ 0.1 & 0.23 \\ 1 & 0.33 \end{pmatrix} \tanh \left(\begin{pmatrix} 0.6 & 0 & 0.4 \\ 0.1 & 0.7 & 0.8 \\ 1 & 0.33 & 0.2 \end{pmatrix} \tanh \left(\begin{pmatrix} 0.2 & 0.7 & 0.4 \\ 0 & 0.7 & 0.8 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \end{pmatrix} \right) + \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \end{pmatrix} \right) + \begin{pmatrix} 0.7 \\ 0.8 \end{pmatrix} \right)$$

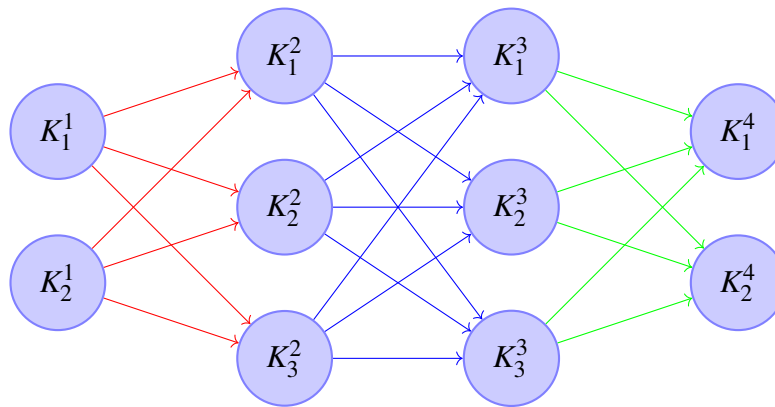


Abbildung 2.2: Neuronales Netzwerk bildlich als Graph dargestellt

Ein Gewicht zwischen zwei Knoten $K_1^1 \rightarrow K_1^2$ kann nun einfach nachgeschaut werden:

$$(W_1)_{1,1} = 0.2$$

Bei dem Beispiel oben handelt es sich um Deep Learning, da das Neuronale Netzwerk zwei Hidden-Layer besitzt. Heutzutage haben Deep Learning Models zwei bis drei stellige Anzahl an Hidden-Layer. Diese Dimensionen sind aber für ein Beispiel eher ungeeignet.

2.1.3 Überwachtes Lernen

Das überwachte Lernen ist die meist eingesetzte Trainingsmethode, deswegen auch die wichtigste. Bei diesem Ansatz liegt immer die korrekte Lösung für jeden Input bei, dementsprechend ist der Datensatz ein Tuple aus Input und korrektem Output:

$$\mathbb{D} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)\} \subset X \times Y.$$

Ein klassisches Beispiel für diesen Ansatz ist die Bilderkennung, hierbei wäre ein möglicher Input ein Vektor mit Grauwerten und der Output ein Label bzw. die Bezeichnung für das Bild.

Beispiel 2.2 Sei $X = \mathbb{R}^{4096}$ und $Y = \{\text{Katze}, \text{Hund}, \text{Auto}\}$, dann könnte der Datensatz wie folgt aussehen:

$$\mathbb{D} = \left\{ \left(\begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.9 \\ 0.5 \\ \vdots \end{pmatrix}, \text{Hund} \right), \left(\begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.1 \\ 0.6 \\ \vdots \end{pmatrix}, \text{Hund} \right), \left(\begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.7 \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix}, \text{Katze} \right), \dots, \left(\begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ \vdots \end{pmatrix}, \text{Auto} \right) \right\}$$

Der entscheidende Punkt ist also hier, dass wir das richtige Verhalten unseres Modells kennen und deswegen direkt wissen, wenn es Fehler macht. Bei vielen anderen Arten ist dieser Aspekt, der sehr natürlich erscheint, nicht so selbstverständlich.

2.1.4 Unüberwachtes Lernen

Unüberwachtes Lernen ist der Extremfall, denn hier bekommt der Lernalgorithmus ausschließlich die Inputwerte: $\mathbb{D} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \subset X$. Der Lernalgorithmus erhält also keine Hinweise darauf, was ein richtiger oder ein falscher Output ist. Unüberwachtes Lernen wird meist eingesetzt, um in Daten, Strukturen und Mustern zu identifizieren. Ein Beispiel ist die Cluster-Analyse, hier bekommt der Lernalgorithmus eine Menge von Daten und gruppiert diese in Teilmengen. In der Abbildung 2.2 ist ein Beispiel für das Resultat einer möglichen Cluster-Analyse dargestellt.



Abbildung 2.3: Cluster Analyse angewendet auf 2-dimensionale Daten

2.1.5 Reinforcement Learning

Das Reinforcement Learning ist nicht so extrem wie das unüberwachte Lernen, bei diesem Paradigma liegen dem Lernalgorithmus, zwar auch nicht die korrekten Outputwerte vor, aber der Lernalgorithmus kriegt für jeden vorhergesagten Wert eine Rückmeldung, wie erwünscht dieser Wert ist. Hier ist ein Beispiel, ein Modell, mittels eines Lernalgorithmus, darauf zu trainieren, ein Videospiel zu gewinnen. Der Lernalgorithmus bekommt ein Abbild von der Umgebung und gibt dem Spiel ein Input, welcher eine Aktion zufolge hat. Falls nun die Aktion dazu beiträgt, den Spieler in eine gute Position zu bringen oder gar das Spiel zu gewinnen, bekommt die Aktion eine positive Bewertung, andernfalls eine negative. Intuitiv könnte man dieses Paradigma auch als „learning by

doing“ bezeichnen, da der Lernalgorithmus nach ausreichendem Ausprobieren das gewünschte Verhalten erlernt.

Die Problemstellung im maschinellen Lernen ist allgemein gehalten und abstrakt. Aber genau aus diesem Grund kann maschinelles Lernen in so vielen unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden. In dieser Arbeit werden wir uns hauptsächlich mit dem Bereich der linguistischen Datenverarbeitung (engl. Natural Language Processing) befassen, was uns zum nächsten Begriff führt.

2.2 Sentence Transformer

Das Ziel dieser Arbeit ist es, mittels Quellinformationen Funktionen in einen semantisch wertvollen Vektor zu kodieren. Semantisch wertvoll heißt, dass semantisch ähnliche Funktionen, wie beispielsweise zwei Sortieralgorithmen, im projizierten Vektorraum, mit einer gewählten Metrik, einen geringen Abstand besitzen. Das Sentence-BERT (Reimers et al. 2019) Modell ist Stand der Technik, um semantisch zu kodieren von natürlicher Sprache in einem Vektorraum. Wenn man nun jeder Funktion, ein Text in natürlicher Sprache zuordnet, der die Funktion beschreibt, kann mithilfe von Sentence-BERT (SBERT) ein semantisch wertvoller Vektor für jede Funktion generiert werden. Die Autoren haben selber auch eine Implementierung bereit gestellt, unter den Namen Sentence-Transformer ([LINK??](#)), die in dieser Arbeit verwendet wird. Sie haben das Ursprüngliche von Google entwickelte BERT (Devlin et al. 2018) Modell genommen und angepasst. BERT ist ein Modell, welches mittels einer neuen Deep Learning Architektur, zwei Textauszüge als Input bekommt und dann eine Aussage über ihre semantische Ähnlichkeit liefert. Die Hauptarbeit von Reimer und Kollegen, war nun das BERT Modell so anzupassen, dass nur ein Textauszug als Input bereitgestellt werden muss, um anschließend einen Vektor zu erhalten, der die Semantik weitestgehend erhält.

In dieser Arbeit werden verschiedene Methodiken vorgestellt, einer Funktion einen semantisch passenden Text zuzuordnen. Ein Tool, mit dem man aus Quellinformation einen Text produzieren kann, ist das Large Language Model (LLM).

2.3 Code-Llama

2.3.1 Large Language Model

2.3.2 Llama 2

2.3.3 Code-llama

2.4 Code2Vec

2.5 t-SNE

3 Methodik

3.1 Datensatz

Im Maschinellen lernen hat der Datensatz bzw. die Trainingsdaten den größten Einfluss auf die Güte des Modells.

3.2 Datenpipeline

3.3 Stabilität von SentenceTransformer

4 Funktionskommentare

4.1 Motivation

4.2 Methodik

5 Code2Vec

5.1 Motivation

5.2 Adaption auf C

5.3 Training

6 Funktionsnamen

6.1 Motivation

6.2 Methodik

7 Coddelama-Erklärungen

7.1 Motivation

7.2 Codellama

7.3 Prompt Engeneering und Temperature

8 Ergebnisse

8.1 Evaluierung durch Experten

8.1.1 Methodik

8.1.2 Auswertung und Ergebnisse

8.2 Qualitative Evaluierung

8.3 Quantitative Evaluierung

9 Limitation

10 Diskussion

11 Fazit

12 Results: Comparing natural language supervised methods for creating Rich Binary Labels

- Stabilität von Sentence Transformer

- Kommentare von Funktionen um Embeddings zu generieren
- Funktionsnamen von Funktionen um Embeddings zu generieren
- Code2Vec um Embeddings zu generieren
- CodeLlama Erklärungen von Funktionen um Embeddings zu generieren
- Evaluierung durch tSNE-Plots
- Evaluierung durch Experten
- Evaluierung durch Formel

$$I_k : \mathbf{N} \times \mathbf{N} \times \mathbf{N}^k \rightarrow [0, 1]$$

$$I_k(x, i, v) = \begin{cases} 1 & , \exists j \in \mathbf{N} : x = v_j \wedge i = j \\ \frac{1}{2} & , \exists j \in \mathbf{N} : x = v_j \wedge i \neq j \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases}$$

$$E_k : \mathbf{N}^k \times \mathbf{N}^k \rightarrow [0, 1]$$

$$E_k(u, v) = \frac{1}{G_k} \sum_{i=1}^k \frac{I_k(u_i, i, v_i)}{\log_2(i+1)}$$

$$\text{wo } G_k := \sum_{i=1}^k \frac{1}{\log_2(i+1)}.$$

$$CMP_k : \mathbf{R}^{N \times l} \times \mathbf{R}^{N \times l} \times \{\mathbf{R}^l \times \mathbf{R}^{N \times l} \rightarrow \mathbf{N}^k\} \times \{\mathcal{P}([0, 1]) \rightarrow [0, 1]\} \rightarrow [0, 1]$$

$$CMP_k(X, Y, f_k, agg) = agg(\{E_k(f_k(X_{i,j}, X), f_k(Y_{i,j}, Y)) | j \in \{1, 2, 3, \dots, N\}\})$$

13 Conclusion

14 Notes on form

14.1 Formatting

This LaTeX template uses the following formatting:

- font: Linux Libertine O (alternatively: Times New Roman)
- font size: 12 pt
- left and right margin: 3.5 cm, top and bottom margin: 3 cm
- align: left
- line spacing: one and a half (alternative: 15 pt line spacing with 12 pt font size)

When implementing the specifications in Word, it is essential to define style sheets.

14.2 Citation

The citation method follows the author-year system. Place reference is in the text, footnotes should only be used for explanations and comments. The following notes are taken from the *language* bibliography template from `ron.artstein.org`:

The *Language* style sheet makes a distinction between two kinds of in-text citations: citing a work and citing an author.

- Citing a work:
 - Two authors are joined by an ampersand (&).
 - More than two authors are abbreviated with *et al.*
 - No parentheses are placed around the year (though parentheses may contain the whole citation).
- Citing an author:
 - Two authors are joined by *and*.
 - More than two authors are abbreviated with *and colleagues*.
 - The year is surrounded by parentheses (with page numbers, if present).

To provide for both kinds of citations, `language.bst` capitalizes on the fact that `natbib` citation commands come in two flavors. In a typical style compatible with `natbib`, ordinary commands such as `\citet` and `\citep` produce short citations abbreviated with *et al.*, whereas starred commands such as `\citet*` and `\citep*` produce a citation with a full author list. Since *Language* does not require citations with full authors, the style `language.bst` repurposes the starred commands to be used for citing the author. The following table shows how the `natbib` citation commands work with `language.bst`.

Command	Two authors	More than two authors
<code>\citet</code>	Hale & White Eagle (1980)	Sprouse et al. (2011)
<code>\citet*</code>	Hale und White Eagle (1980)	Sprouse and colleagues (2011)
<code>\citep</code>	(Hale & White Eagle 1980)	(Sprouse et al. 2011)
<code>\citep*</code>	(Hale und White Eagle 1980)	(Sprouse and colleagues 2011)
<code>\citealt</code>	Hale & White Eagle 1980	Sprouse et al. 2011
<code>\citealt*</code>	Hale und White Eagle 1980	Sprouse and colleagues 2011
<code>\citealp</code>	Hale & White Eagle 1980	Sprouse et al. 2011
<code>\citealp*</code>	Hale und White Eagle 1980	Sprouse and colleagues 2011
<code>\citeauthor</code>	Hale & White Eagle	Sprouse et al.
<code>\citeauthor*</code>	Hale und White Eagle	Sprouse and colleagues
<code>\citefullauthor</code>	Hale und White Eagle	Sprouse and colleagues

Authors of *Language* articles would typically use `\citet*`, `\citep`, `\citealt` and `\citeauthor*`, though they could use any of the above commands. There is no command for giving a full list of authors.

Bibliography

The bibliography of this template includes the references of the *language* stylesheet as a sample bibliography.

15 General Addenda

If there are several additions you want to add, but they do not fit into the thesis itself, they belong here.

15.1 Detailed Addition

Even sections are possible, but usually only used for several elements in, e.g. tables, images, etc.

16 Figures

16.1 Example 1

16.2 Example 2

Abbildungsverzeichnis

2.1	Grundlegendes maschinelles Lernen Problem	2
2.2	Neuronales Netzwerk bildlich als Graph dargestellt	4
2.3	Cluster Analyse angewendet auf 2-dimensionale Daten	5

Tabellenverzeichnis

Literatur

- BUTT, MIRIAM, und WILHELM GEUDER (Hg.) 1998. *The projection of arguments: Lexical and compositional factors*. Stanford, CA: CSLI Publications.
- CROFT, WILLIAM. 1998. Event structure in argument linking. In Butt & Geuder, 21–63.
- DONOHUE, MARK. 2009. Geography is more robust than linguistics. Science e-letter, 13 August 2009. URL <http://www.sciencemag.org/cgi/eletters/324/5926/464-c>.
- DORIAN, NANCY C. (Hg.) 1989. *Investigating obsolescence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GROPEN, JESS; STEVEN PINKER; MICHELLE HOLLANDER; RICHARD GOLDBERG; und RONALD WILSON. 1989. The learnability and acquisition of the dative alternation in English. *Language* 65.203–57.
- HALE, KENNETH, und JOSIE WHITE EAGLE. 1980. A preliminary metrical account of Winnebago accent. *International Journal of American Linguistics* 46.117–32.
- HASPELMATH, MARTIN. 1993. *A grammar of lezgian*. Walter de Gruyter.
- HYMES, DELL H. 1974a. *Foundations in sociolinguistics: An ethnographic approach*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- HYMES, DELL H. (Hg.) 1974b. *Studies in the history of linguistics: Traditions and paradigms*. Bloomington: Indiana University Press.
- HYMES, DELL H. 1980. *Language in education: Ethnolinguistic essays*. Washington, DC: Center for Applied Linguistics.
- MINER, KENNETH. 1990. Winnebago accent: The rest of the data. Lawrence: University of Kansas, MS.
- MORGAN, TJH; NT UOMINI; LE RENDELL; L CHOUINARD-THULY; SE STREET; HM LEWIS; CP CROSS; C EVANS; R KEARNEY; I DE LA TORRE; ET AL. 2015. Experimental evidence for the co-evolution of hominin tool-making teaching and language. *Nature communications* 6.
- PERLMUTTER, DAVID M. 1978. Impersonal passives and the unaccusative hypothesis. *Berkeley Linguistics Society* 4.157–89.
- POSER, WILLIAM. 1984. *The phonetics and phonology of tone and intonation in Japanese*. Cambridge, MA: MIT Dissertation.
- PRINCE, ELLEN. 1991. Relative clauses, resumptive pronouns, and kind-sentences. Paper presented at the annual meeting of the Linguistic Society of America, Chicago.
- RICE, KEREN. 1989. *A grammar of Slave*. Berlin: Mouton de Gruyter.

- SALTZMAN, ELLIOT; HOSUNG NAM; JELENA KRIVOKAPIC; und LOUIS GOLDSTEIN. 2008. A task-dynamic toolkit for modeling the effects of prosodic structure on articulation. *Proceedings of the 4th International Conference on Speech Prosody (Speech Prosody 2008)*, Campinas, 175–84. URL <http://aune.lpl.univ-aix.fr/~sprosig/sp2008/papers/3inv.pdf>.
- VAN DER SANDT, ROB A. 1992. Presupposition projection as anaphora resolution. *Journal of Semantics* 9.333–77.
- SINGLER, JOHN VICTOR. 1992. Review of Melanesian English and the Oceanic substrate, by Roger M. Keesing. *Language* 68.176–82.
- SPROUSE, JON; MATT WAGERS; und COLIN PHILLIPS. 2011. A test of the relation between working memory capacity and syntactic island effects. *Language*, to appear.
- STOCKWELL, ROBERT P. 1993. Obituary of Dwight L. Bolinger. *Language* 69.99–112.
- SUNDELL, TIMOTHY R. 2009. Metalinguistic disagreement. Ann Arbor: University of Michigan, MS. URL <http://faculty.wcas.northwestern.edu/~trs341/papers.html>.
- TIERSMA, PETER M. 1993. Linguistic issues in the law. *Language* 69.113–37.
- WILSON, DEIRDRE. 1975. *Presuppositions and non-truth-conditional semantics*. London: Academic Press.
- YIP, MOIRA. 1991. Coronals, consonant clusters, and the coda condition. *The special status of coronals: Internal and external evidence*, hrsg. von Carole Paradis und Jean-François Prunet, 61–78. San Diego, CA: Academic Press.