

Geautomatiseerde documentatie generatie met behulp van Large Language Modellen: Het genereren van duidelijke overzichten en informatieve beschrijvingen voor ongedocumenteerde Python projecten.

Max Milan.

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor: Dhr. G. Bosteels

Co-promotor: Dhr. A. Pannemans

Academiejaar: 2023–2024

Eerste examenperiode

Departement IT en Digitale Innovatie .

**HO
GENT**

Woord vooraf

[1-2]

Samenvatting

[1-4]

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	viii
Lijst van tabellen	ix
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Onderzoeksvraag	2
1.3 Onderzoeksdoelstelling	2
1.4 Opzet van deze bachelorproef	2
2 Stand van zaken	4
2.1 Wat is documentatie?	4
2.1.1 Bestand documentatie	5
2.1.2 Project documentatie	5
2.2 Bestaande documentatie tools	6
2.2.1 Doxygen	6
2.2.2 CodeCat	6
2.2.3 GPT4Docstrings	7
2.2.4 Sphinx	7
2.2.5 Pdoc	8
2.2.6 Samenvatting tools	8
2.3 Wat zijn Large Language Modellen (LLM)?	8
2.3.1 Transformers en de architectuur van LLM's	10
2.3.2 Trainen van LLM's	11
2.3.3 Fine-Tuning van LLM's	12
2.3.4 Prompt Engineering	12
2.3.5 Bestaande LLM's	13
3 Methodologie	16
3.1 Requirementsanalyse	17
3.1.1 Functionele requirements	17
3.1.2 Niet-functionele requirements	18
3.2 Opstellen van een long-list tools	19
4 Resultaten	20
4.1 Bestand documentatie	20
4.1.1 Inleiding	20

4.1.2	GPT4Docstrings tool	20
4.1.3	Abstract Syntax Tree	21
4.1.4	Docstrings	22
4.1.5	Keuze van model	22
4.1.6	Prompting	23
4.1.7	Toevoegen van gegenereerde docstrings	26
4.1.8	Bestand samenvatting genereren	27
4.2	Project documentatie	29
4.2.1	Inleiding	29
4.2.2	Projectsamenvatting	29
4.2.3	Visualisatie van relaties tussen bestanden	31
4.3	Evaluatie	33
4.3.1	Inleiding	33
4.3.2	Bestanddocumentatie evaluatie	33
4.3.3	projectdocumentatie evaluatie	34
5	Conclusie	37
A	Onderzoeksvoorstel	39
A.1	Samenvatting	39
A.2	Introductie	40
A.3	Literatuurstudie	40
A.4	Methodologie	42
A.5	Verwacht resultaat, conclusie	43
B	Bijlage	44
B.1	Prompts	44
B.1.1	Function Prompt 1	44
B.1.2	Function Prompt 2	45
B.1.3	Function Prompt 3	46
B.1.4	Class Prompt 1	48
B.1.5	Samenvatting van een bestand	50
B.1.6	Bestand zonder functies of klassen	51
B.1.7	Project samenvatting	52
B.1.8	Project samenvatting per file	52
B.2	Code	53
B.2.1	Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. v1	53
B.2.2	Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. v2	54
B.2.3	Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. v3	54
B.2.4	Genereren van de relaties tussen de verschillende bestanden	55

B.2.5	Functies voor het samenvatting van een bestand	56
B.2.6	Generatie van een graph van de relaties tussen de bestanden. .	57
B.3	Zelfgedocumenteerde bestanden	58
B.3.1	Zelfgedocumenteerd bestand makkelijk niveau	58
B.3.2	Zelfgedocumenteerd bestand gemiddeld niveau	59
B.3.3	Zelfgedocumenteerd bestand moeilijk niveau	63
B.4	Python bestanden geclassificeerd op moeilijkheidsgraad.	64
B.4.1	Makkelijk	64
B.4.2	Gemiddeld	64
B.4.3	Moeilijk	67
B.4.4	Extreem moeilijk	68
B.5	Uitkomst documentatie van de Python bestanden	76
B.5.1	Uitkomst documentatie van gemiddeld bestand	76
B.6	Evaluatie bestand documentatie.	80
B.6.1	Uitkomst van bestand documentatie door eigen tool.	80
B.6.2	Zelfgedocumenteerd bestand gemiddeld niveau	84

Bibliografie**89**

Lijst van figuren

2.1	Voorbeeld diagram van Doxygen (Doxygen, 2023)	6
2.2	Uitkomst GPT4Docstrings	7
2.3	Artificiële intelligentie in lagen (Stöffelbauer, 2023)	9
2.4	Architectuur transformer model	11
2.5	Tokenisatie van tekst	12
3.1	Tijdslijn onderzoek	16
4.1	Voorbeeld van een project samenvatting	30
4.2	Voorbeeld van de documentatie van een bestand zonder functies of klassen	30
4.3	Voorbeeld van een graaf van de relaties tussen bestanden	33
4.4	Voorbeeld van een fragment van een graaf van de relaties tussen bestanden van een groot project	34
4.5	Evaluatie van de automatisch gegenereerde bestandsamenvatting met de zelfgedocumenteerde bestandsamenvatting. Voor het bestand AutoClicker (de Waegeneer, 2022)	35
4.6	Vergelijking van de gegenereerde graaf met de handgetekende graaf.	36

Lijst van tabellen

2.1	Vergelijking documentatie tools	8
2.2	Wat kunnen de tools genereren	8
2.3	Vergelijking van verschillende LLM's op basis van prijs (\$), context (aan- tal tokens) en snelheid (Tokens per seconde) (ArtificialAnalysis, 2024) .	14
2.4	Vergelijking LLM's op basis van beoordeling van menselijke evaluatie en MMLU (ArtificialAnalysis, 2024)	15
4.1	Aantal functies en klassen in de verschillende Python bestanden.	26

List of Listings

4.1.1 Voorbeeld uitkomst van GPT4Docstrings. (Pedrido, 2023)	21
4.1.2 Ophalen functies uit AST	22
4.1.3 Docstring van een functie	22
4.1.4 Prompt voor het genereren van een docstring voor een functie v1. . . .	24
4.1.5 Uitkomst prompt voor het genereren van een docstring voor een func- tie v2.	25
4.1.6 Uitkomst prompt voor het genereren van een docstring voor een klasse v4.	25
4.1.7 Code voor het vervangen van een docstring	27
4.1.8 Stuk uit uitkomst van het vervangen van de code van een functie B.5.1.	28
4.1.9 Code voor het vervangen van een docstring v2	28

1

Inleiding

In de wereld van softwareontwikkeling is documentatie een belangrijk onderdeel van een project. Documentatie is een manier om de code te beschrijven en te verklaren wat de code doet. Het is een manier om de code te begrijpen zonder dat de code zelf gelezen moet worden. Documentatie is belangrijk voor het onderhouden van een project, het delen van kennis en het begrijpen van de code.

Bestaande tools vergen gedocumenteerde code om de documentatie in andere formaten te genereren. Dit zorgt ervoor dat de code manueel gedocumenteerd moet worden. Een tool die dit automatisch kan doen zorgt ervoor dat dit geen manuele taak meer is. Dit vergemakkelijkt het proces van het documenteren van een project en helpt met het voorkomen van fouten die erin kunnen sluipen. In dit onderzoek wordt er gekeken naar hoe een enkel bestand gedocumenteerd kan worden en vervolgens hoe verschillende bestanden in een project samen gedocumenteerd kunnen worden om zo een overzicht van het project te geven. Zodat de lezer van de documentatie een goed beeld krijgt van het project en er zelf mee aan de slag kan gaan.

1.1. Probleemstelling

Projecten worden vaak niet goed gedocumenteerd, wat kan leiden tot problemen in de toekomst. Wanneer een andere persoon de code van een ongedocumenteerd project wil gebruiken moet de code volledig gelezen worden voordat er begrepen wordt wat de code doet. Dit is een tijdrovend proces en kan voorkomen worden door goede documentatie. Wanneer de code jaren later aangepast moet worden is het ook handig om goede documentatie te hebben, zodat de persoon weet waar er aanpassingen moeten gebeuren. De skills en know-how van een project kunnen verloren gaan wanneer er geen documentatie is. Deze dienen juist gedeeld te worden met anderen zodat er geen dubbel werk gedaan moet worden.

Het is dus belangrijk dat er aan documentatie gedaan wordt en dat deze up-to-date blijft.

Er wordt gekeken naar een tool die automatisch de documentatie van een project kan genereren. Verder wordt er uitgelegd waarom een Large Language Model (LLM) gebruikt kan worden om de documentatie te genereren. Dit geeft de lezers de mogelijkheid om zich in te lezen in het project en erna zelf aanpassingen te maken of stukken code te gebruiken voor een ander project.

Python is een populaire programmeertaal die gebruikt wordt in de IT wereld. Volgens TIOBE (2024) een website die zoekpagina's afgaat en de populariteit van programmeertalen op basis van het aantal hits bepaalt, staat Python op de eerste plaats. Het is dus interessant om een tool te maken die Pythonprojecten kan documenteren.

1.2. Onderzoeksvraag

Hoe kan geautomatiseerde documentatiegeneratie met behulp van een Large Language Modellen (LLM) effectief worden toegepast op ongedocumenteerde Pythonprojecten om er duidelijke en overzichtelijke documentatie van te maken?

- Wat is documentatie?
- Wat zijn de huidige documentatie tools?
- Wat is er nodig om de code van een project te documenteren?
- Wat is er nodig om de code van een bestand te documenteren?
- Waarom documentatie met behulp van een LLM?

1.3. Onderzoeksdoelstelling

Het eindresultaat van deze bachelorproef is een Proof of Concept (PoC) van een geautomatiseerde tool die de code van een Pythonproject analyseert en er documentatie van genereert. De gegenereerde documentatie laat het toe het project te begrijpen.

1.4. Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van het onderzoek besproken, dit voor standdocumentatie en projectdocumentatie. Alsook wordt er gekeken naar de evaluatie van de gegenereerde documentatie.

In Hoofdstuk 5, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2

Stand van zaken

In dit hoofdstuk wordt de literatuurstudie besproken. Door deze literatuurstudie is het mogelijk om een beter inzicht te krijgen in de technologie en mogelijkheden voor de documentatie van Python projecten. Alsook hoe het toegepast kan worden met behulp van Large Language Modellen. Er zal nadruk worden gelegd op bestaande literatuur en onderzoeken die verbonden zijn met documentatie van Python-projecten. In dit onderdeel zullen verschillende hoofdstukken worden aangekaart. Als eerste zal er duidelijk gemaakt worden wat er juist verstaan wordt onder documentatie. Dan wordt er gekeken naar wat Large Language Modellen zijn, hoe deze werken en wat enkele bestaande modellen zijn. Vervolgens wordt er gekeken naar bestaande documentatie tools. Als laatste wordt er gekeken naar hoe Large Language Modellen gebruikt kunnen worden voor het genereren van documentatie.

2.1. Wat is documentatie?

Voor dat er dieper op het onderwerp wordt ingegaan is het belangrijk dat er een duidelijk beeld gevormd wordt wat documentatie is. Waarom is documentatie belangrijk voor een project en wat wordt er begrepen onder documentatie?

Documentatie is het proces van het vastleggen van de werking van een project. Volgens Code Quality (2024) kan op verschillende manieren gebeuren. Er kan gekozen worden om de documentatie te schrijven in de vorm van een commentaar in de code, een docstrings, een API voor klassen of functies of in de vorm van een README.md bestand (Code Quality, 2024). Het doel van documentatie is om de werking van het project te beschrijven zodat andere programmeurs het project kunnen begrijpen en gebruiken. Zodat er geen tijd verloren gaat aan het lezen van de code en het begrijpen ervan.

Documentatie kan gemaakt worden voor verschillende doelgroepen. Het kan voor

interne of externe doeleinden zijn. Interne documentatie is voor documentatie binnen hetzelfde bedrijf. Dit gaat dan om het capteren van de process kennis die vergaard is binnen een project. Dit is informatie zoals een roadmap of product requirements. Deze documentatie gaat over het vastleggen van gedetailleerde uitleg over hoe iets werkt en hoe het onderhouden kan worden (swimm.io, 2024).

Externe documentatie is voor documentatie die gedeeld wordt met andere bedrijven of klanten. Dit gaat dan over de basis werking van de code van een project zodat andere programmeurs het kunnen gebruiken. Gebruiksaanwijzingen of handleidingen zijn ook een vorm van externe documentatie (swimm.io, 2024).

Voor deze bachelorproef wordt er gekeken naar het documenteren van een Python-project, in de vorm van commentaar in de code en het genereren van een samenvattend document van het gehele project. Omdat Python een populaire programmeertaal is volgens TIOBE (2024) en er veel projecten in deze taal geschreven worden is het interessant om te kijken hoe deze projecten gedocumenteerd kunnen worden. Ook kan er in de code bij functies aan typehinting gedaan worden, dit indiceert wat de datatypes van de input en output van een functie zijn (Bailey, 2024). Uit deze documentatie kan de werking van het project duidelijk worden en worden de relaties tussen de verschillende bestanden en functies weergegeven.

In het verdere verloop van deze bachelorproef wordt er gekeken naar hoe de documentatie van een Python project gegenereerd kan worden.

2.1.1. Bestand documentatie

Eerst dienen de bestanden van het project gedocumenteerd te worden. Dit gebeurt door de code van het bestand te analyseren en de docstrings van de verschillende functies en klassen te genereren.

Docstrings of documentatie strings, worden aan het begin van een functie of klasse geplaatst. Deze strings worden gebruikt om de functie of klasse te documenteren (GeeksforGeeks, 2023). Volgens GeeksforGeeks (2023) zijn docstrings vitaal in het overdragen van het doel en de werking van een functie of klasse.

Deze docstrings kunnen dan gebruikt worden om een samenvatting van het bestand te genereren.

2.1.2. Project documentatie

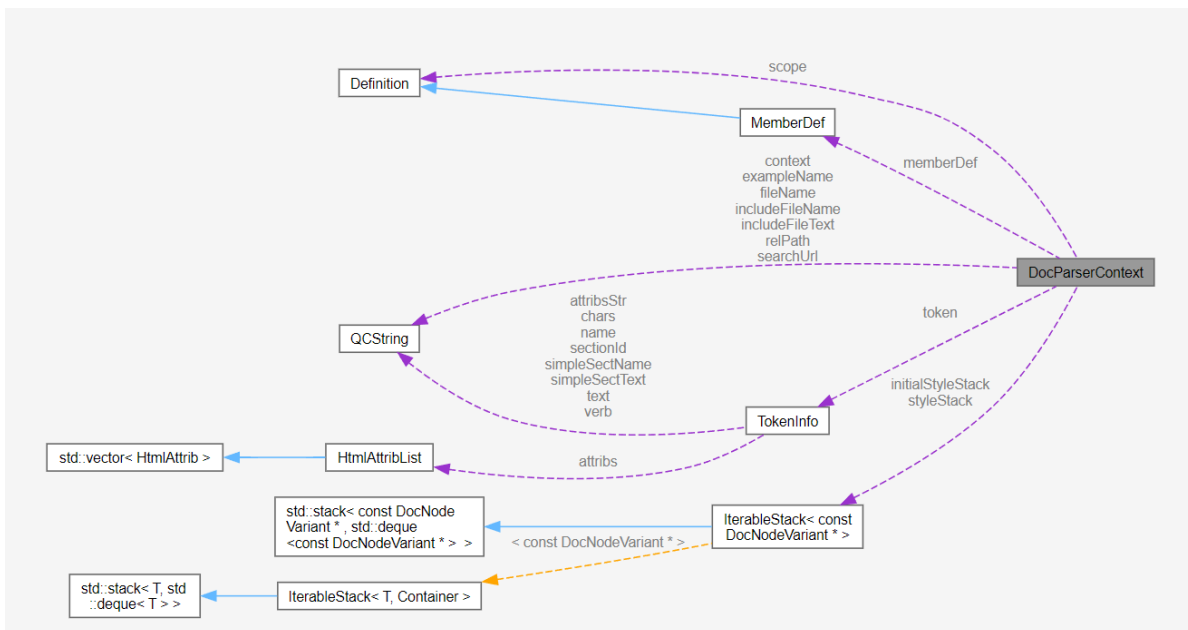
De documentatie van het project wordt gemaakt door de samenvattingen van de verschillende bestanden te combineren. Deze samenvattingen worden gegenereerd op basis van de samenvatting van de bestanden die tot het project behoren. In deze samenvatting behoort de werking van het project, de verschillende bestanden met functies en klassen en de relaties tussen deze bestanden.

2.2. Bestaande documentatie tools

Voor er gekeken wordt naar hoe LLM's mogelijk gebruikt kunnen worden voor het genereren van documentatie is het belangrijk dat er een duidelijk beeld is van de huidige tools die gebruikt worden voor het genereren van documentatie. De documentatie kan in verschillende vormen gegeneerd worden dit kan gaan van een website tot een samenvattend document. Ook kunnen er in de code zelf commentaren geplaatst worden die de werking van de code uitleggen. Hiervoor bestaan er reeds verschillende tools en dit voor verschillende programmeertalen opgelijst in tabel 2.1.

2.2.1. Doxygen

Doxygen (Doxygen, 2023) is een tool die het toelaat om automatisch code documentatie te genereren. Het is een gratis tool die bruikbaar is voor verschillende programmeertalen zoals: C++, C, Python, PHP en Java. Het genereert documentatie in de vorm van HTML, LaTeX, RT. Ook is het in staat om een diagram te genereren met de relaties tussen de verschillende delen van de code. Bijvoorbeeld de relaties tussen de verschillende klassen en functies. Een voorbeeld van een diagram kan gezien worden in figuur 2.1. Zo wordt er een duidelijk beeld verkregen van de structuur van het project.



Figuur (2.1)

Voorbeeld diagram van Doxygen (Doxygen, 2023)

2.2.2. CodeCat

CodeCat.AI (2024) is een online tool die de code analyseert en de docstrings genereert, het is niet open sourced dus er kan niet gekeken worden naar de werking


```
1 class A:
2     def __init__(self, a: int, b: int):
3         self.a = a
4         self.b = b
5
6     def sum(self):
7         return self.a + self.b
```

(a) Voorbeeld code zonder docstrings van Pedrido (2023)

```
1 class A:
2     """A class representing an object with two integer attributes.
3
4     Attributes:
5         a (int): The first integer attribute.
6         b (int): The second integer attribute.
7     """
8     def __init__(self, a: int, b: int):
9         self.a = a
10        self.b = b
11
12    def sum(self):
13        """Calculates the sum of the two integer attributes.
14
15        Returns:
16            int: The sum of the two integer attributes.
17        """
18        return self.a + self.b
```

(b) Voorbeeld code met docstrings van Pedrido (2023)

Figuur (2.2)

Voorbeeld uitkomst van de tool van Pedrido (2023)

van de tool. Deze tool genereert automatisch de docstrings voor JavaScript code.

2.2.3. GPT4Docstrings

De tool van Pedrido (2023) genereert docstrings voor Python code, het maakt gebruik van GPT-4 (OpenAI, 2023) om de docstrings te genereren. Deze tool leunt sterk aan bij de doelstelling van deze bachelorproef, namelijk het genereren van documentatie met behulp van LLM's. Het nader bekijken van deze tool kan een meerwaarde zijn voor deze bachelorproef.

Zo gebruikt GPT4Docstrings van Pedrido (2023) de Abstract Syntax Tree (AST) van de code om de structuur van de code te begrijpen en vast te nemen. Uit de AST kunnen de juiste stukken code gehaald worden om de docstrings te genereren. Dit kan goed van pas komen voor het genereren van documentatie van Python projecten. Een voorbeeld van deze tool kan gezien worden in figuur 2.2.

2.2.4. Sphinx

Sphinx Team (2023) is een van de meest gebruikte tools voor het genereren van documentatie voor Python projecten. Het genereert documentatie aan de hand van docstrings. Het toont de hiërarchie van het project om een duidelijk overzicht te geven. Deze tool is vrij flexibel want het kan uitgebreid worden met verschillende extensies, zodat het alle mogelijke wensen kan vervullen. Bijvoorbeeld de extensie autodoc kan semi-automatisch de docstrings van een module extraheren en in de documentatie plaatsen. Handig wanneer de automatische documentatie generatie van een geheel project gewenst is. Zo kan het project samengevat worden aan de hand van de docstrings van de verschillende python files. Alvorens een

Python project gedocumenteerd kan worden met Sphinx dienen alle bestanden aangevuld te worden met docstrings, dit gebeurt echter niet automatisch.

2.2.5. Pdoc

Pdoc (Gallant & Hils, 2023) genereert documentatie in de vorm van een website die een API van de documentatie bevat. Hier kan er makkelijk op de website gezocht worden naar een functie of klasse met de bijhorende documentatie.

Tool	programmeertaal	type
Doxygen	C++, C, Python, PHP, Java	HTML, PDF, markdown
CodeCat	JavaScript	docstring
Sphinx	Python	HTML, LATEX, man pages
Pdoc	Python	API
GPT4Docstrings	Python	docstring

Tabel 2.1: Vergelijking documentatie tools

2.2.6. Samenvatting tools

Door de verschillende tools op te lijsten en te vergelijken met elkaar wordt er een duidelijk beeld gevormd van wat de tools kunnen genereren. Zo kan er een keuze gemaakt worden welke tool het beste past bij dit onderzoek. In tabel 2.2 wordt er een overzicht gegeven van wat de tools kunnen genereren. De tools Doxygen, Sphinx en Pdoc kunnen enkel een document genereren in de vorm van een website of een bestand op basis van reeds bestaande docstrings en commentaren in de code. De tool GPT4Docstrings genereert docstrings voor Python code met behulp van een LLM.

Tool	docstrings	samenvatting bestand	samenvatting project	visualisatie
GPT4Docstrings	ja	nee	nee	nee
Doxygen	nee	nee	nee	ja
Sphinx	nee	nee	nee	nee
Pdoc	nee	nee	nee	nee

Tabel 2.2: Wat kunnen de tools genereren

2.3. Wat zijn Large Language Modellen (LLM)?

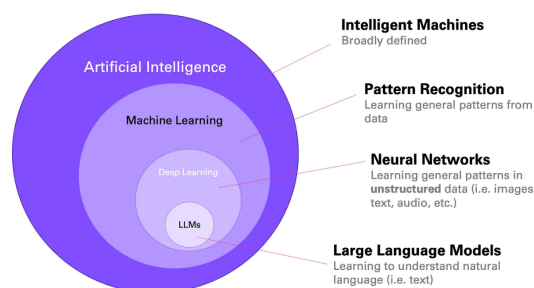
Uit de vorige sectie is gebleken dat er slechts één tool geschikt is voor het genereren van documentatie voor projecten zonder gedocumenteerde code. De tool

GPT4Docstrings van Pedrido (2023) maakt gebruik van een Large Language Model (LLM) om de docstrings te genereren. Het is dus belangrijk dat er een duidelijk beeld is van wat LLM's juist zijn en hoe deze werken. Wat kunnen deze modellen, wat zijn de mogelijke beperkingen en wat is de huidige stand van zaken. In dit hoofdstuk wordt er een antwoord gegeven op de vragen:

- Bestaan er LLM's speciaal getraind op Python code?
- Kunnen LLM's gebruikt worden om documentatie te genereren?

Dit helpt met het verkrijgen van een grondige basiskennis van LLM's.

Het veld waarin AI zich bevindt wordt vaak voorgesteld volgens figuur 2.3, met verschillende lagen (Stöffelbauer, 2023). Deze lagen zijn: Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning en Large Language Modellen. Omdat LLM's een subveld zijn van Deep Learning is het belangrijk dat er een duidelijk beeld is van wat Deep Learning juist is. Uit de figuur 2.3 blijkt dat AI verschillende categorieën omvat. AI is een brede term, hiermee wordt vaak verwezen naar slimme machines. Machine Learning (ML) is een subveld van AI, waarin patronen worden herkend tussen een input en een output. ML kan gebruikt worden voor verschillende taken zoals: classificatie, regressie, clustering ... Deep Learning (DL) is een subveld van ML, waarin complexe algoritmen en Deep Neural Networks gebruikt worden om moeilijkere taken uit te voeren. Deep Learning is een krachtige tool die gebruikt wordt voor verschillende taken zoals: beeldherkenning, spraakherkenning, ... (Stöffelbauer, 2023)



Figuur (2.3)

Artificiële intelligentie in lagen (Stöffelbauer, 2023)

Large Language Modellen zijn geavanceerde AI-systemen die dienen om menselijke taal te verstaan, te genereren en te verwerken. LLM's worden getraind op een grote hoeveelheid tekst wat vaak uit allerlei data zoals artikels of websites gehaald wordt. Volgens Beelen (2023) zorgen Deep Neural Networks ervoor dat LLM's natuurlijke taal verwerken op een gelijkaardige manier die vergelijkbaar is met de menselijke taalvaardigheid. Deze hebben een grote vooruitgang gekend in 2017 door de paper van Vaswani e.a. (2017). Hieruit kwam een nieuw mechanisme tot stand namelijk transformers wat bestaat uit Attentie blokken. Enkele voordelen die

komen kijken bij het gebruiken van transformers zijn: het kan lange sequenties verwerken, het kan parallel verwerken en het kan de relaties tussen de verschillende delen van de sequentie leren. Hierdoor hebben transformer modellen een snellere trainingsperiode dan vorige neurale netwerken ("What are the primary advantages of transformer models?", 2023).

2.3.1. Transformers en de architectuur van LLM's

Omdat in dit onderzoek gebruik gemaakt wordt van LLM's is het nodig dat er dieper ingegaan wordt op de architectuur van deze modellen, om een beter inzicht te krijgen in hoe deze werken. Een neuraal netwerk bestaat uit verschillende lagen. Enkele belangrijke blokken die gebruikt worden binnen de transformer laag zijn:

- Zelfattentie (Self-Attention)
- Kruis-Attentie (Cross-Attention)
- Gemaskerde Zelfattentie (Masked Self-Attention)

Deze attention blokken worden gebruikt in de encoder en decoder van een transformer en stromen voort uit het onderzoek van Vaswani e.a. (2017).

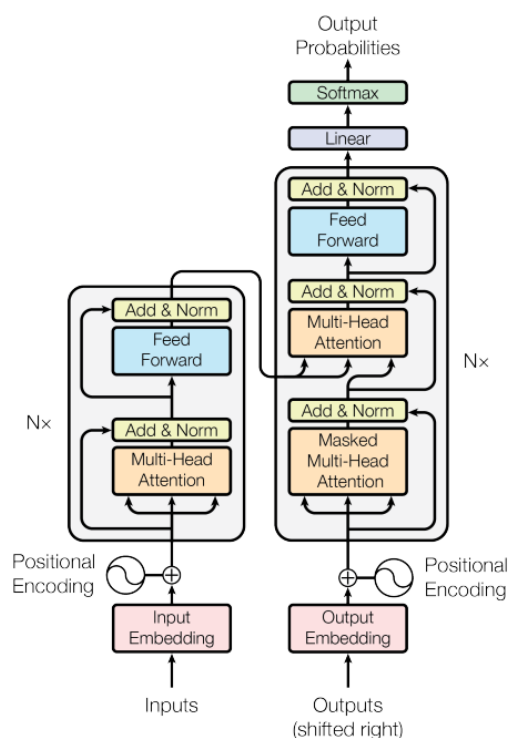
Transformers zijn een speciaal type van neurale netwerken die gebruik maken van verschillende attention blokken. Attention is een mechanisme dat gebruikt wordt om de relaties tussen verschillende delen van de invoersequenties te leren. Een transformer bestaat uit een encoder en een decoder. Niet elke transformer bestaat uit beide een encoder en een decoder, sommige bestaan enkel uit een encoder of een decoder (Hoque, 2023). De encoder wordt gebruikt om de invoersequenties te verwerken en de decoder wordt gebruikt om de uitvoersequenties te genereren. Zo is BERT van Devlin e.a. (2019) een transformer die enkel een encoder heeft en GPT van Radford e.a. (2018) heeft enkel een decoder. De transformer architectuur uit de paper van Vaswani e.a. (2017) kan gezien worden in figuur 2.4.

Zelfattentie duidt dynamische gewichten toe aan verschillende elementen binnen de meegegeven sequentie, bijvoorbeeld woorden in een zin. Dit laat het model toe om zich te concentreren op de meest relevante delen van de invoer, terwijl de invloed van minder cruciale delen wordt verminderd. De invoersequentie wordt eerst in drie verschillende vectoren omgezet: Query, Key en Value. De Query vector stelt een specifiek token uit de invoersequentie voor, de Key vector vertegenwoordigt alle tokens en de vector voor Value bevat de feitelijke inhoud die aan elk token is gekoppeld. De similariteit tussen de Query en de Key vector wordt berekend aan de hand van het inwendig product van de twee vectoren. Deze similariteit wordt gebruikt om de gewichten te berekenen die aan de Value vector worden toegekend (Vaswani e.a., 2017).

Gemaskerde Zelfattentie is een variant van Zelfattentie die gebruikt wordt in de decoder van een transformer. In de decoder wordt er een mask gebruikt om enkel

de vorige tokens te zien in de sequentie (Vaswani e.a., 2017). Dit vermijdt dat er informatie van de toekomstige tokens gebruikt wordt. Zo kan de transformer niet "vals spelen" tijdens het train proces.

Kruis-Attentie is een variant van Zelfattentie die gebruikt wordt in de decoder van een transformer. Deze laag gebruikt de informatie van de encoder en de vorige Attention laag van de decoder om de uitvoersequenties te genereren. De Query vector is de uitvoer van de vorige Attentie/Kruis-Attentie laag van de decoder en de Key en Value vector zijn de uitvoer van de encoder (Vaswani e.a., 2017). Doordat de Kruis-Attentie laag informatie van zowel de encoder als decoder krijgt kan het model de relaties tussen de verschillende delen van de invoersequenties leren. Deze relaties worden dan gebruikt om de uitvoersequenties te genereren.



Figuur (2.4)

Transformer model architectuur (Vaswani e.a., 2017)

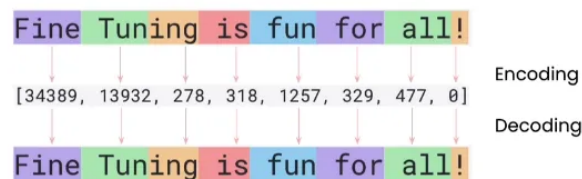
2.3.2. Trainen van LLM's

Het trainen van LLM's is een complex proces dat veel tijd en rekenkracht vereist. Dit gebeurt in verschillende stappen. De eerste fase begint bij het verzamelen van een grote hoeveelheid tekst die gebruikt wordt om het model te trainen. Deze tekst wordt gehaald uit verschillende artikelen, websites, boeken, ...

Zo kan het volgende woord in een sequentie van tekst voorspeld worden.

Het model krijgt deze grote hoeveelheid tekst in de pre-training fase. In deze fase leert de LLM grammatica, semantiek, taal patronen en factuele informatie (Cacic,

(2023). Voordat de data meegegeven wordt aan het model moet de data gecleand en geformatteerd worden. Dit gebeurt in het tokenization process. Hier wordt de tekst omgezet in tokens die het model kan verwerken 2.5. Woorden kunnen kleiner gemaakt worden zodat de volledige tekst in het model past, dit moet wanneer het model een beperkte input capaciteit heeft (ElHousieny, 2023). Wat dan op zijn beurt omgezet wordt in embeddings. Deze embeddings worden dan meegegeven aan het model om te trainen. Uit de data kunnen dan patronen gehaald worden met behulp van Transformers 2.3.1, maar het is nog niet instaat om vragen of instructies te begrijpen.



Figuur (2.5)

Gesimplificeerde tokenisatie van tekst (TeeTracker, 2023)

De volgende fase bestaat uit het trainen van het model op een dataset met instructies en het antwoord erop. Dit is het gesuperviseerde Fine-Tuning van de LLM (Das, 2024). Het model probeert zo de patronen te leren die nodig zijn om vragen te beantwoorden of instructies te volgen. Hierdoor leert het model instructies te volgen en vragen te beantwoorden.

Er kan gebruik gemaakt worden om het model specifiek aan de wensen van de mens te laten voldoen. Dit kan door het gebruiken van Reinforcement Learning met menselijke feedback (Lambert e.a., 2022). Hierbij geeft de mens feedback aan het model en leert het model bij door deze feedback.

Het model kan achteraf nog extra getraind worden op specifieke data. Volgens Peckham e.a. (2024) gebeurt het Fine-Tunen van een model op een specifieke dataset, zoals Python code of medische data. Dit zorgt ervoor dat het model extra kennis heeft over het gekozen onderwerp.

2.3.3. Fine-Tuning van LLM's

Het Fine-Tunen van een LLM is een mogelijkheid om het meer informatie te geven over een specifiek onderwerp. Enkele vereisten voor het Fine-Tunen van een LLM zijn, de dataset moet een grote hoeveelheid data hebben, de dataset moet van hoge kwaliteit zijn en de dataset moet representatief zijn voor het onderwerp volgens Peckham e.a. (2024).

2.3.4. Prompt Engineering

Prompt Engineering is een techniek die gebruikt wordt om de uitkomst van een LLM te beïnvloeden volgens Google (2023). Er wordt een prompt gegeven aan het

model met duidelijke instructies over wat er verwacht wordt, als deze niet volstaan wordt de prompt bewerkt. De nieuwe uitkomst wordt dan geëvalueerd en indien nodig wordt de prompt opnieuw aangepast. Dit is het proces van Prompt Engineering.

Door het toevoegen van enkele voorbeelden aan de prompt kan het model beter begrijpen wat er verwacht wordt (OpenAi, 2024b). Geef structuur aan de prompt, geef een rol, geef een context en geef een doel. Dit zijn de beste manieren om een prompt te structureren volgens (Google, 2023).

2.3.5. Bestaande LLM's

Momenteel zijn er verschillende LLM's die gebruikt worden voor verschillende taken. Deze LLM's zijn getraind op verschillende datasets en hebben verschillende architecturen. Het is belangrijk dat er een duidelijk beeld is van de verschillende LLM's en hun mogelijkheden. Met dit beeld kan er een goede keuze gemaakt worden voor het genereren van documentatie.

Eén van de grote spelers in de wereld van LLM's is OpenAI. OpenAI heeft verschillende LLM's ontwikkeld gaande van GPT (Radford e.a., 2018) tot GPT-4 (OpenAI, 2023). Het is getraind op een grote hoeveelheid data en heeft een grote capaciteit. Een nadeel is dat GPT-4 een betalende service is (OpenAI, 2023).

Een andere grote speler is Google, Google heeft verschillende LLM's ontwikkeld waaronder BERT van Devlin e.a. (2019) en Gemini (Google, 2024) BERT staat voor Bidirectional Encoder Representations from Transformers, een DL model waar elk output element verbonden is met elk input element (Hashemi-Pour & Lutkevich, 2024). BERT was een eerste stap in de wereld van LLM's voor Google. Sinds kort heeft Google (2024) een nieuwe LLM ontwikkeld genaamd Gemini. Deze LLM is een sterke concurrent voor GPT-4 van OpenAI (2023).

De modellen die Google (Google, 2024) uitbracht bestaan uit verschillende versies: Gemini Pro, Gemini Ultra en Gemini Nano. Elke versie is gemaakt voor een specifiek doeleind, zo is Gemini Nano het meest efficiënte model voor mobiele toestellen. Gemini Pro is dan weer het beste model voor het schalen van allerlei taken. En Gemini Ultra is het meest capabele en grootste model van Google, dit kan gebruikt worden voor complexe taken. Een van de voordelen van Gemini is dat er een groot aantal input tokens meegegeven kunnen worden, namelijk 1 miljoen tokens (Google, 2024). Dit is aanzienlijk meer dan de 128 duizend tokens van GPT-4.

Een derde speler in de wereld van LLM's is Meta. Meta heeft verschillende LLM's ontwikkeld onder de naam LLama 2 (Meta, 2024). De LLama 2 familie bestaat uit verschillende LLM's die getraind zijn op verschillende data. Sommige zijn extra getraind voor specifiekere doeleinden. Zo is er bijvoorbeeld een LLM getraind op Python code, genaamd Code LLama 2 van Rozière e.a. (2024). Een voordeel van de LLama 2 familie is dat deze LLM's open source zijn en dus voor iedereen toegankelijk zijn.

Anthropic heeft ook een LLM ontwikkeld genaamd Claude (Anthropic, 2023). Claude's capaciteiten zijn code generatie, het verstaan van meerdere talen, beelden analyseren en kan geavanceerde redeneringen geven. Er bestaan 3 versies van Claude: Haiku, Sonnet en Opus. Haiku een lichte versie van Claude, Sonnet is de combinatie van performantie en snelheid en Opus is het intelligentste model dat complexe taken kan uitvoeren en begrijpen. Claude is een betalende service, de prijzen zijn afhankelijk van de gekozen versie van Claude.

De verschillen tussen deze LLM's zijn groot, zo is er een verschil in capaciteit, trainingsdata en toegankelijkheid. Het is belangrijk dat er een goede keuze gemaakt wordt voor het genereren van documentatie. Deze keuze zal afhangen van de mogelijkheden van de LLM's en de doeleinden van de documentatie. Het is mogelijk dat er meerdere LLM's getest moeten worden om de beste keuze te maken.

Model	Input (1M tokens)	Output (1M tokens)	Context	Snelheid (t/s)
GPT-4 Turbo (OpenAi, 2024a)	\$10.00	\$30.00	128k	18
GPT-4 (OpenAi, 2024a)	\$30.00	\$60.00	128k	21
GPT-3.5 Turbo (OpenAi, 2024a)	\$0.50	\$1.50	16k	52
Gemini 1.5 Pro Google (2024)	\$3.50	\$10.50	128k	52
Code LLama (Meta, 2024)	\$0.90	\$0.90	100k	34
LLama 2 (Meta, 2024)	\$0.95	\$1.00	100k	34
Claude Opus (Anthropic, 2023)	\$15.00	\$75	200k	29
Claude Sonnet (Anthropic, 2023)	\$3.00	\$15	200k	61
Claude Haiku (Anthropic, 2023)	\$0.20	\$1.20	200k	102

Tabel 2.3: Vergelijking van verschillende LLM's op basis van prijs (\$), context (aantal tokens) en snelheid (Tokens per seconde) (ArtificialAnalysis, 2024)

In tabel 2.3 wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende LLM's. Hierin wordt er gekeken naar de prijs van de input en output tokens, de grootte van de context en het aantal tokens dat per seconde verwerkt kan worden.

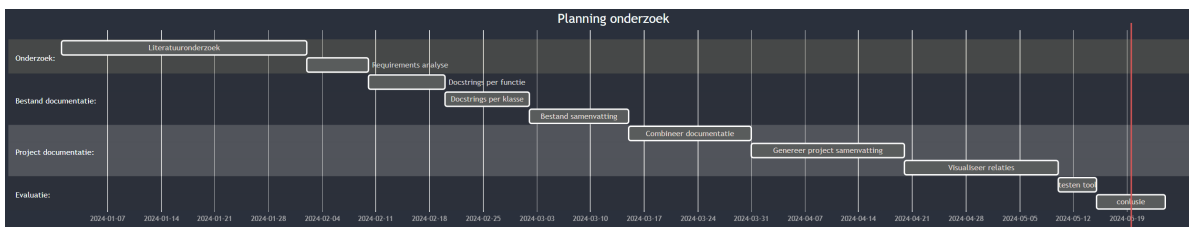
In tabel 2.4 wordt een vergelijking gemaakt tussen verschillende LLM's tussen twee kolommen met in een eerste kolom de beoordeling van de coding mogelijkheden van het model gequoteerd door menselijke evaluatie. In de tweede kolom staat de beredenering en kennis en deze is er gequoteerd op basis van de MMLU een dataset (Hendrycks e.a., 2020). Hieruit kan geconcludeerd worden dat GPT-4 en GPT-4 Turbo de beste scores behalen op beide vlakken. Een conclusie uit beide tabellen is dat GPT-3.5 Turbo de beste prijs/kwaliteit verhouding heeft.

Model	Coding	Beredenering en Kennis
GPT-4 Turbo (OpenAi, 2024a)	86%	85.4%
GPT-4 (OpenAi, 2024a)	86%	88.4%
GPT-3.5 Turbo (OpenAi, 2024a)	70%	73.2%
Gemini 1.5 Pro Google (2024)	82%	71.9%
Code LLama (Meta, 2024)	/	67.8%
LLama 2 (Meta, 2024)	69%	/
Claude Opus (Anthropic, 2023)	87%	/
Claude Sonnet (Anthropic, 2023)	79%	/
Claude Haiku (Anthropic, 2023)	75%	/

Tabel 2.4: Vergelijking LLM's op basis van beoordeling van menselijke evaluatie en MMLU (ArtificialAnalysis, [2024](#))

3

Methodologie



Figuur (3.1)

Tijdslijn onderzoek

Het onderzoek is in drie fases opgedeeld. De eerste fase omvat de literatuurstudie. In deze literatuurstudie wordt er onderzocht wat de huidige stand van zaken is omtrent de technologie en mogelijkheden voor de documentatie van Python projecten met behulp van Large Language Modellen. Zo wordt er gekeken naar wat LLM's zijn, hoe ze werken en wat bestaande tools zijn voor het genereren van documentatie.

Nadat er een duidelijk beeld gevormd is in de literatuurstudie, kan er begonnen worden aan de tweede fase. Hier wordt er een tool ontwikkeld die een Python bestand kan analyseren en op basis daarvan documentatie kan genereren, aan de hand van het toevoegen van docstrings aan de code. Dit doet het eerst per functie dan per klasse en uiteindelijk voor het gehele bestand. Dit kan later gebruikt worden om een samenvatting van het project te genereren in de volgende fase. De uitkomst van deze fase is een tool die de documentatie van een Python bestand kan genereren. Door aan prompt engineering te doen, met het prompt dat meegegeven wordt aan de LLM, kunnen de bekomen docstrings accurater worden. Verder wordt er gekeken naar hoe de documentatie van Python functies gebruikt kan worden voor het maken van een gehele samenvatting van het project. Dit wordt gedaan op basis van huidige methoden om docstrings aan te maken en te gebruiken.

Erna kunnen de verschillende docstrings met de bijhorende naam van de functie of klasse gebruikt worden om een samenvatting te genereren. Deze informatie kan dan gegeven worden aan de Large Language Modellen om een samenvatting te genereren.

De derde fase beslaagt het documenteren van een geheel project. Door de vorige fases te combineren, het documenteren van de individuele bestanden en het genereren van een samenvatting van het project, kan er een tool gemaakt worden die de documentatie van een geheel project kan genereren. Deze documentatie bestaat uit de individuele documentatie van de bestanden en een samenvatting van het gehele project. Alsook wordt er gekeken naar hoe de relaties tussen de verschillende bestanden gevisualiseerd kunnen worden.

De laatste fase is het evalueren van de tool. Hier wordt er gekeken naar de kwaliteit van de documentatie die de tool genereert. Dit wordt gedaan door de documentatie van de tool te vergelijken met de handgeschreven documentatie van een project. Dit wordt gedaan voor een bestand, een klein project en een groot project.

3.1. Requirementsanalyse

De requirementsanalyse is een belangrijk onderdeel van het onderzoek. Hier wordt er gekeken naar wat de tool moet kunnen en wat de verwachtingen zijn van de tool.

3.1.1. Functionele requirements

Should Have:

- De tool moet in staat zijn om docstrings te genereren voor functies en klassen voor een Python bestand.

De tool genereert docstrings voor functies en klassen in een Python bestand. Dit gebeurt door de code te analyseren en op basis daarvan een docstring te genereren.

- De tool moet in staat zijn om een samenvatting van een Python bestand te genereren.

De tool maakt een samenvatting van een Python bestand. In deze samenvatting zitten de belangrijkste zaken van het bestand. Zijnde de functies en klassen die erin voorkomen en wat deze doen, alsook hun eventuele parameters en de uitkomst.

- De tool moet in staat zijn om een samenhangende samenvatting van een Python project te genereren.

De tool dient een samenvatting te maken van een Python project. Deze samenvatting bestaat uit de individuele samenvattingen van de bestanden en een overkoepelende samenvatting van het project. Hierin staan alle functies en klassen die in het project voorkomen en wat deze doen, alsook hun eventuele parameters en de uitkomst.

- De tool moet in staat zijn om de relaties tussen de verschillende bestanden van een project te visualiseren.

De tool visualiseert de relaties tussen de verschillende bestanden van een project. Zo is er geweten waar de bestanden naar verwijzen en van waar ze refereren.

Could Have:

- De tool moet in staat zijn om de documentatie van een Python bestand te genereren in verschillende formaten.

De tool genereert de documentatie van een Python bestand in verschillende formaten. Zo kan de gebruiker kiezen in welk formaat hij de documentatie wil.

- De tool moet in staat zijn om de relaties tussen de verschillende functies en klassen van een bestand te visualiseren op project niveau

De tool visualiseert de relaties tussen de verschillende functies en klassen van een bestand op project niveau. Zo is er geweten waar de functies en klassen naar verwijzen en van waar ze refereren.

Nice to Have:

- De tool moet in staat zijn om de documentatie van een Python bestand te genereren in verschillende talen.

De tool genereert de documentatie van een Python bestand in verschillende talen. Zo kan de gebruiker kiezen in welke taal hij de documentatie wil.

- De tool moet in staat zijn om de documentatie van een Python bestand te genereren in verschillende stijlen.

De tool genereert de documentatie van een Python bestand in verschillende stijlen. Zo kan de gebruiker kiezen in welke stijl hij de documentatie wil.

3.1.2. Niet-functionele requirements

- De tool moet gebruiksvriendelijk zijn.

De tool moet eenvoudig te gebruiken zijn. Dit betekent dat de tool intuïtief moet zijn en dat de gebruiker geen moeite moet doen om de tool te gebruiken.

- De tool moet betaalbaar zijn.

Dit wil zeggen dat de tool geen hoge kosten met zich meebrengt.

- De tool moet snel werken.

Dit betekent dat de tool snel de documentatie moet kunnen genereren. Snel-er dan dat een persoon dit zou kunnen.

- De tool moet leesbare documentatie genereren.

De documentatie die de tool genereert moet leesbaar zijn. Dit wil zeggen

dat de documentatie duidelijk moet zijn en dat de gebruiker er gemakkelijk informatie uit kan halen.

3.2. Opstellen van een long-list tools

De long-list bestaat uit de verschillende tools die gebruikt kunnen worden voor het genereren van documentatie voor Pythonprojecten. Deze tools worden onderzocht en vergeleken om te kijken welke het beste past bij de requirements van de tool.

De oplijsting van de tools is gebaseerd op de literatuurstudie en bestaat uit de twee volgende tools:

- GPT4Docstrings (Pedrido, [2023](#))
Een tool die docstrings genereert voor Python projecten met behulp van GPT4 OpenAI ([2023](#)).
- Doxygen (Doxygen, [2023](#))
Een tool die gebruikt wordt voor het genereren van documentatie voor projecten met reeds een docstring.

Deze tools worden verder onderzocht in de volgende hoofdstukken, GPT4Docstrings in het hoofdstuk [4.1.2](#) en Doxygen in het hoofdstuk [4.2.3](#).

4

Resultaten

4.1. Bestand documentatie

4.1.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de documentatie van een Python bestand. Eerst wordt de code van het bestand geanalyseerd en worden de verschillende functies en klassen geïdentificeerd. Op basis van deze functies en klassen worden er docstrings gegenereerd, die opnieuw toegevoegd worden aan de code van het bestand. Daarna worden de docstrings binnen het bestand gebruikt om een samenvatting van het bestand te genereren.

Deze samenvatting kan dan als basis gebruikt worden voor het genereren van documentatie voor een Python project, wat bestaat uit een gehele samenvatting en de relaties tussen de verschillende bestanden van het project. Dit wordt verder onderzocht in het volgende hoofdstuk. Voor dit kan gebeuren, moet de bestand documentatie op punt staan en geoptimaliseerd worden.

Omdat dit onderzoek een bepaalde scope heeft, is er gekozen om enkel te kijken naar het documenteren van correcte Python bestanden. Dit wil zeggen dat er verwacht wordt dat de code correct is en dat er geen syntax fouten in de code zitten. Er wordt niet gekeken naar het documenteren van bestanden met syntax fouten of bestanden die niet correct zijn.

4.1.2. GPT4Docstrings tool

Uit de literatuurstudie is gebleken dat de tool GPT4Docstrings van Pedrido ([2023](#)) een tool is die het toelaat om docstrings te genereren voor ongedocumenteerde Python projecten. Deze tool maakt gebruik van GPT4 (OpenAI, [2023](#)) om de docstrings te genereren. De resultaten van deze tool zijn beoordeeld en geëvalueerd volgens de requirementsanalyse, een voorbeeld van deze uitkomst is te zien in [4.1.1](#).

```
import asyncio
async def async_example():
    """
    An asynchronous example function.

    This function asynchronously sleeps for 2 seconds.

    Returns
    -----
    None
        This function does not return any value.
    """
    await asyncio.sleep(2)
```

Listing 4.1.1: Voorbeeld uitkomst van GPT4Docstrings. (Pedrido, [2023](#))

De tool is enkel instaat om docstrings te genereren voor functies en klassen. Hierdoor is er gekozen om niet de tool zelf te gebruiken maar om de technieken die te tool gebruikt te implementeren in een eigen tool. Dit laat toe om de tool uit te breiden en te verbeteren volgens de requirementsanalyse, ook geeft het meer controle over de gegenereerde docstrings.

4.1.3. Abstract Syntax Tree

Voor er docstrings gegenereerd kunnen worden, moet er eerst gekeken worden naar hoe de code van een Python bestand geanalyseerd kan worden. Uit de literatuurstudie is gebleken dat de verschillende functies en klassen in een bestand geïdentificeerd en geëxtraheerd kunnen worden aan de hand van een Abstract Syntax Tree (AST). Het analyseren van de code van de tool GPT4Docstrings gemaakt door Pedrido ([2023](#)) heeft een beter beeld gegeven van hoe een AST eruit ziet en hoe deze gegenereerd kan worden.

Een AST is een boomstructuur die de syntactische structuur van een programma weergeeft. Per knoop in de boom wordt er een deel van de code voorgesteld. Deze knoop kan dan weer kinderen hebben die deel uitmaken van de code. Elke knoop in de boom heeft een type en een waarde.

Het inlezen van een Python bestand en deze omzetten naar een AST, maakt het mogelijk om de code van het bestand te manipuleren. Zo kunnen de verschillende import statements, functies en klassen geïdentificeerd worden.

In [4.1.2](#) wordt er met behulp van de `ast.walk` functie door de AST gelopen. Elke node in de AST wordt gecontroleerd of het een functie of een asynchrone functie is. Als dit het geval is, wordt de code van de functie opgehaald en toegevoegd aan een

```
def get_functions(self):
    functions = {}
    for node in ast.walk(self.tree):
        if isinstance(node, ast.FunctionDef) or
            isinstance(node, ast.AsyncFunctionDef):
            function_code = ast.unparse(node)
            functions[node.name] = function_code
    return functions
```

Listing 4.1.2: Voorbeeld van het ophalen van functies uit een AST.

```
def is_prime(n: int) -> bool:
    """
    Check if a number is prime.

    Args:
        n (int): The number to check.

    Returns:
        bool: True if the number is prime, False otherwise.
    """
```

Listing 4.1.3: Voorbeeld van een docstring voor een functie die controleert of een getal een priemgetal is.

dictionary.

4.1.4. Docstrings

Binnen deze bachelorproef wordt de docstring stijl van Google gehanteerd (Google Python Team, 2024). Deze docstrings bestaan uit een korte beschrijving van de functie of klasse, de argumenten die de functie verwacht en de return waarde van de functie. Een voorbeeld van een docstring voor een functie die controleert of een getal een priemgetal is 4.1.3.

Deze docstrings dienen gegenereerd te worden voor elke functie en klasse in een Python bestand op basis van de huidige code van de functie of klasse.

4.1.5. Keuze van model

Uit de literatuurstudie is gebleken dat GPT3.5-Turbo van OpenAi (2024a) het beste model is. Dit model heeft de beste prijs-kwaliteit verhouding volgens de tabellen

2.4 en 2.3 van de literatuurstudie. Dit is een krachtig model dat getraind is op een grote hoeveelheid data en in staat is om natuurlijke taal te genereren. Aangezien dit model getraind is op een grote hoeveelheid data is het in staat om met de juiste prompts de gewenste uitkomst te genereren.

4.1.6. Prompting

Door aan prompt-engineering te doen kan het model beter aangestuurd worden en kan de gewenste uitkomst volgens de requirementsanalyse bekomen worden. Er werden verschillende prompts getest om het beste resultaat te bekomen. Er zijn prompts gemaakt voor het genereren van docstrings voor functies en klassen.

Prompt engineering voor functies

Het eerste prompt voor het genereren van een docstring voor een functie is te zien in 4.1.4. Er wordt gevraagd om een docstring te genereren voor een functie. Dit prompt bevat een voorbeeld van een functie met de verwachte uitkomst.

De volgende versie van dit prompt bevat duidelijkere instructies B.1.2. Het is belangrijk dat de prompt duidelijk is en dat het model weet wat er verwacht wordt. In de instructies staat exact wat er verwacht wordt van het model. Dat de gegenereerde functie een docstring moet bevatten en type hints. De code van de functie mocht niet aangepast worden en er mochten geen imports toegevoegd worden. Ook mocht het model niets veronderstellen over de functie of de data types die gebruikt worden in de functie.

Door het vergelijken van de uitkomst 4.1.5 met een vooropgestelde uitkomst B.3.2, een zelfgedocumenteerd bestand, kon er gekeken worden of de gegenereerde docstrings correct waren. Hier is te zien dat de uitkomst van het model correct is buiten dat de type hints niet correct zijn. Dit probleem is opgelost door met de volgende versie B.1.3 van de prompt de import statements mee te geven. Zo kan het model geen foute veronderstellingen maken ook al werd er in de instructies duidelijk meegegeven dat dit niet de bedoeling was.

Deze veronderstellingen kwamen er omdat het model de code van de functie sporadisch aanpaste. In het aangepaste prompt werd er duidelijk gemaakt dat de uitkomst van de prompt slechts de functienaam met typehint en de docstring moest bevatten. De code van de functie moest niet meer in de uitkomst staan.

Prompt engineering voor klassen

de prompt engineering process voor klassen liep gelijkaardig met dat van functies. Er werd een prompt gemaakt met duidelijke instructies en een voorbeeld van een klasse met de verwachte uitkomst. De instructies waren gelijkaardig aan die van de functies, maar dan voor klassen.

De verschillende prompt versies 1-4 voor klassen zijn identiek aan die van functies, maar dan met de code van een klasse in plaats van een functie. Omdat een klasse bestaat uit verschillende functies en attributen is het belangrijk dat de doc-

```

'''For this Python function:
```python^^I
def is_prime(n):
if n in [2, 3]:
 return True
if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
r = 3
while r * r ≤ n:
 if n % r == 0:
 return False
 r += 2
return True
'''

Leave out any imports, just return the function with the
 docstring and type hints.
The function, with docstring using the google docstring style
 and with type hints is:
```python^^I
def is_prime(n: int) -> bool:
    """
    Check if a number is prime.
    Args:
        n (int): The number to check.
    Returns:
        bool: True if the number is prime, False otherwise.
    """
    if n in [2, 3]:
        return True
    if (n == 1) or (n % 2 == 0):
        return False
    r = 3
    while r * r ≤ n:
        if n % r == 0:
            return False
        r += 2
    return True
'''

For this Python function:
```python^^I
{code}
'''

```

**Listing 4.1.4:** Prompt voor het genereren van een docstring voor een functie v1.

```
def crop_faces(plot_images: bool=False, max_images_to_plot:
 int=5) -> List[ndarray]:
 """
 Crop faces from images and save them in a directory.

 Args:
 plot_images (bool, optional): Whether to plot the images.
 Defaults to False.
 max_images_to_plot (int, optional): Maximum number of images
 to plot. Defaults to 5.

 Returns:
 List[ndarray]: List of cropped images.
 """
```

**Listing 4.1.5:** Uitkomst prompt voor het genereren van een docstring voor een functie v2.

strings van de functies en attributen correct gegenereerd worden. Deze docstrings worden dan meegegeven in de prompt voor het genereren van de docstring van de klasse. Hiervoor is de overige code van de klasse niet nodig, wat dan ook niet meegegeven wordt in de prompt. Ook worden opnieuw de verschillende imports meegegeven, aangezien deze hallucinaties vermijden zoals gezien in 4.1.6. Door de uitkomst 4.1.6 van prompt versie 4 B.1.4 te vergelijken met een vooropgestelde uitkomst B.3.3 kon er gekeken worden of de gegenereerde docstrings correct waren. Hier is te zien dat de uitkomst overeenkomt met de vooropgestelde uitkomst.

```
class CsvReader:
 """
 A class representing a CSV file reader with a method to read the
 file and return its content as a list of rows.

 Methods:
 readCsv: Read a CSV file and return its content as a list of
 rows.
 """
```

**Listing 4.1.6:** Uitkomst prompt voor het genereren van een docstring voor een klasse v4.

### Prompt engineering voor samenvatting

Voor het genereren van een samenvatting van een Python bestand, werd er een prompt gemaakt met de gegenereerde docstrings van de functies en klassen. De verschillende docstrings werden meegegeven aan de parameter `code_content` en de naam van het bestand aan de parameter `filename`. Het volledige prompt met alle beschrijvingen kan gevonden worden in [B.1.5](#). Door de gekende technieken van prompt engineering gezien in [2.3.4](#) te gebruiken, kan het model aangestuurd worden. Er wordt meegegeven wat er verwacht wordt van het model, wat er in de uitkomst moet staan en op basis van welke data de uitkomst gegenereerd moet worden.

#### 4.1.7. Toevoegen van gegenereerde docstrings

De gegenereerde docstrings worden vervolgens toegevoegd aan de code van de functies en klassen. Dit gebeurt door de code van de functie of klasse te vervangen door de gegenereerde docstring. Deze kunnen vastgelegd worden in de AST en dan de AST gebruiken als de nieuwe code van het bestand.

Omdat de uitkomst van de prompts altijd in de vorm van een string met een omsloten code blok wordt gegeven, zoals te zien in [B.1.1](#). Dient dit weg gehaald te worden voor het toevoegen aan de code van het bestand. Dit wordt gedaan door de uitkomst van het model te parsen en de code blokken te verwijderen, wat behouden moet worden is de gegenereerde docstring samen met de functie of klasse declaratie.

De eerste versie van de code voor het toevoegen van de docstrings aan de code van de functies en klassen is te zien in [4.1.7](#). Door te testen en evalueren met verschillende Python bestanden met moeilijkheidsgraden zoals te zien in [4.1](#) werd er gekeken of de code correct werkte.

Bestand	Graad	Motivatie
Een python functie met één functie: <a href="#">B.4.1</a>	makkelijk	Eén functie
Een python bestand met verschillende functies: <a href="#">B.4.2</a>	gemiddeld	Meerdere functies
Een python bestand met functies en klassen: <a href="#">B.4.3</a>	moeilijk	Functies en klassen
Een complex python bestand met verschillende functies en klassen en nested functies: <a href="#">B.4.4</a>	Extreem moeilijk	Nested functies en klassen

**Tabel 4.1:** Aantal functies en klassen in de verschillende Python bestanden.

In deze versie wordt er door de AST gelopen en wordt er gekeken of de node een functie of klasse is met de juiste naam. Als dit het geval is, wordt de code van de functie of klasse vervangen door de gegenereerde docstring. Het toevoegen van de docstring wordt gedaan door de nieuwe code van de functie of klasse in de AST te plaatsen op de plaats van de oude code. En dan de nieuwe AST te gebruiken als de nieuwe code van het bestand.

Deze code werkte niet volledig zoals verwacht. De oude code werd niet verwijderd uit de AST zoals te zien in [4.1.8](#). Dit zorgde voor dubbele functies en klassen in de AST. Waarvan één met docstring en één zonder. Dit werd opgelost door de oude

```
def replace_functions(self, functions):
 tree = self.tree
 for node in ast.walk(tree):
 if isinstance(node, (ast.FunctionDef,
 ast.AsyncFunctionDef)) and node.name in functions:
 new_func_def = ast.parse(functions[node.name]).body
 tree.body.insert(tree.body.index(node), new_func_def)
 self.tree = tree
```

**Listing 4.1.7:** Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. [B.2.1](#)

code te verwijderen uit de AST [B.2.2](#). Alsook werd de code aangepast zodat functies die binnen in een klasse gedefinieerd zijn ook vervangen kunnen worden. Het verwijderen uit de lijst met functies werd ook toegevoegd zodat de functies die al vervangen zijn niet opnieuw vervangen worden.

Deze versie werkte zoals verwacht voor bestanden met moeilijkheidsgraad makkelijk tot moeilijk, bestanden zonder ingewikkelde structuren zoals nested functies of nested klassen. De code liep vast bij bestanden met extreem moeilijke moeilijkheidsgraad. Hierdoor moest de code opnieuw aangepast worden omdat de gegenereerde docstrings niet altijd correct toegevoegd werden. Een nadeel van het werken met AST is dat de parent node van nested functies niet opgeslagen worden. Dit werd opgelost door het vervangen recursief te laten gebeuren, een betere oplossing dan het gebruiken van if else statements [4.1.9](#).

Door de code recursief te laten lopen, kan de code van nested functies en klassen ook vervangen worden. Door het gebruiken van de parent node van de node die vervangen dient te worden, kan de docstring op de juiste index geplaatst worden. De nieuwe node wordt toegevoegd aan de parent node en de oude node wordt verwijderd. Zo kunnen grote Python bestanden met complexe structuren ook correct vervangen worden.

#### 4.1.8. Bestand samenvatting genereren

De laatste stap in het proces van het documenteren van een Python bestand is het genereren van een samenvatting van het bestand. Deze samenvatting wordt gemaakt op basis van de reeds gegenereerde docstrings van de verschillende functies en klassen van het bestand. Het gebruiken van een prompt waar alle docstrings meegegeven worden kan een correcte samenvatting als eindresultaat bekomen. Hierin hoort er een korte beschrijving van het bestand te staan en een lijst van de functies en klassen die in het bestand voorkomen. Er komt een beschrijving in de samenvatting van de functies en klassen die in het bestand voorkomen. Deze

```
def crop_image(img, x1, y1, x2, y2):

def crop_image(img: ndarray, x1: int, y1: int, x2: int, y2:
 int) -> ndarray:
 """
 Crop the input image to the specified dimensions.

 Args:
 img (ndarray): The input image.
 x1 (int): The starting x-coordinate for cropping.
 y1 (int): The starting y-coordinate for cropping.
 x2 (int): The ending x-coordinate for cropping.
 y2 (int): The ending y-coordinate for cropping.

 Returns:
 ndarray: The cropped image.
 """
 if x1 < 0 or y1 < 0 or x2 > img.shape[1] or (y2 >
 img.shape[0]):
 img, x1, x2, y1, y2 = pad_img_to_fit_bbox(img, x1,
 x2, y1, y2)
 return img[y1:y2, x1:x2, :]
```

**Listing 4.1.8:** Stuk uit uitkomst van het vervangen van de code van een functie [B.5.1](#).

```
def _replace_functions(self, node, functions):
 if isinstance(node, (ast.FunctionDef, ast.AsyncFunctionDef))
 and node.name in functions:
 new_func_def = ast.parse(functions[node.name]).body[0]
 new_func_def.body.extend(node.body)
 parent_node = self._get_parent_node(node)
 index = parent_node.body.index(node)
 parent_node.body.remove(node)
 parent_node.body.insert(index, new_func_def)
 functions.pop(node.name)
 for child_node in ast.iter_child_nodes(node):
 self._replace_functions(child_node, functions)
```

**Listing 4.1.9:** Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. [B.2.3](#)

beschrijvingen worden gegenereerd door het model op basis van de gegenereerde docstrings.

Deze samenvatting wordt gegenereerd door het model de gegenereerde docstrings van de functies en klassen mee te geven in een prompt, zoals de prompt B.1.5. Dit is de laatste stap in het proces van het documenteren van een Python bestand.

Deze samenvatting kan dan gebruikt worden als basis voor het genereren van de verdere documentatie voor een Python project. Een samenvatting op project niveau en de relaties tussen de verschillende bestanden van het project.

## 4.2. Project documentatie

### 4.2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar hoe de individuele samenvattingen van een Python bestand gebruikt kunnen worden om een samenvatting van het gehele project te maken. Alsook wordt er verder gekeken naar hoe de relaties tussen de verschillende bestanden gevisualiseerd kunnen worden. Dit om een zo goed mogelijk overzicht te krijgen van het project, zonder dat er handmatig documentatie moet worden geschreven.

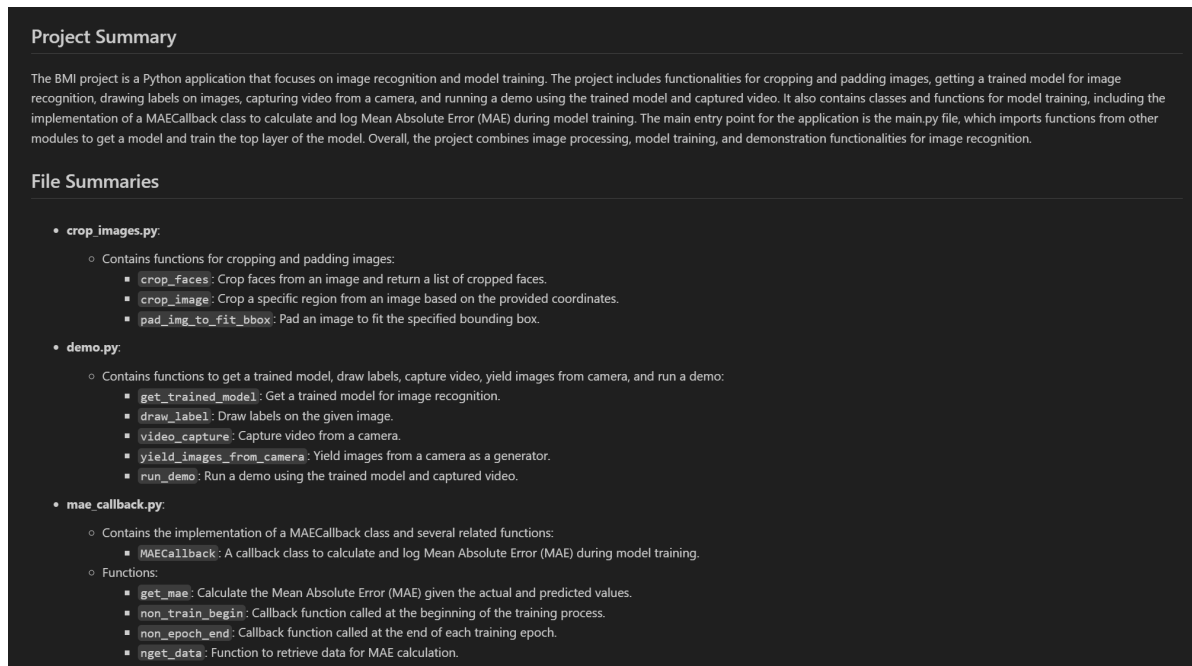
### 4.2.2. Projectsamenvatting

De samenvatting van een Python project kan gemaakt worden door de individuele samenvattingen van de bestanden samen te voegen. Deze samenvatting kan bekomen worden door elk python bestand in het project te laten documenteren en de samenvatting ervan op te slaan. Erna kunnen deze samenvattingen samengevoegd worden om dan mee te geven aan een Large Language Model. Deze samenvattingen worden gegenereerd door het aanroepen van de functie `generate_file_summaries()`. Deze functie maakt gebruik van de klasse `FileDocumentationGenerator()` die de samenvattingen van de bestanden genereert en opslaat in een dictionary. De code van deze functie is te vinden in B.2.5.

Door een duidelijk prompt mee te geven aan het model, kan er specifiek gevraagd worden welke functies en klassen er in het project zitten en dat per bestand duidelijk opgelijst. Samen met deze oplijsting wordt er ook een korte samenvatting van het gehele project weergegeven. Een voorbeeld van de uitkomst is te zien in 4.1. Hier is te zien dat er een duidelijk overzicht is van welke functies en klassen er in het project zitten, alsook wat het gehele project inhoudt.

#### Keuze van welke bestanden te documenteren

Het is belangrijk om te kijken naar welke bestanden er gedocumenteerd moeten worden. Omdat het gaat over een Python project, is het belangrijk dat alle Python bestanden gedocumenteerd worden. Er is de keuze gemaakt om het bestand `__init__.py` niet te documenteren, omdat dit bestand vaak niet relevant is voor de documentatie van het project. Dit omdat het bestand vaak leeg is of slechts

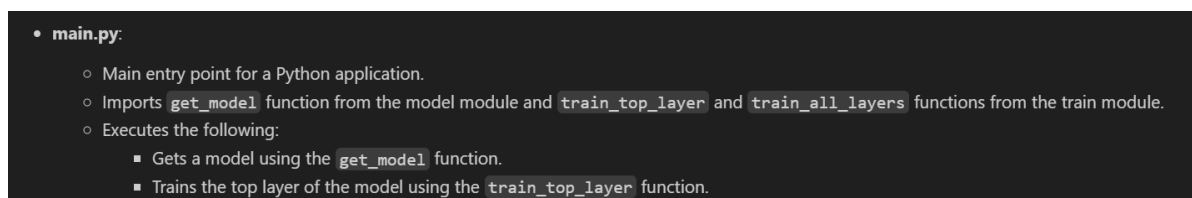
**Figuur (4.1)**

Voorbeeld van een project samenvatting

minimale functionaliteit bevat. Ook bevat het soms enkele configuratie opties die niet relevant zijn voor de documentatie.

## Documentatie van bestanden zonder functies of klassen

Omdat er eerst vanuit gegaan wordt dat elk bestand functies of klassen bevat, is het belangrijk om te kijken naar bestanden die dit niet bevatten. Deze bestanden dienen ook gedocumenteerd te worden om een volledig overzicht te krijgen van het project. Als er geen apart prompt voorzien wordt dan zal het model hallucineren en een samenvatting verzinnen, dit is niet de bedoeling. Er is gebruik gemaakt van een prompt [B.1.6](#) die vraagt om de werking van het document uit te leggen en de eventuele imports die het bestand bevat. In dit prompt wordt er duidelijk gedefinieerd wat er in de documentatie moet staan. En aan de hand van een voorbeeld wordt er getoond hoe de documentatie eruit moet zien. Een voorbeeld van de uitkomst in de project documentatie van een bestand zonder functies is te zien in [4.2](#).

**Figuur (4.2)**

Voorbeeld van de documentatie van een bestand zonder functies of klassen



### Prompting voor projectsamenvatting

Aangezien de samenvatting van een project bestaat uit de samenvattingen van individuele Python bestanden, is het belangrijk dat deze op een correcte manier gegenereerd worden. Dit wordt gerealiseerd met behulp van een prompt die de samenvatting van een Pythonbestand op een correcte manier interpreteert en omzet naar de juiste documentatie.

De gehele samenvatting van het project werd gemaakt door de individuele samenvattingen van de bestanden samen te voegen en dit mee te geven met het prompt [B.1.7](#). De volgorde van de samenvattingen is niet van belang, omdat de relaties tussen de bestanden later nog gevisualiseerd worden en dit op basis van de imports [4.2.3](#). Dit prompt vraagt om de samenvatting van het project te maken en uit de individuele samenvattingen de functies en klassen op te lijsten.

Hierdoor was het niet mogelijk om de gewenste samenvatting te creëren door alle individuele samenvattingen mee te geven aan het model. Een oplossing die gevonden werd is de volgende: er werden verschillende kleinere prompts meegegeven met het model. Dit prompt maakt per samenvatting van een Python bestand de documentatie van de verschillende functies en klassen. De functies en klassen worden opgelijst met het juiste formaat en een kleine uitleg. Deze resultaten van de verschillende kleine prompts werden dan code matig samengevoegd tot een geheel. Er gaat niets verloren van de individuele samenvattingen, maar om de samenvattingen per bestand met eenzelfde opmaak te krijgen, is deze oplossing gekozen. Een LLM begrijpt beter een kleiner prompt dan een groot prompt, omdat het model dan beter kan focussen op de vraag en een beter antwoord kan geven. De uitkomst van de samenvatting van het project is te zien in [4.1](#).

Het prompt dat gebruikt werd is te zien in [B.1.8](#). Dit prompt vraagt om de functies en klassen van een Python bestand op te lijsten en een korte uitleg te geven van wat deze functies en klassen doen. De uitkomst is weergegeven met een duidelijk voorbeeld binnen het prompt en volgens een markdown formaat. De documentatie genereerd door dit prompt is te zien in [4.1](#).

### 4.2.3. Visualisatie van relaties tussen bestanden

Om een goed overzicht te krijgen van het project is het belangrijk om de relaties tussen de verschillende bestanden te visualiseren. Dit kan gedaan worden door gebruik te maken van graven om de relaties tussen de bestanden weer te geven. Omdat er uit de longlist is gebleken dat er een bestaande tool is die dit kan, namelijk Doxygen ([2023](#)), is deze tool grondig bekeken. Voordat Doxygen een visualisatie maakt van de relaties tussen de bestanden vergen deze bestanden grondige documentatie, de relaties tussen de bestanden dienen toegevoegd worden. Doordat deze tool documentatie vergt, is er gekeken naar hoe deze relaties gegenereerd kunnen worden met behulp van LLM's. Ook is er gekeken naar hoe Doxygen deze relaties visualiseert, er wordt binnen Doxygen ([2023](#)) gebruikt gemaakt van The

Graphviz Authors (2024).

The Graphviz Authors (2024) kan niet gebruikt worden in een Python omgeving, de taal waarin dit onderzoek geschreven is. Daarom is er gekeken naar een alternatief en soortgelijke tool om de relaties te weergeven. De tool Pyvis van West Health Institute Revision (2018) is een Python library die te gebruiken is om graven te maken en te visualiseren. Dit laat het toe om de relaties tussen de verschillende bestanden te visualiseren en een duidelijk overzicht te krijgen van het project.

### Genereren van de relaties tussen bestanden in een project

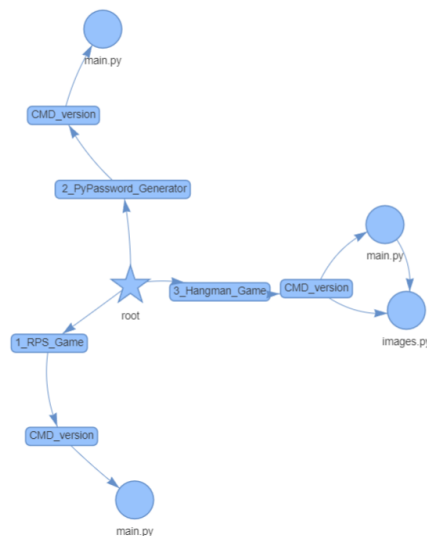
Om de relaties te bekomen tussen alle bestanden en mappen in een project is er een prompt meegegeven aan het Large Language Model. In dit prompt worden de imports van alle bestanden opgelijst en wordt er gevraagd om de relaties tussen de bestanden weer te geven. Omdat een bestand dat een functie uit een ander bestand gebruikt deze functie importeerd, staat deze ook tussen de verschillende imports van het bestand. Hierdoor kan er gekeken worden naar de imports van de verschillende bestanden en zo kunnen de relaties tussen de bestanden worden gevisualiseerd.

Het prompt dat gebruikt werd is te zien in bijlage B.2.4. Er zijn verschillende iteraties van dit prompt gemaakt om de beste resultaten te bekomen. Deze iteraties en fouten in het prompt hebben enige tijd in beslag genomen om op te lossen, maar uiteindelijk zijn de kinderziektes eruit gehaald. Zo is het belangrijk dat er geen spaties in het voorbeeld CSV staan, omdat het model dan niet de het juiste CSV bestand kan genereren. Ook is het belangrijk dat de imports van de bestanden correct zijn, omdat het model anders niet de juiste relaties kan genereren. De uitkomst van dit prompt is een CSV bestand met daarin het pad van het bestand, de bestandsnaam, het pad van de folder waarin het bestand zit en een lijst van alle geïmporteerde bestanden. Omdat dit CSV bestand de basis is voor de graaf die later gemaakt wordt, is het belangrijk dat dit bestand correct is. Ook zijn schrijffouten en onduidelijkheden in het prompt aangepast om een beter resultaat te bekomen. Een verdere iteratie van het prompt laat het toe om alle imports in het CSV te laten staan, er wordt achteraf gefilterd op de imports die niet relevant zijn. Ook is er duidelijk gemaakt aan het prompt dat het bij meerdere imports deze moet opslaan in een lijst gescheiden met een puntkomma.

### Visualisatie van de relaties

Eens er een goed CSV bestand is bekomen kunnen de relaties tussen de bestanden gevisualiseerd worden. Dit wordt gedaan met behulp van de tool Pyvis (West Health Institute Revision, 2018). Deze tool haalt de relaties uit het CSV bestand en voegt deze toe aan een graaf. Dit door eerst de verschillende nodes toe te voegen en dan de edges tussen de nodes. De code waarop dit gebeurt is te vinden in bijlage B.2.6. Als dit voor alle bestanden gedaan is, kan er een duidelijk overzicht bekomen worden van de relaties tussen de bestanden door de graaf te exporte-

ren naar een HTML bestand. Dit HTML bestand kan dan geopend worden in een browser om de graaf te bekijken, alsook kunnen de nodes verslept worden om een beter overzicht te bekomen.



**Figuur (4.3)**

Voorbeeld van een graaf van de relaties tussen bestanden

Er is een voorbeeld van een graaf te zien in 4.3, alsook is er een voor een groot project een graaf gemaakt om te kijken of de relaties tussen de bestanden duidelijk weergegeven worden op grote schaal 4.4. De relaties op deze graaf zijn zichtbaar echter is het niet altijd duidelijk omdat er veel bestanden zijn en er bepaalde bestanden vaak geïmporteerd zijn. Dit kan ervoor zorgen dat de graaf onoverzichtelijk wordt met de mate de grote van het projectOpenAi.

## 4.3. Evaluatie

### 4.3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar hoe de documentatie van een project geëvalueerd kan worden. Dit wordt gedaan door de documentatie van de tool te vergelijken met de handgeschreven documentatie van een project. Dit voor een Python bestand genaamd AutoClicker van de Waegeneer (2022) en een Python project met de naam bmi-project van Simmons (2019).

### 4.3.2. Bestandsdocumentatie evaulatie

Door het testen van de moeilijkheidsgraden opgesteld in 4.1 kon de tool geëvalueerd worden. De tool werkte zoals verwacht voor bestanden met moeilijkheidsgraad makkelijk tot moeilijk. Het vergelijken van de zelfgedocumenteerde bestanden met de automatisch gegenereerde bestanden geeft een goed beeld van de kwaliteit van de gegenereerde docstrings en bestandsamenvattingen. Wat te zien



```
"""
Summary of file autoClicker.py:

This file contains the implementation of a class to handle mouse clicking functionality.

Classes:
 ClickMouse: Class to handle the mouse clicking functionality

Functions:
 start_clicking: Start the clicking process
 stop_clicking: Stop the clicking process
 exit: Exit the clicking process
 run: Run the clicking process in a loop
 on_press: Function to handle the key press events
"""
```

(a) Zelfgedocumenteerde bestandsamenvatting. [B.3.2](#)

```
"""
Summary of file: autoClicker.py

This file contains the implementation of an AutoClicker class for simulating mouse clicks.

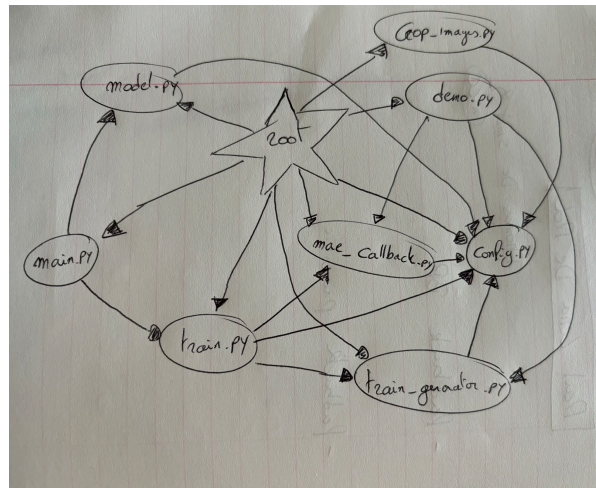
Classes:
 AutoClicker: A class to simulate mouse clicks.

Functions:
 on_press: Simulate mouse click when a specific key is pressed.
 __init__: Initialize the AutoClicker class with default settings.
 start_clicking: Start simulating mouse clicks.
 stop_clicking: Stop simulating mouse clicks.
 exit: Exit the AutoClicker program.
 run: Run the AutoClicker program.
 ClickMouse: Simulate a single mouse click at the specified position.
"""
```

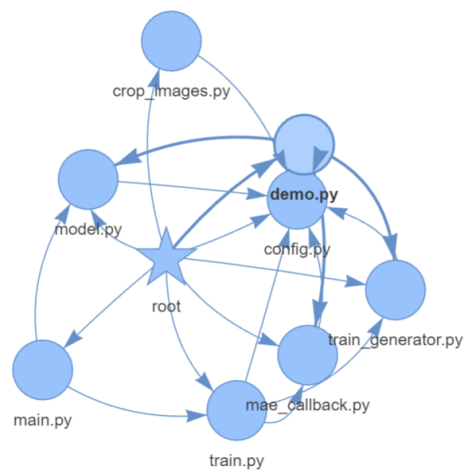
(b) Automatisch gegenereerde bestandsamenvatting van eigen tool. [B.6](#)

#### Figuur (4.5)

Evaluatie van de automatisch gegenereerde bestandsamenvatting met de zelfgedocumenteerde bestandsamenvatting. Voor het bestand AutoClicker (de Waegeneer, [2022](#))



(a) Handgetekende graaf van de relaties tussen de bestanden van het project (Simmons, 2019)



(b) Gegenerateerde graaf van de relaties tussen de bestanden van het project. (Simmons, 2019)

#### Figuur (4.6)

Vergelijking van de gegenereerde graaf met de handgetekende graaf.

# 5

## Conclusie

Aangezien dit onderzoek een beperkte scope heeft, zijn er enkele uitbreidingen die kunnen worden toegevoegd om het onderzoek te verbeteren. Deze uitbreidingen kunnen helpen om de resultaten van het onderzoek te verbeteren en om de tool verder te ontwikkelen.

Zo kan er gekeken worden naar het genereren van documentatie voor andere programmeertalen. Deze bachelorproef focust zich op Python, maar het is mogelijk om de tool uit te breiden naar andere programmeertalen. Aangezien een Large Language Model zoals GPT (OpenAi, [2024a](#)) ook getraind zijn op andere programmeertalen.

Ook kan er gekeken worden naar hoe projecten met syntax fouten of andere problemen gedocumenteerd kunnen worden. Dit is belangrijk omdat de tool nu enkel werkt op projecten die correcte syntax hebben. Deze fouten kunnen eruit gehaald worden door de code eerst door een linter te halen en dan pas de documentatie te genereren. De bekomen syntax fouten kunnen dan meegegeven worden aan een model om zo een bestand te genereren zonder syntax fouten.

Een andere uitbreiding is kijken naar hoe de documentatie geëvalueerd kan worden. Omdat dit nu slechts manueel gebeurt, op basis van gezond verstand. Er kan gekozen worden om enquêtes af te nemen bij programmeurs om zo de documentatie te evalueren. De evaluatie van de respondenten gaat echter slechts relatief zijn, omdat de respondenten beoordelen op basis van kennis van de programmeertaal. Of er kan gekeken worden naar hoe de documentatie van de tool vergeleken kan worden met de documentatie van de programmeur zelf. Hier is het belangrijk om te kijken naar de verschillen en overeenkomsten tussen de documentatie van de tool en de documentatie van de programmeur.

Een laatste voorbeeld van een uitbreiding is om te kijken naar hoe verschillende Large Language Models presteren op het genereren van documentatie. Zo kan er gekozen worden tussen modellen zoals GPT-4 (OpenAI, [2023](#)), LLama 2 (Meta,

2024), Gemini (Google, 2024), ...

Sommige modellen hebben een groter context window dan andere modellen, zo zou er meer informatie meegegeven kunnen worden aan het model. En het zou mogelijk een beter resultaat kunnen geven.





# Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

## **A.1. Samenvatting**

Documentatie van een Python project is belangrijk, maar het is een tijdrovende taak en het wordt vaak niet grondig gedaan. Deze bachelorproef aan de HoGent onderzoekt het automatisch genereren van documentatie voor python projecten met behulp van Large Language Modellen. Er wordt een tool ontwikkeld die de Python code en de relaties tussen de verschillende bestanden analyseert en op basis daarvan een overzichtelijke documentatie genereert. Er wordt gekeken naar hoe de documentatie van Python functies gebruikt kunnen worden voor het maken van een gehele samenvatting van het project. Dit wordt gedaan op basis van huidige methoden om docstrings aan te maken en te gebruiken. Deze informatie kan dan gegeven worden aan de Large Language Modellen om een samenvatting te genereren.

Er worden verschillende Python projecten verzameld en geanalyseerd om te kijken hoe de documentatie gegenereerd kan worden. Dan worden er LLMs getraind op basis van deze projecten en wordt er gekeken naar hoe de documentatie gegenereerd kan worden. De gegenereerde documentatie kan dan vergeleken worden met de huidige documentatie van de projecten om dit te evalueren. Ook zal er gevraagd worden aan enkele programmeurs om de documentatie te evalueren.

Op basis van deze feedback kan het model gefinetuned worden. Er kan gekeken worden naar de mogelijke verbeteringspunten zodat er uiteindelijk een betere documentatie van het project ontstaat. Het resultaat is dat er een tool is die de documentatie van een Python project kan genereren. Dit resultaat maakt het mogelijk

om de gegenereerde samenvatting van een Python project te lezen. De lezer kan dan stukken gebruiken uit het project of er verder mee aan de slag gaan.

## A.2. Introductie

Documentatie is belangrijk wanneer er aanpassingen moeten gebeuren aan de code van een project. Ook moet iemand anders de code kunnen begrijpen zodat dit gebruikt kan worden binnen een ander project. Hoe kan geautomatiseerde documentatiegeneratie met behulp van Large Language Modellen (LLM) effectief worden toegepast om duidelijke en informatieve overzichten te produceren voor Python projecten?

Het is belangrijk dat de skills of de know-how van een project gedeeld kunnen worden met anderen. Door het toepassen van documentatie kan deze kennis gemakkelijk vergaard worden door andere geïnteresseerden. Het is dus belangrijk dat er aan documentatie gedaan wordt en dat deze up-to-date blijft.

Documentatie is iets dat veel tijd kost en waar vaak geen aandacht aan wordt besteed. Het gebruik ervan kan ervoor zorgen dat er geen dubbel werk gedaan moet worden. Een tool die dit proces kan versnellen / automatiseren zou een grote meerwaarde zijn. De tool bestaat uit een geautomatiseerde documentatie LLM die de project code analyseert en samenvat in een document. Dit geeft de werknemers de mogelijkheid om zich in te lezen in het project en erna zelf aanpassingen te maken of stukken code te gebruiken voor een ander project.

Het eindresultaat van deze bachelorproef is een Proof of Concept (PoC) van een geautomatiseerde tool die de project code analyseert en er documentatie van genereert. De gegenereerde documentatie laat het toe het project te begrijpen zonder er te veel tijd aan te besteden.

## A.3. Literatuurstudie

Wat is documentatie binnen Python projecten en wat zijn de huidige tools? Voor de taal Python bestaan er al verschillende tools die documentatie genereren voor blokken code zoals pdoc (Gallant & Hils, 2023) en Sphinx (Sphinx Team, 2023). Met behulp van de Sphinx autodoc functie (Sphinx Team, 2023) kan een python functie omschreven worden in een docstring. Een docstring is een blok tekst dat de werking van een python functie omschrijft. Door deze beknopte blok tekst wordt er duidelijk wat de functie doet. Deze docstrings kunnen mogelijk gebruikt worden bij het maken van een document dat het project omschrijft.

Wat zijn Large Language Modellen (LLM)? Large Language Modellen zijn neurale netwerken die getraind worden op grote hoeveelheden tekst. Deze modellen kunnen tekst genereren op basis van een gegeven input. LLMs hebben een grote vooruitgang gekend in 2017 door de paper van Vaswani e.a. (2017). Hieruit kwam een nieuw neurale netwerk, self-attention of transformers. Deze doen het beter dan de

vorige neurale netwerken, Convolutional Neural Networks (CNN) en Recurrent Neural Networks (RNN). Door deze nieuwe neurale netwerken zijn er krachtige LLMs ontstaan zoals: GPT van OpenAi (Radford e.a., 2018) en BERT van Devlin e.a. (2019). Hoe kunnen deze Large Language Modellen gebruikt worden om documentatie te genereren? Er kan een prompt geschreven worden die aan de LLMs gegeven wordt, er kan een nieuw LLM getraind worden op correcte samenvattingen van gehele Python projecten. Het gebruiken van docstrings of uitleg van verschillende Python functies kan gegeven worden aan een LLM. Ook kan er gekeken worden naar GitHub README.md bestanden. Dit zijn bestanden waarin de werking van een project kort wordt uitgelegd. Deze zijn echter niet altijd vlot te lezen. Volgens de studie Gao e.a. (2023) kan de tekst vereenvoudigd worden terwijl steeds de correcte betekenis kan behouden worden en dit aan de hand van een transfer learning model. Doordat het vereenvoudigen van een README bestand mogelijk is, kan dit mogelijk gebruikt worden voor de uiteindelijke documentatie die beoogd wordt in deze bachelorproef. Zo kan een redelijk complexe samenvatting vereenvoudigd worden naar de essentie ervan terwijl het steeds een bepaalde diepgang behoudt. In 2023 werd het gebruiken van LLMs bij het automatisch documenteren van code met behulp van syntax bomen onderzocht door Procko en Collins (2023) voor C# en .NET programmeertalen. Er kan gekeken worden hoe er te werk is gegaan en wat de conclusies waren. Er werd gebruik gemaakt van GPT-3.5 en een dotnet compiler Roslyn ("Roslyn", dotnet", z.d.). Hieruit kan geconcludeerd worden dat door het gebruiken van syntax bomen de stochastische onzekerheid van GPT-3.5 een deel verholpen kan worden.

In de studie van McBurney en McMillan (2014) werd onderzocht hoe er automatisch documentatie gegenereerd kan worden voor Java code. Er werd specifiek gekeken hoe de methodes met elkaar verbonden waren en welke rol deze speelden binnen het project. Deze studie was een vervolg op het onderzoek van Sridhara e.a. (2010) in 2010. Het zoeken naar de mogelijke gelijkenissen tussen de automatische documentatie voor Java code en deze van Python code kan een begin zijn van deze bachelorproef.

Er is ook al onderzoek gedaan naar het automatisch genereren van documentatie van code blokken met behulp van een Neural Attention Model (NAM) (Iyer e.a., 2016). Dit onderzoek heeft gekeken naar het genereren van hoogstaande samenvattingen van source code. Het maakt gebruik van neurale netwerken die stukken C# code en SQL queries omzetten naar zinnen die de code omschrijven. Dit helpt bij het begrijpen van stukken code maar niet van een geheel project waar meerdere bestanden bij betrokken zijn.

De afgelopen jaren is het automatisch documenteren van source code grondig bestudeerd en onderzocht. In deze bachelorproef wordt er verder onderzocht hoe LLMs gebruikt kunnen worden bij het automatisch genereren van documentatie of samenvattingen van een geheel Python project. Het uiteindelijke doel is het au-

tomatisch genereren van een samenhangend geheel van verschillende bestanden van een Python project die samen een duidelijk overzicht geven van de werking van het project. Bij het automatisch genereren van documentatie kan er gebruik gemaakt worden van LLMs en kan er gekeken worden hoe verschillende LLMs presenteren tegenover elkaar.

De uitkomst is een samenvatting van het gehele project dat de lezer in staat stelt het project te gebruiken of aan te passen zonder de totale project code te ontleden.

#### **A.4. Methodologie**

Het onderzoek bedraagt zes verschillende fases. De eerste fase bedraagt het verder uitvoeren van de literatuurstudie om zo een betere kennis over het onderwerp te vergaren. Het verfijnen van de literatuurstudie zorgt ervoor dat er specifieke methoden gevonden worden die relevant zijn voor Python projecten. Ook dient de probleemdefinitie aangescherpt te worden door specifieke uitdagingen te identificeren. Hiervoor worden twee weken ingepland.

De volgende twee weken bedraagt het verzamelen van de dataset. Er worden Python projecten verzameld die variëren in complexiteit en grootte. We gaan opzoek naar open source python projecten op github, hiervan nemen we de python files als data en de README files als de gewenste uitkomst / target. Vervolgens wordt de data voorbereid zodat deze gebruikt kan worden door de verschillende gekozen LLMs.

In de derde fase wordt het model gekozen en wordt dit model getraind. Er kunnen verschillende LLMs gekozen worden zoals GPT-3.5, gemini, Code LLama (speciale LLM voor python code) of BERT. Er kan ook overwogen worden om een LLM te finetunen op python documentatie. De volgende stap houdt het opstellen van hoe de prestaties van de modellen vergeleken kunnen worden in. Dit kan pas nadat er een plan is opgesteld voor het trainen op de bekomen dataset. Deze fase bedraagt drie weken.

De vierde fase zal de implementatie en evaluatie bevatten. Er wordt een tool gemaakt waar een Python project aangegeven kan worden. De uitvoer van deze tool is een document met een samenvatting van het python project inclusief relaties tussen de verschillende bestanden. Deze uitvoer moet dan geevalueerd te worden op basis van de relevantie, begrijpelijkheid en de volledigheid. De resultaten kunnen vergeleken worden met de documentatie van bestaande tools. Ook kan er gevraagd worden aan enkele programmeurs de gerealiseerde documentatie te evalueren. De vierde fase neemt vier weken in beslag.

De voorlaatste fase bestaat uit het optimaliseren van het generatieproces en het finetunen van de uitkomst. De finetuning stelt de tool in staat om betere documentatie te genereren op basis van de bekomen feedback. Deze fase duurt één week.

De laatste fase van het onderzoek bestaat uit het analyseren van de kritische feed-

back en het afwerken van de bachelorproef. Het rapport wordt geschreven en de presentatie wordt voorbereid. Er kan nagedacht worden over wat er verder onderzocht kan worden na de bekomen conclusies.

### **A.5. Verwacht resultaat, conclusie**

Het verwachte resultaat van deze bachelorproef is dat er een werkende tool gemaakt wordt dat een geheel Python project kan analyseren en er documentatie van kan genereren. Deze documentatie geeft dan een duidelijk overzicht van de werking van het project en de relaties tussen de verschillende bestanden.

Er kunnen verschillende conclusies getrokken worden uit het onderzoek. LLMs zijn ideale modellen om te gebruiken bij het genereren van documentatie. Het finetunen van een LLM op Python documentatie kan een grote meerwaarde zijn bij het genereren van documentatie. Hierdoor is het mogelijk dat de documentatie specifiek afgestemd is voor de verschillende noden van gebruikers. Iedere gebruiker kan de automatische documentatie aanpassen naar zijn eigen noden.

Een verdere conclusie is dat het gebruiken van de documentatie tool het begrijpen van een Python project makkelijker maakt. De kennis van een project kan gemakkelijk gedeeld worden met anderen en anderen kunnen deze documentatie begrijpen.

# B

## Bijlage

### B.1. Prompts

#### B.1.1. Function Prompt 1

Instructies voor het genereren van een docstring voor een functie versie 1.

```
'''For this Python function:
```python^^I
def is_prime(n):
if n in [2, 3]:
    return True
if (n == 1) or (n % 2 == 0):
    return False
r = 3
while r * r ≤ n:
    if n % r == 0:
        return False
    r += 2
return True
```
```

Leave out any imports, just return the function with the docstring and type hints.

The function, with docstring using the google docstring style and with type hints is:

```
```python^^I
def is_prime(n: int) -> bool:
    """
```

Check if a number is prime.

Args:

```

    n (int): The number to check.
Returns:
    bool: True if the number is prime, False otherwise.
"""
if n in [2, 3]:
    return True
if (n == 1) or (n % 2 == 0):
    return False
r = 3
while r * r ≤ n:
    if n % r == 0:
        return False
    r += 2
return True
```

```

For this Python function:

```

```python^^I
{code}
'''

```

B.1.2. Function Prompt 2

Instructies voor het genereren van een docstring voor een functie versie 2.

```

'''
The following Python function is a code snippet from a Python
file.
The following function lacks a docstring and type hints.
Your task is to add a docstring and type hints to the function.
You can't change the function's code, add any imports, or assume
anything about the function's behavior or datatypes that is
not clear from the code snippet itself.
Below is a function that needs a docstring and type hints:
```python^^I
def is_prime(n):
if n in [2, 3]:
 return True
if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
r = 3
while r * r ≤ n:
 if n % r == 0:

```

```

 return False
 r += 2
return True
```

```

The correct outcome should be the following Python code:

```

```python^^I
def is_prime(n: int) -> bool:
 """
 Check if a number is prime.
 Args:
 n (int): The number to check.
 Returns:
 bool: True if the number is prime, False otherwise.
 """
 if n in [2, 3]:
 return True
 if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
 r = 3
 while r * r ≤ n:
 if n % r == 0:
 return False
 r += 2
 return True
```

```

Now it's your turn to add a docstring and type hints to the following function:

```

```python^^I
{code}
```
...

```

B.1.3. Function Prompt 3

Prompt versie 3 voor het genereren van een docstring voor een functie.


```
'''You are an AI documentation assistant, and your task is to
    generate docstrings and typehints based on the given code of
    a function, the function is a code snippet from a Python
    file.
```

Do your task with the least amount of assumptions, you can't add any imports, change the code, or assume anything about the function's behavior or datatypes that is not clear from the code snippet itself.

The purpose of the documentation is to help developers and beginners understand the function and specific usage of the code.

An example of your task is as follows:

The given code is:

```
```python^^I
def is_prime(n):
 if n in [2, 3]:
 return True
 if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
 r = 3
 while r * r ≤ n:
 if n % r == 0:
 return False
 r += 2
 return True
```
```

The expected output of your task for the given code is:

```
```python^^I
def is_prime(n: int) -> bool:
 """
```

Check if a number is prime.

Args:

n (int): The number to check.

Returns:

bool: True if the number is prime, False otherwise.

```

"""

if n in [2, 3]:
 return True
if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
r = 3
while r * r <= n:
 if n % r == 0:
 return False
 r += 2
return True
"""

```

Now it's your turn to generate the docstrings and typehints for the following function of a file with these imports:

```
{imports}
```

The content of the code is as follows:

```
{code_content}
"""

```

#### B.1.4. Class Prompt 1

Prompt voor het genereren van een docstring voor een klasse.

```

"""
You are an AI documentation assistant, and your task is to
generate docstrings and typehints based on the given code of
a class, the class is a code snippet from a Python file.
Do your task with the least amount of assumptions, you can't add
any imports, change the code, or assume anything about the
classes behavior or datatypes that is not clear from the
code snippet itself.
The purpose of the documentation is to help developers and
beginners understand the function and specific usage of the
code.
"""

```

An example of your task is as follows:

The given code is:

```

```python
class Circle:

```

```

def __init__(self, radius: float) -> None:
    """
    Initialize the Circle object with a given radius.

    Args:
        radius (float): The radius of the circle.
    """
    self.radius = radius

def calculate_area(self) -> float:
    """
    Calculate the area of the circle.

    Returns:
        float: The area of the circle.
    """
    return round(math.pi * self.radius ** 2, 2)

def calculate_circumference(self) -> float:
    """
    Calculate the circumference of the circle.

    Returns:
        float: The circumference of the circle.
    """
    return round(2 * math.pi * self.radius, 2)

```

The expected output of your task for the given code is:

```

```python
class Circle:
 """
 A class representing a circle with methods to calculate its
 area and circumference.

 Attributes:
 radius (float): The radius of the circle.

 Methods:

```

```

 __init__: Initialize the Circle object with a given
 radius.
 calculate_area: Calculate the area of the circle.
 calculate_circumference: Calculate the circumference of
 the circle.
 """
 ...

```

Now it's your turn to generate the docstrings and typehints for the following class of a file with these imports:

```
{imports}
```

The content of the code is as follows:

```
{code_content}
```

Only generate the class docstring

```
'''
```

### B.1.5. Samenvatting van een bestand

Prompt voor het genereren van een samenvatting van een bestand.

```
'''
```

You are an AI documentation assistant, and your task is to generate a summary of the given Python file.

The summary should include the following information:

- What the file does.
- What classes are defined in the file.
- What functions are defined in the file.
- And a brief description of each class and function.
- Include the file name at the beginning of the summary.

You are going to generate the summary based on given function names, class names and their docstrings.

Now it's your turn to generate the summary given the following code of the file: {filename}:

```
{code_content}
```

```
'''
```

### B.1.6. Bestand zonder functies of klassen

Prompt voor het genereren van een samenvatting van een bestand zonder functies of klassen.

```
'''
You are an AI documentation assistant, and your task is to
generate a summary of the given Python file based on the
code content.
The summary should include the following information:
- What the file does.
- What is the purpose of the file.
- What is the main functionality of the file.
- What the output is
- What it does when executed.
- Include the file name at the beginning of the summary.
```

An example of the output of your task is as follows:  
Given the following code content:

```
```python
from model import get_model
from train import train_top_layer, train_all_layers
if __name__ == '__main__':
    model = get_model()
    train_top_layer(model)
```
```

The expected output of your task for the given code is the  
summary of the file:

```
```python
"""
Summary of file: main.py
```

This file contains the main functionality for a Python
application.
It imports the `get_model` function from the `model` module and the
`train_top_layer` and `train_all_layers` functions from the
`train` module.
When executed, it gets a model using the `get_model` function and
trains the top layer of the model using the `train_top_layer`
function.

```
"""
...
```

```
You are going to generate the summary based on the given code
    content of the file with filename: {filename}.
{code_content}
'''
```

B.1.7. Project samenvatting

Prompt voor het genereren van een samenvatting van een project.

```
'''
```

```
You are an AI documentation assistant, and your task is to
    generate a summary of the given Python project.
The summary should include the following information:
- What the project does.
- What files are included in the project. And what each file
    does. What functions and classes are defined in each file.
- A brief description of each class and function.
- Include the project name at the beginning of the summary.
```

```
You are going to generate the summary based on summaries of each
    file in the project.
```

```
Now it's your turn to generate the summary given the following
    project structure:
{project_name}
```

```
With the following folder structure:
{folder_structure}
```

```
And the following summaries of each file:
{summaries}
'''
```

B.1.8. Project samenvatting per file

Prompt voor het genereren van een samenvatting van een project per bestand.

```
'''
```

```
You are an AI documentation assistant, and your task is to
    generate a markdown summary of a file.
For the following file summary:
```

```
"""
```

```
Summary of file: crop_images.py
```

```
This file contains the implementation of functions for cropping
    and padding images.
```

```
Functions:
```

```
    crop_faces: Crop faces from an image using a specified
        bounding box.
```

```
    crop_image: Crop a specified region from an image.
```

```
    pad_img_to_fit_bbox: Pad an image to fit a specified bounding
        box.
```

```
"""
```

```
The output should be:
```

```
- **crop_images.py**:
```

- Contains functions for cropping and padding images:
 - `crop_faces`: Crop faces from an image using the given bounding boxes.
 - `crop_image`: Crop a specific region from an image based on the provided coordinates.
 - `pad_img_to_fit_bbox`: Pad an image to fit the specified bounding box.

```
You are going to generate the markdown summary for the file:
```

```
{file} with the following summary:
```

```
{summary}
```

```
'''
```

B.2. Code

B.2.1. Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. v1

```
def replace_functions(self, functions):
    tree = self.tree
    for node in ast.walk(tree):
        if isinstance(node, (ast.FunctionDef, ast.AsyncFunctionDef))
            and node.name in functions:
            new_func_def = ast.parse(functions[node.name]).body
            tree.body.insert(tree.body.index(node), new_func_def)
    self.tree = tree
```

B.2.2. Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. v2

Versie 2 van de functie om de code van een functie te vervangen door de gegenereerde docstring.

```
def replace_functions(self, functions):
    tree = self.tree
    for node in ast.walk(tree):
        if isinstance(node, ast.ClassDef):
            for child_node in node.body:
                if isinstance(child_node, (ast.FunctionDef,
                                           ast.AsyncFunctionDef)) and child_node.name in
                    functions:
                    new_func_def =
                        ast.parse(functions[child_node.name]).body[0]
                    new_func_def.body.extend(child_node.body)
                    idx = node.body.index(child_node)
                    node.body.insert(idx, new_func_def)
                    node.body.remove(child_node)
                    functions.pop(child_node.name)
            elif isinstance(node, (ast.FunctionDef,
                                   ast.AsyncFunctionDef)) and node.name in functions:
                new_func_def = ast.parse(functions[node.name]).body[0]
                new_func_def.body.extend(node.body)
                tree.body.insert(tree.body.index(node), new_func_def)
                tree.body.remove(node)
                functions.pop(node.name)
    self.tree = tree
```

B.2.3. Vervangen van de code van een functie door de gegenereerde docstring. v3

```
def _replace_functions(self, node, functions):
    if isinstance(node, (ast.FunctionDef, ast.AsyncFunctionDef)) and
        node.name in functions:
        new_func_def = ast.parse(functions[node.name]).body[0]
        new_func_def.body.extend(node.body)
        parent_node = self._get_parent_node(node)
        index = parent_node.body.index(node)
        parent_node.body.remove(node)
        parent_node.body.insert(index, new_func_def)
        functions.pop(node.name)
    for child_node in ast.iter_child_nodes(node):
```



```
self._replace_functions(child_node, functions)
```

B.2.4. Genereren van de relaties tussen de verschillende bestanden

```
'''
```

You are an AI documentation assistant, and your task is to generate a csv file containing the relations between the files in a Python project.

For the given project structure and imports:

The imports are as follows:

```
'1_RPS_Game\\CMD_version\\main.py': 'import random',
'2_PyPassword_Generator\\CMD_version\\main.py': 'import
random', '3_Hangman_Game\\CMD_version\\images.py': '',
'3_Hangman_Game\\CMD_version\\main.py': 'import
requests\\nimport random\\nimport os\\nfrom images import
hangman_logo\\nfrom images import stages',
'4_Hangman_Game\\CMD_version\\stages.py': '',
'4_Hangman_Game\\CMD_version\\images.py': 'import
csv\\nimport matplotlib',
'4_Hangman_Game\\CMD_version\\main.py': 'import
random\\nimport os\\nfrom images import stages\\nfrom images
import logo'
```

The structure of the project is as follows:

```
'.': ['LICENSE', 'README.md'], '1_RPS_Game': [],
'1_RPS_Game\\CMD_version':
['1_RPS_Game\\CMD_version\\main.py'],
'2_PyPassword_Generator': [],
'2_PyPassword_Generator\\CMD_version':
['2_PyPassword_Generator\\CMD_version\\main.py'],
'3_Hangman_Game': [], '3_Hangman_Game\\CMD_version':
['3_Hangman_Game\\CMD_version\\images.py',
'3_Hangman_Game\\CMD_version\\main.py'], '4_Hangman_Game':
[], '4_Hangman_Game\\CMD_version':
['4_Hangman_Game\\CMD_version\\stages.py',
'4_Hangman_Game\\CMD_version\\images.py',
'4_Hangman_Game\\CMD_version\\main.py']
```

The expected output of your task is the following:

```
```csv
```

```
File_Path,File_Name,Folder_Path,Uses_File
```

```

1_RPS_Game\CMD_version\main.py, main.py,1_RPS_Game\CMD_version,[]
2_PyPassword_Generator\CMD_version\main.py,main.py,
 2_PyPassword_Generator\CMD_version,[]
3_Hangman_Game\CMD_version\images.py,images.py,3_Hangman_Game\CMD_version,[]
3_Hangman_Game\CMD_version\main.py,
 main.py,3_Hangman_Game\CMD_version,['3_Hangman_Game.CMD_version.images']
4_Hangman_Game\CMD_version\stages.py,stages.py,4_Hangman_Game\CMD_version,[]
4_Hangman_Game\CMD_version\images.py,images.py,4_Hangman_Game\CMD_version,[]
4_Hangman_Game\CMD_version\main.py,main.py,4_Hangman_Game\CMD_version,['4_Hangman_
 ``

```

The Column "Uses File" should only contain the files where the file imports functions from.

For example if the imports are:

```

```python
Import csv
Import matplotlib
from images import open_image
from stages import stage1
```

```

The Column "Uses File" should contain the file

'4\_Hangman\_Game\\CMD\_version\\images.py' and

'4\_Hangman\_Game\\CMD\_version\\stages.py'

Do your task given the following imports and structure of the project:

The imports are as follows:

```
{imports}
```

And the structure of the project is as follows:

```
{structure}
```

THE OUTPUT SHOULD BE A SINGLE CSV FILE CONTAINING THE RELATIONS BETWEEN THE FILES IN THE PROJECT.

```
...
```

### B.2.5. Functies voor het samenvatting van een bestand

```

def document_file(self, file_path, outfolder_path):
 FDG = FileDocumenationGenerator(self.api_key,
 self.azure_endpoint, file_path, self.folder_path,
 outfolder_path)

```

```

 FDG.generate_file_documentation()
 return FDG

def generate_file_summaries(self, python_files):
 for file in python_files:
 print("Documenting file: ", file)
 FDG = self.document_file(file,
 outfolder_path=self.outfolder)
 self.summaries[file] = FDG.get_summary()
 self.imports[file] = FDG.get_imports()

```

### B.2.6. Generatie van een graph van de relaties tussen de bestanden

```

def generate_graph_html(self):
 print("Generating graph html")
 added_edges = set()
 df = pd.read_csv(os.path.join(self.outfolder,
 'graph_relations.csv'))
 net = Network(height="750px", width="100%",
 bgcolor="#222222", font_color="white")
 net = Network(directed = True)
 net.add_node("root", shape='star', label="")
 for index, row in df.iterrows():
 path = row['Folder_Path'].split("\\")
 # Add nodes for each folder in the path
 if len(path) > 1:
 for i in range(len(path)-1):
 path_id = "_".join(path[:i+1])
 net.add_node(path_id, label=path[i], shape='box')
 next_path_id = "_".join(path[:i+2])
 net.add_node("_".join(path[:i+2]),
 label=path[i+1], shape='box')
 edge = (path_id, next_path_id)
 if edge not in added_edges:
 net.add_edge(path_id, next_path_id)
 added_edges.add(edge)
 elif len(path) == 1:
 net.add_node(path[0], label=path[0], shape='box')

 # Add node for the file
 file_path = row['File_Path'].split("\\")
 file_id = "_".join(file_path)

```

```

parent_folder_id = "_".join(path)
net.add_node(file_id, label=file_path[-1])
edge = (parent_folder_id, file_id)
if edge not in added_edges:
 net.add_edge(parent_folder_id, file_id)
 added_edges.add(edge)

Add edges for the root node
root_edge = ("root", path[0])
if root_edge not in added_edges:
 net.add_edge("root", path[0])
 added_edges.add(root_edge)

for index, row in df.iterrows():
 file_id = "_".join(row['File_Path'].split("\\"))
 # Add edges for the uses files
 uses = row['Uses_File'].strip("[]")
 if uses:
 uses = uses.split(";")
 for use_file in uses:
 use_file_path = use_file.strip("'").split(".")
 use_file_id = "_".join(use_file_path)+".py"
 edge = (file_id, use_file_id)
 if edge not in added_edges:
 net.add_edge(file_id, use_file_id)
 added_edges.add(edge)

path = os.path.join(self.outfolder, 'graph.html')
net.save_graph(path)

```

## B.3. Zelfgedocumenteerde bestanden

### B.3.1. Zelfgedocumenteerd bestand makkelijk niveau

```

def is_prime(n: int) -> bool:
 """
 Check if a number is prime.

 Args:
 n (int): The number to check.

 Returns:

```

```

 bool: True if the number is prime, False otherwise.
 """
 if n in [2, 3]:
 return True
 if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
 r = 3
 while r * r <= n:
 if n % r == 0:
 return False
 r += 2
 return True

```

### B.3.2. Zelfgedocumenteerd bestand gemiddeld niveau

```

import os
import cv2
import dlib
from matplotlib import pyplot as plt
import numpy as np
import config
detector = dlib.get_frontal_face_detector()

def crop_faces(plot_images: bool=False, max_images_to_plot:
 int=5):
 """
 Crop faces from images in the original images directory and
 save them in the cropped images directory.

 Args:
 plot_images (bool): Whether to plot the cropped images.
 Defaults to False.
 max_images_to_plot (int): Maximum number of images to
 plot. Defaults to 5.

 Returns:
 List[np.array]: List of good cropped images.
 """
 bad_crop_count = 0
 if not os.path.exists(config.CROPPED_IMGS_DIR):
 os.makedirs(config.CROPPED_IMGS_DIR)

```

```

print('Cropping faces and saving to %s' %
 config.CROPPED_IMGS_DIR)
good_cropped_images = []
good_cropped_img_file_names = []
detected_cropped_images = []
original_images_detected = []
for file_name in
 sorted(os.listdir(config.ORIGINAL_IMGS_DIR)):
 np_img =
 cv2.imread(os.path.join(config.ORIGINAL_IMGS_DIR,
 file_name))
 detected = detector(np_img, 1)
 img_h, img_w, _ = np.shape(np_img)
 original_images_detected.append(np_img)
 if len(detected) != 1:
 bad_crop_count += 1
 continue
 d = detected[0]
 x1, y1, x2, y2, w, h = (d.left(), d.top(), d.right() + 1,
 d.bottom() + 1, d.width(), d.height())
 xw1 = int(x1 - config.MARGIN * w)
 yw1 = int(y1 - config.MARGIN * h)
 xw2 = int(x2 + config.MARGIN * w)
 yw2 = int(y2 + config.MARGIN * h)
 cropped_img = crop_image(np_img, xw1, yw1, xw2, yw2)
 norm_file_path = '%s/%s' % (config.CROPPED_IMGS_DIR,
 file_name)
 cv2.imwrite(norm_file_path, cropped_img)
 good_cropped_img_file_names.append(file_name)
with open(config.ORIGINAL_IMGS_INFO_FILE, 'r') as f:
 column_headers = f.read().splitlines()[0]
 all_imgs_info = f.read().splitlines()[1:]
cropped_imgs_info = [l for l in all_imgs_info if
 l.split(',')[-1] in good_cropped_img_file_names]
with open(config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE, 'w') as f:
 f.write('%s\n' % column_headers)
 for l in cropped_imgs_info:
 f.write('%s\n' % l)
print('Cropped %d images and saved in %s - info in %s' %
 (len(original_images_detected), config.CROPPED_IMGS_DIR,
 config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE))

```

```

print('Error detecting face in %d images - info in
 Data/unnormalized.txt' % bad_crop_count)
if plot_images:
 print('Plotting images ... ')
 img_index = 0
 plot_index = 1
 plot_n_cols = 3
 plot_n_rows = len(original_images_detected) if
 len(original_images_detected) < max_images_to_plot
 else max_images_to_plot
 for row in range(plot_n_rows):
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)

 plt.imshow(original_images_detected[img_index].astype('uint8'))
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(detected_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(good_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 img_index += 1
plt.show()
return good_cropped_images

def crop_image(img, x1, y1, x2, y2):
 """
 Crop an image to the bounding box defined by the coordinates
 (x1, y1, x2, y2).

 Args:
 img (np.ndarray): Input image.
 x1 (int): x-coordinate of the top-left corner of the
 bounding box.
 y1 (int): y-coordinate of the top-left corner of the
 bounding box.
 x2 (int): x-coordinate of the bottom-right corner of the
 bounding box.
 y2 (int): y-coordinate of the bottom-right corner of the
 bounding box.

```

Returns:

np.ndarray: Cropped image.

"""

```
if x1 < 0 or y1 < 0 or x2 > img.shape[1] or (y2 >
 img.shape[0]):
 img, x1, x2, y1, y2 = pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2,
 y1, y2)
return img[y1:y2, x1:x2, :]
```

```
def pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2):
```

"""

Pad an image to fit a bounding box.

Args:

img (np.array): Input image.

x1 (int): x-coordinate of the top-left corner of the bounding box.

x2 (int): x-coordinate of the bottom-right corner of the bounding box.

y1 (int): y-coordinate of the top-left corner of the bounding box.

y2 (int): y-coordinate of the bottom-right corner of the bounding box.

Returns:

Tuple[np.array, int, int, int, int]: Padded image and updated coordinates.

"""

```
img = cv2.copyMakeBorder(img, -min(0, y1), max(y2 -
 img.shape[0], 0), -min(0, x1), max(x2 - img.shape[1],
 0), cv2.BORDER_REPLICATE)
y2 += -min(0, y1)
y1 += -min(0, y1)
x2 += -min(0, x1)
x1 += -min(0, x1)
return (img, x1, x2, y1, y2)
```

```
if __name__ == '__main__':
```

crop\_faces()

"""



Summary of file: crop\_images.py

This file contains the implementation of functions to crop and pad images.

Functions:

crop\_faces: Crop faces from an image based on the given bounding boxes.  
crop\_image: Crop an image to the bounding box defined by the coordinates (x1, y1, x2, y2).  
pad\_img\_to\_fit\_bbox: Pad an image to fit a bounding box.

"""

### **B.3.3. Zelfgedocumenteerd bestand moeilijk niveau**

```
import csv
```

```
class CsvReader:
```

```
 """
```

A class to read csv files

Methods:

readCsv(filename): Reads a csv file and returns the data in a list of lists

```
 """
```

```
def readCsv(self, filename):
```

```
 """
```

Reads a csv file and returns the data in a list of lists

Args:

filename (str): Name of the file to read

Returns:

list[list[str]]: List of lists containing the data from the csv file

```
 """
```

```
self.rowData = []
```

```
self.lineCount = 0
```

```
with open(filename) as csvFile:
```

```
 self.csvReader = csv.reader(csvFile, delimiter=',')
```

```
 for row in self.csvReader:
```

```

 if self.lineCount == 0 or self.lineCount == 1:
 self.lineCount += 1
 else:
 self.rowData.append(row)
 self.lineCount += 1
 return self.rowData

```

"""

Summary of file CsvReader.py:

This file contains a class CsvReader that reads csv files.

Classes:

CsvReader: A class to read csv files

Methods:

readCsv: Reads a csv file and returns the data in a list of lists

"""

## B.4. Python bestanden geclassificeerd op moeilijkheidsgraad

### B.4.1. Makkelijk

```

def is_prime(n):
 if n in [2, 3]:
 return True
 if (n == 1) or (n % 2 == 0):
 return False
 r = 3
 while r * r ≤ n:
 if n % r == 0:
 return False
 r += 2
 return True

```

### B.4.2. Gemiddeld

```

import os
import cv2
import dlib
from matplotlib import pyplot as plt
import numpy as np

```

```
import config

detector = dlib.get_frontal_face_detector()

def crop_faces(plot_images=False, max_images_to_plot=5):
 bad_crop_count = 0
 if not os.path.exists(config.CROPPED_IMGS_DIR):
 os.makedirs(config.CROPPED_IMGS_DIR)
 print('Cropping faces and saving to %s' %
 config.CROPPED_IMGS_DIR)
 good_cropped_images = []
 good_cropped_img_file_names = []
 detected_cropped_images = []
 original_images_detected = []
 for file_name in sorted(os.listdir(config.ORIGINAL_IMGS_DIR)):
 np_img =
 cv2.imread(os.path.join(config.ORIGINAL_IMGS_DIR, file_name))
 detected = detector(np_img, 1)
 img_h, img_w, _ = np.shape(np_img)
 original_images_detected.append(np_img)

 if len(detected) != 1:
 bad_crop_count += 1
 continue

 d = detected[0]
 x1, y1, x2, y2, w, h = d.left(), d.top(), d.right() + 1,
 d.bottom() + 1, d.width(), d.height()
 xw1 = int(x1 - config.MARGIN * w)
 yw1 = int(y1 - config.MARGIN * h)
 xw2 = int(x2 + config.MARGIN * w)
 yw2 = int(y2 + config.MARGIN * h)
 cropped_img = crop_image(np_img, xw1, yw1, xw2, yw2)
 norm_file_path = '%s/%s' % (config.CROPPED_IMGS_DIR,
 file_name)
 cv2.imwrite(norm_file_path, cropped_img)

 good_cropped_img_file_names.append(file_name)

 # save info of good cropped images
```

```

with open(config.ORIGINAL_IMGS_INFO_FILE, 'r') as f:
 column_headers = f.read().splitlines()[0]
 all_imgs_info = f.read().splitlines()[1:]
cropped_imgs_info = [l for l in all_imgs_info if
 l.split(',')[-1] in good_cropped_img_file_names]

with open(config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE, 'w') as f:
 f.write('%s\n' % column_headers)
 for l in cropped_imgs_info:
 f.write('%s\n' % l)

print('Cropped %d images and saved in %s - info in %s' %
 (len(original_images_detected), config.CROPPED_IMGS_DIR,
 config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE))
print('Error detecting face in %d images - info in
 Data/unnormalized.txt' % bad_crop_count)

if plot_images:
 print('Plotting images ... ')
 img_index = 0
 plot_index = 1
 plot_n_cols = 3
 plot_n_rows = len(original_images_detected) if
 len(original_images_detected) < max_images_to_plot else
 max_images_to_plot
 for row in range(plot_n_rows):
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)

 plt.imshow(original_images_detected[img_index].astype('uint8'))
 plot_index += 1

 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(detected_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1

 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(good_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1

 img_index += 1
plt.show()

```

```

 return good_cropped_images

image cropping method taken from:
#
https://stackoverflow.com/questions/15589517/how-to-crop-an-image-in-opencv-us
def crop_image(img, x1, y1, x2, y2):
 if x1 < 0 or y1 < 0 or x2 > img.shape[1] or y2 > img.shape[0]:
 img, x1, x2, y1, y2 = pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2)
 return img[y1:y2, x1:x2, :]

def pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2):
 img = cv2.copyMakeBorder(img, -min(0, y1), max(y2 -
 img.shape[0], 0),
 -min(0, x1), max(x2 - img.shape[1], 0),
 cv2.BORDER_REPLICATE)

 y2 += -min(0, y1)
 y1 += -min(0, y1)
 x2 += -min(0, x1)
 x1 += -min(0, x1)
 return img, x1, x2, y1, y2

if __name__ == '__main__':
 crop_faces()

```

### B.4.3. Moeilijk

```

import csv

class CsvReader:
 def readCsv(self, filename):
 self.rowData = []
 self.lineCount = 0
 with open(filename) as csvFile:
 self.csvReader = csv.reader(csvFile, delimiter=',')
 for row in self.csvReader:
 if self.lineCount == 0 or self.lineCount == 1:
 self.lineCount += 1
 else:
 self.rowData.append(row)
 self.lineCount += 1

```

```
return self.rowData
```

#### B.4.4. Extreem moeilijk

```
import inspect
import os
import sys
import time
from dataclasses import dataclass

import tiktoken
from openai import APIConnectionError, OpenAI

from repo_agent.doc_meta_info import DocItem
from repo_agent.log import logger
from repo_agent.prompt import SYS_PROMPT, USER_PROMPT
from repo_agent.settings import max_input_tokens_map, setting

def get_import_statements():
 source_lines = inspect.getsourcelines(sys.modules[__name__])[0]
 import_lines = [
 line
 for line in source_lines
 if line.strip().startswith("import") or
 line.strip().startswith("from")
]
 return import_lines

@dataclass
class ResponseMessage:
 content: str

class ChatEngine:
 """
 ChatEngine is used to generate the doc of functions or classes.
 """

 def __init__(self, project_manager):
 self.project_manager = project_manager
```

```
def num_tokens_from_string(self, string: str,
 encoding_name="cl100k_base") -> int:
 """Returns the number of tokens in a text string."""
 encoding = tiktoken.get_encoding(encoding_name)
 num_tokens = len(encoding.encode(string))
 return num_tokens

def reduce_input_length(self, shorten_attempt, prompt_data):
 """
 Reduces the length of the input prompts by modifying the
 sys_prompt contents.
 """

 logger.info(
 f"Attempt {shorten_attempt + 1} / 2 to reduce the length
 of the messages."
)
 if shorten_attempt == 0:
 # First attempt, remove project_structure and
 # project_structure_prefix
 prompt_data.project_structure = ""
 prompt_data.project_structure_prefix = ""
 elif shorten_attempt == 1:
 # Second attempt, further remove caller and callee
 # (reference) information
 prompt_data.project_structure = ""
 prompt_data.project_structure_prefix = ""

 prompt_data.referenced = False
 prompt_data.referencer_content = ""
 prompt_data.reference_letter = ""
 prompt_data.combine_ref_situation = ""

 # Update sys_prompt
 sys_prompt = SYS_PROMPT.format(**prompt_data)

 return sys_prompt

def generate_response(self, model, sys_prompt, usr_prompt,
 max_tokens):
 client = OpenAI(
```

```
 api_key=setting.chat_completion.openai_api_key.get_secret_value(),
 base_url=str(setting.chat_completion.base_url),
 timeout=setting.chat_completion.request_timeout,
)

 messages = [
 {"role": "system", "content": sys_prompt},
 {"role": "user", "content": usr_prompt},
]

 response = client.chat.completions.create(
 model=model,
 messages=messages,
 temperature=setting.chat_completion.temperature,
 max_tokens=max_tokens,
)

 response_message = response.choices[0].message

 return response_message

def attempt_generate_response(
 self, model, sys_prompt, usr_prompt, max_tokens,
 max_attempts=5
):
 attempt = 0
 while attempt < max_attempts:
 try:
 response_message = self.generate_response(
 model, sys_prompt, usr_prompt, max_tokens
)

 if response_message is None:
 attempt += 1
 continue
 return response_message

 except APIConnectionError as e:
 logger.error(
```



```

 f"Connection error: {e}. Attempt {attempt + 1} of
 {max_attempts}"
)
 # Retry after 7 seconds
 time.sleep(7)
 attempt += 1
 if attempt == max_attempts:
 raise
 else:
 continue # Try to request again

except Exception as e:
 logger.error(
 f"An unknown error occurred: {e}. \nAttempt
 {attempt + 1} of {max_attempts}"
)
 # Retry after 10 seconds
 time.sleep(10)
 attempt += 1
 if attempt == max_attempts:
 response_message = ResponseMessage(
 "An unknown error occurred while generating
 this documentation after many tries."
)
 return response_message

def generate_doc(self, doc_item: DocItem, file_handler):
 code_info = doc_item.content
 referenced = len(doc_item.who_reference_me) > 0

 code_type = code_info["type"]
 code_name = code_info["name"]
 code_content = code_info["code_content"]
 have_return = code_info["have_return"]
 who_reference_me = doc_item.who_reference_me_name_list
 reference_who = doc_item.reference_who_name_list
 file_path = doc_item.get_full_name()
 doc_item_path = os.path.join(file_path, code_name)

 project_structure = self.project_manager.build_path_tree(
 who_reference_me, reference_who, doc_item_path
)

```

```

)

project_manager =
 ProjectManager(repo_path=file_handler.repo_path,
 project_hierarchy=file_handler.project_hierarchy)
project_structure = project_manager.get_project_structure()
file_path = os.path.join(file_handler.repo_path,
 file_handler.file_path)
code_from_referencer =
 get_code_from_json(project_manager.project_hierarchy,
 referencer) #
referenced = True if len(code_from_referencer) > 0 else
 False
referencer_content = '\n'.join([f'File_Path:{file_path}\n'
 + '\n'.join([f'Corresponding code as
 follows:\n{code}\n[End of this part of code]' for code
 in codes])] + f'\n[End of {file_path}]' for file_path,
 codes in code_from_referencer.items()])

def get_referenced_prompt(doc_item: DocItem) -> str:
 if len(doc_item.reference_who) == 0:
 return ""
 prompt = [
 """As you can see, the code calls the following
 objects, their code and docs are as following:"""
]
 for k, reference_item in
 enumerate(doc_item.reference_who):
 instance_prompt = (
 f"""obj:
 {reference_item.get_full_name()}\nDocument:
 \n{reference_item.md_content[-1]} if
 len(reference_item.md_content) > 0 else
 'None'}\nRaw
 code:``\n{reference_item.content['code_content']}
 if 'code_content' in
 reference_item.content.keys() else
 ''}\n``"""
 + "=" * 10
)
 prompt.append(instance_prompt)

```

```

 return "\n".join(prompt)

def get_referencer_prompt(doc_item: DocItem) -> str:
 if len(doc_item.who_reference_me) == 0:
 return ""
 prompt = [
 """Also, the code has been called by the following
 objects, their code and docs are as following:"""
]
 for k, referencer_item in
 enumerate(doc_item.who_reference_me):
 instance_prompt = (
 f"""obj:
 {referencer_item.get_full_name()}\nDocument:
 \n{referencer_item.md_content[-1]} if
 len(referencer_item.md_content) > 0 else
 'None'}\nRaw
 code:``\n{referencer_item.content['code_content']}
 if 'code_content' in
 referencer_item.content.keys() else
 'None'}\n``"""
 + "=" * 10
)
 prompt.append(instance_prompt)
 return "\n".join(prompt)

def get_relationship_description(referencer_content,
 reference_letter):
 if referencer_content and reference_letter:
 return "And please include the reference relationship
 with its callers and callees in the project from
 a functional perspective"
 elif referencer_content:
 return "And please include the relationship with its
 callers in the project from a functional
 perspective."
 elif reference_letter:
 return "And please include the relationship with its
 callees in the project from a functional
 perspective."
 else:

```

```

 return ""

max_tokens = setting.project.max_document_tokens

code_type_tell = "Class" if code_type == "ClassDef" else
 "Function"
parameters_or_attribute = (
 "attributes" if code_type == "ClassDef" else "parameters"
)
have_return_tell = (
 "**Output Example**:" Mock up a possible appearance of the
 code's return value."
 if have_return
 else ""
)
reference_letter = "This object is called in the following
 files, the file paths and corresponding calling parts of
 the code are as follows:" if referenced else ""
combine_ref_situation = (
 "and combine it with its calling situation in the
 project,"
 if referenced
 else ""
)

referencer_content = get_referencer_prompt(doc_item)
reference_letter = get_referenced_prompt(doc_item)
has_relationship = get_relationship_description(
 referencer_content, reference_letter
)

project_structure_prefix = ", and the related hierarchical
 structure of this project is as follows (The current
 object is marked with an *):"

prompt_data = {
 "combine_ref_situation": combine_ref_situation,
 "file_path": file_path,
 "project_structure_prefix": project_structure_prefix,
 "project_structure": project_structure,
 "code_type_tell": code_type_tell,

```

```
 "code_name": code_name,
 "code_content": code_content,
 "have_return_tell": have_return_tell,
 "has_relationship": has_relationship,
 "reference_letter": reference_letter,
 "referencer_content": referencer_content,
 "parameters_or_attribute": parameters_or_attribute,
 "language": setting.project.language,
 }

 sys_prompt = SYS_PROMPT.format(**prompt_data)

 usr_prompt =
 USR_PROMPT.format(language=setting.project.language)

 model = setting.chat_completion.model
 max_input_length = max_input_tokens_map.get(model, 4096) -
 max_tokens

 total_tokens = self.num_tokens_from_string(
 sys_prompt
) + self.num_tokens_from_string(usr_prompt)

 if total_tokens ≥ max_input_length:
 larger_models = {
 k: v
 for k, v in max_input_tokens_map.items()
 if (v - max_tokens) > total_tokens
 }
 for model_name, max_input_length in larger_models.items():
 if max_input_length - max_tokens > total_tokens:
 try:
 # Attempt to make a request with the larger
 model
 logger.info(
 f"Trying model {model_name} for
 large-context processing."
)
 response_message =
 self.attempt_generate_response(
```

```

 model_name, sys_prompt, usr_prompt,
 max_tokens
)
 return response_message
except Exception as e:
 continue # Try the next model
If no larger models succeed, fallback to original model
for shorten_attempt in range(2):
 shorten_success = False
 sys_prompt = self.reduce_input_length(shorten_attempt,
 prompt_data)
 total_tokens = self.num_tokens_from_string(
 sys_prompt
) + self.num_tokens_from_string(usr_prompt)
 if total_tokens < max_input_length:
 shorten_success = True
 response_message = self.attempt_generate_response(
 model, sys_prompt, usr_prompt, max_tokens
)

 if not shorten_success:
 response_message = ResponseMessage(
 "Tried to generate the document, but the code is
 too long to process."
)
 return response_message

else:
 response_message = self.attempt_generate_response(
 model, sys_prompt, usr_prompt, max_tokens
)

return response_message

```

## B.5. Uitkomst documentatie van de Python bestanden

### B.5.1. Uitkomst documentatie van gemiddeld bestand

```

import os
import cv2
import dlib
from matplotlib import pyplot as plt

```

```

import numpy as np
import config
detector = dlib.get_frontal_face_detector()

def crop_faces(plot_images=False, max_images_to_plot=5):

 def crop_faces(plot_images: bool=False, max_images_to_plot:
 int=5) -> List[np.ndarray]:
 """
 Crop faces from original images and save the cropped images.

 Args:
 plot_images (bool, optional): Whether to plot the cropped
 images. Defaults to False.
 max_images_to_plot (int, optional): Maximum number of
 images to plot. Defaults to 5.

 Returns:
 List[np.ndarray]: List of good cropped images.
 """
 bad_crop_count = 0
 if not os.path.exists(config.CROPPED_IMGS_DIR):
 os.makedirs(config.CROPPED_IMGS_DIR)
 print('Cropping faces and saving to %s' %
 config.CROPPED_IMGS_DIR)
 good_cropped_images = []
 good_cropped_img_file_names = []
 detected_cropped_images = []
 original_images_detected = []
 for file_name in
 sorted(os.listdir(config.ORIGINAL_IMGS_DIR)):
 np_img =
 cv2.imread(os.path.join(config.ORIGINAL_IMGS_DIR,
 file_name))
 detected = detector(np_img, 1)
 img_h, img_w, _ = np.shape(np_img)
 original_images_detected.append(np_img)
 if len(detected) != 1:
 bad_crop_count += 1
 continue
 d = detected[0]

```

```

x1, y1, x2, y2, w, h = (d.left(), d.top(), d.right() + 1,
 d.bottom() + 1, d.width(), d.height())
xw1 = int(x1 - config.MARGIN * w)
yw1 = int(y1 - config.MARGIN * h)
xw2 = int(x2 + config.MARGIN * w)
yw2 = int(y2 + config.MARGIN * h)
cropped_img = crop_image(np_img, xw1, yw1, xw2, yw2)
norm_file_path = '%s/%s' % (config.CROPPED_IMGS_DIR,
 file_name)
cv2.imwrite(norm_file_path, cropped_img)
good_cropped_img_file_names.append(file_name)
with open(config.ORIGINAL_IMGS_INFO_FILE, 'r') as f:
 column_headers = f.read().splitlines()[0]
 all_imgs_info = f.read().splitlines()[1:]
cropped_imgs_info = [l for l in all_imgs_info if
 l.split(',')[-1] in good_cropped_img_file_names]
with open(config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE, 'w') as f:
 f.write('%s\n' % column_headers)
 for l in cropped_imgs_info:
 f.write('%s\n' % l)
print('Cropped %d images and saved in %s - info in %s' %
 (len(original_images_detected), config.CROPPED_IMGS_DIR,
 config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE))
print('Error detecting face in %d images - info in
 Data/unnormalized.txt' % bad_crop_count)
if plot_images:
 print('Plotting images ... ')
 img_index = 0
 plot_index = 1
 plot_n_cols = 3
 plot_n_rows = len(original_images_detected) if
 len(original_images_detected) < max_images_to_plot
 else max_images_to_plot
 for row in range(plot_n_rows):
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)

 plt.imshow(original_images_detected[img_index].astype('uint8'))
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(detected_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1

```



```

 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(good_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 img_index += 1
 plt.show()
 return good_cropped_images

```

```
def crop_image(img, x1, y1, x2, y2):
```

```

def crop_image(img: ndarray, x1: int, y1: int, x2: int, y2: int)
 -> ndarray:
 """
 Crop the input image to the specified dimensions.

 Args:
 img (ndarray): The input image.
 x1 (int): The starting x-coordinate for cropping.
 y1 (int): The starting y-coordinate for cropping.
 x2 (int): The ending x-coordinate for cropping.
 y2 (int): The ending y-coordinate for cropping.

 Returns:
 ndarray: The cropped image.
 """
 if x1 < 0 or y1 < 0 or x2 > img.shape[1] or (y2 >
 img.shape[0]):
 img, x1, x2, y1, y2 = pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2,
 y1, y2)
 return img[y1:y2, x1:x2, :]

```

```
def pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2):
```

```

def pad_img_to_fit_bbox(img: numpy.ndarray, x1: int, x2: int,
 y1: int, y2: int) -> tuple:
 """

```

Pads an image to fit a bounding box.

Args:

```

 img (numpy.ndarray): The image to pad.
 x1 (int): Left boundary of the bounding box.
 x2 (int): Right boundary of the bounding box.

```

y1 (int): Top boundary of the bounding box.  
 y2 (int): Bottom boundary of the bounding box.

Returns:

tuple: A tuple containing the padded image and the updated bounding box coordinates (x1, x2, y1, y2).

```
"""
 img = cv2.copyMakeBorder(img, -min(0, y1), max(y2 -
 img.shape[0], 0), -min(0, x1), max(x2 - img.shape[1],
 0), cv2.BORDER_REPLICATE)
 y2 += -min(0, y1)
 y1 += -min(0, y1)
 x2 += -min(0, x1)
 x1 += -min(0, x1)
 return (img, x1, x2, y1, y2)
if __name__ == '__main__':
 crop_faces()
```

## B.6. Evaluatie bestand documentatie

### B.6.1. Uitkomst van bestand documentatie door eigen tool

```
import os
import cv2
import dlib
from matplotlib import pyplot as plt
import numpy as np
import config
detector = dlib.get_frontal_face_detector()

def crop_faces(plot_images: bool=False, max_images_to_plot: int=5)
 -> List[np.ndarray]:
 """
 Crop faces from the original images and save the cropped images.

 Args:
 plot_images (bool, optional): Whether to plot the images.
 Defaults to False.
 max_images_to_plot (int, optional): Maximum number of images
 to plot. Defaults to 5.

 Returns:
```

```

 List[np.ndarray]: List of good cropped images.
 """
 bad_crop_count = 0
 if not os.path.exists(config.CROPPED_IMGS_DIR):
 os.makedirs(config.CROPPED_IMGS_DIR)
 print('Cropping faces and saving to %s' %
 config.CROPPED_IMGS_DIR)
 good_cropped_images = []
 good_cropped_img_file_names = []
 detected_cropped_images = []
 original_images_detected = []
 for file_name in sorted(os.listdir(config.ORIGINAL_IMGS_DIR)):
 np_img = cv2.imread(os.path.join(config.ORIGINAL_IMGS_DIR,
 file_name))
 detected = detector(np_img, 1)
 img_h, img_w, _ = np.shape(np_img)
 original_images_detected.append(np_img)
 if len(detected) != 1:
 bad_crop_count += 1
 continue
 d = detected[0]
 x1, y1, x2, y2, w, h = (d.left(), d.top(), d.right() + 1,
 d.bottom() + 1, d.width(), d.height())
 xw1 = int(x1 - config.MARGIN * w)
 yw1 = int(y1 - config.MARGIN * h)
 xw2 = int(x2 + config.MARGIN * w)
 yw2 = int(y2 + config.MARGIN * h)
 cropped_img = crop_image(np_img, xw1, yw1, xw2, yw2)
 norm_file_path = '%s/%s' % (config.CROPPED_IMGS_DIR,
 file_name)
 cv2.imwrite(norm_file_path, cropped_img)
 good_cropped_img_file_names.append(file_name)
 with open(config.ORIGINAL_IMGS_INFO_FILE, 'r') as f:
 column_headers = f.read().splitlines()[0]
 all_imgs_info = f.read().splitlines()[1:]
 cropped_imgs_info = [l for l in all_imgs_info if
 l.split(',')[-1] in good_cropped_img_file_names]
 with open(config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE, 'w') as f:
 f.write('%s\n' % column_headers)
 for l in cropped_imgs_info:
 f.write('%s\n' % l)

```

```

print('Cropped %d images and saved in %s - info in %s' %
 (len(original_images_detected), config.CROPPED_IMGS_DIR,
 config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE))
print('Error detecting face in %d images - info in
 Data/unnormalized.txt' % bad_crop_count)
if plot_images:
 print('Plotting images...')
 img_index = 0
 plot_index = 1
 plot_n_cols = 3
 plot_n_rows = len(original_images_detected) if
 len(original_images_detected) < max_images_to_plot else
 max_images_to_plot
 for row in range(plot_n_rows):
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)

 plt.imshow(original_images_detected[img_index].astype('uint8'))
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(detected_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(good_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 img_index += 1
plt.show()
return good_cropped_images

def crop_image(img: np.ndarray, x1: int, y1: int, x2: int, y2: int)
-> np.ndarray:
 """
 Crop a region from the input image based on the specified
 coordinates.

 Args:
 img (np.ndarray): The input image.
 x1 (int): The starting x-coordinate of the region to be
 cropped.
 y1 (int): The starting y-coordinate of the region to be
 cropped.
 x2 (int): The ending x-coordinate of the region to be cropped.

```

y2 (int): The ending y-coordinate of the region to be cropped.

Returns:

np.ndarray: The cropped region of the image.

"""

```
if x1 < 0 or y1 < 0 or x2 > img.shape[1] or (y2 > img.shape[0]):
 img, x1, x2, y1, y2 = pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2)
return img[y1:y2, x1:x2, :]
```

```
def pad_img_to_fit_bbox(img: np.array, x1: int, x2: int, y1: int,
y2: int) -> Tuple[np.array, int, int, int, int]:
 """
```

Pad the image to fit the specified bounding box coordinates.

Args:

img (np.array): The input image.

x1 (int): The x-coordinate of the left side of the bounding box.

x2 (int): The x-coordinate of the right side of the bounding box.

y1 (int): The y-coordinate of the top side of the bounding box.

y2 (int): The y-coordinate of the bottom side of the bounding box.

Returns:

Tuple[np.array, int, int, int, int]: The padded image and updated coordinates of the bounding box.

"""

```
img = cv2.copyMakeBorder(img, -min(0, y1), max(y2 -
img.shape[0], 0), -min(0, x1), max(x2 - img.shape[1], 0),
cv2.BORDER_REPLICATE)
```

```
y2 += -min(0, y1)
```

```
y1 += -min(0, y1)
```

```
x2 += -min(0, x1)
```

```
x1 += -min(0, x1)
```

```
return (img, x1, x2, y1, y2)
```

```
if __name__ == '__main__':
```

```
 crop_faces()
```

```
"""
```

```
Summary of file: crop_images.py
```

```
This file contains the implementation of functions to crop and pad
images.
```

```
Functions:
```

```
 crop_faces: Crop faces from an image and return a list of cropped
 faces.
```

```
 crop_image: Crop a specified region from an image.
```

```
 pad_img_to_fit_bbox: Pad an image to fit a specified bounding
 box.
```

```
"""
```

### B.6.2. Zelfgedocumenteerd bestand gemiddeld niveau

```
import os
```

```
import cv2
```

```
import dlib
```

```
from matplotlib import pyplot as plt
```

```
import numpy as np
```

```
import config
```

```
detector = dlib.get_frontal_face_detector()
```

```
def crop_faces(plot_images: bool=False, max_images_to_plot: int=5):
```

```
 """
```

```
 Crop faces from images in the original images directory and save
 them in the cropped images directory.
```

```
 Args:
```

```
 plot_images (bool): Whether to plot the cropped images.
 Defaults to False.
```

```
 max_images_to_plot (int): Maximum number of images to plot.
 Defaults to 5.
```

```
 Returns:
```

```
 List[np.array]: List of good cropped images.
```

```
 """
```

```
 bad_crop_count = 0
```

```
 if not os.path.exists(config.CROPPED_IMGS_DIR):
 os.makedirs(config.CROPPED_IMGS_DIR)
```

```

print('Cropping faces and saving to %s' %
 config.CROPPED_IMGS_DIR)
good_cropped_images = []
good_cropped_img_file_names = []
detected_cropped_images = []
original_images_detected = []
for file_name in sorted(os.listdir(config.ORIGINAL_IMGS_DIR)):
 np_img = cv2.imread(os.path.join(config.ORIGINAL_IMGS_DIR,
 file_name))
 detected = detector(np_img, 1)
 img_h, img_w, _ = np.shape(np_img)
 original_images_detected.append(np_img)
 if len(detected) != 1:
 bad_crop_count += 1
 continue
 d = detected[0]
 x1, y1, x2, y2, w, h = (d.left(), d.top(), d.right() + 1,
 d.bottom() + 1, d.width(), d.height())
 xw1 = int(x1 - config.MARGIN * w)
 yw1 = int(y1 - config.MARGIN * h)
 xw2 = int(x2 + config.MARGIN * w)
 yw2 = int(y2 + config.MARGIN * h)
 cropped_img = crop_image(np_img, xw1, yw1, xw2, yw2)
 norm_file_path = '%s/%s' % (config.CROPPED_IMGS_DIR,
 file_name)
 cv2.imwrite(norm_file_path, cropped_img)
 good_cropped_img_file_names.append(file_name)
with open(config.ORIGINAL_IMGS_INFO_FILE, 'r') as f:
 column_headers = f.read().splitlines()[0]
 all_imgs_info = f.read().splitlines()[1:]
cropped_imgs_info = [l for l in all_imgs_info if
 l.split(',')[1] in good_cropped_img_file_names]
with open(config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE, 'w') as f:
 f.write('%s\n' % column_headers)
 for l in cropped_imgs_info:
 f.write('%s\n' % l)
print('Cropped %d images and saved in %s - info in %s' %
 (len(original_images_detected), config.CROPPED_IMGS_DIR,
 config.CROPPED_IMGS_INFO_FILE))
print('Error detecting face in %d images - info in
 Data/unnormalized.txt' % bad_crop_count)

```

```

if plot_images:
 print('Plotting images ... ')
 img_index = 0
 plot_index = 1
 plot_n_cols = 3
 plot_n_rows = len(original_images_detected) if
 len(original_images_detected) < max_images_to_plot else
 max_images_to_plot
 for row in range(plot_n_rows):
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)

 plt.imshow(original_images_detected[img_index].astype('uint8'))
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(detected_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 plt.subplot(plot_n_rows, plot_n_cols, plot_index)
 plt.imshow(good_cropped_images[img_index])
 plot_index += 1
 img_index += 1
plt.show()
return good_cropped_images

def crop_image(img, x1, y1, x2, y2):
 """
 Crop an image to the bounding box defined by the coordinates (x1,
 y1, x2, y2).

 Args:
 img (np.ndarray): Input image.
 x1 (int): x-coordinate of the top-left corner of the bounding
 box.
 y1 (int): y-coordinate of the top-left corner of the bounding
 box.
 x2 (int): x-coordinate of the bottom-right corner of the
 bounding box.
 y2 (int): y-coordinate of the bottom-right corner of the
 bounding box.

 Returns:
 np.ndarray: Cropped image.

```



```

"""
if x1 < 0 or y1 < 0 or x2 > img.shape[1] or (y2 > img.shape[0]):
 img, x1, x2, y1, y2 = pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2)
return img[y1:y2, x1:x2, :]

def pad_img_to_fit_bbox(img, x1, x2, y1, y2):
 """
 Pad an image to fit a bounding box.

 Args:
 img (np.array): Input image.
 x1 (int): x-coordinate of the top-left corner of the bounding
 box.
 x2 (int): x-coordinate of the bottom-right corner of the
 bounding box.
 y1 (int): y-coordinate of the top-left corner of the bounding
 box.
 y2 (int): y-coordinate of the bottom-right corner of the
 bounding box.

 Returns:
 Tuple[np.array, int, int, int, int]: Padded image and updated
 coordinates.
 """
 img = cv2.copyMakeBorder(img, -min(0, y1), max(y2 -
 img.shape[0], 0), -min(0, x1), max(x2 - img.shape[1], 0),
 cv2.BORDER_REPLICATE)
 y2 += -min(0, y1)
 y1 += -min(0, y1)
 x2 += -min(0, x1)
 x1 += -min(0, x1)
 return (img, x1, x2, y1, y2)

if __name__ == '__main__':
 crop_faces()

"""
Summary of file: crop_images.py

This file contains the implementation of functions to crop and pad
images.

```

Functions:

crop\_faces: Crop faces from an image based on the given bounding boxes.

crop\_image: Crop an image to the bounding box defined by the coordinates (x1, y1, x2, y2).

pad\_img\_to\_fit\_bbox: Pad an image to fit a bounding box.

"""

# Bibliografie

- "Roslyn", dotnet (computersoft.). (z.d.). <https://github.com/dotnet/roslyn>
- Anthropic. (2023, mei 14). *Introducing Claude*. <https://www.anthropic.com/news/introducing-claude>
- ArtificialAnalysis (Red.). (2024). *Comparison of Models: Quality, Performance Price Analysis*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://artificialanalysis.ai/models>
- Bailey, C. (2024). *Type Hinting*. Verkregen mei 9, 2024, van <https://realpython.com/lessons/type-hinting/>
- Beelen, J. (2023, juni 22). *Hoe werken Large Language Models (LLM)?* <https://www.linkedin.com/pulse/hoe-werken-large-language-models-llm-jeroen-beelen/?originalSubdomain=nl>
- Cacic, M. (2023, september 6). *Pre-training vs Fine-Tuning vs In-Context Learning of Large Language Models*. <https://www.entrypoin.ai.com/blog/pre-training-vs-fine-tuning-vs-in-context-learning-of-large-language-models/>
- Code Quality (Red.). (2024, april 4). *Code Documentation Best Practices and Standards: A Complete Guide*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://blog.codacy.com/code-documentation>
- CodeCat.AI. (2024). *AI Docstring Generator*. <https://www.codecat.ai/ai-docstring-generator>
- Das, S. (2024, januari 25). *Fine Tune Large Language Model (LLM) on a Custom Dataset with QLoRA*. <https://dassum.medium.com/fine-tune-large-language-model-llm-on-a-custom-dataset-with-qlora-fb60abdeba07>
- de Waegeneer, S. (2022, oktober 11). *AutoClicker*. Verkregen mei 20, 2024, van <https://github.com/samdw6/AutoClicker>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding.
- Doxygen. (2023, december 25). *Code Documentation Automated. Free, open source, cross-platform*. (Versie 1.10.0). <https://www.doxygen.nl/>
- ElHousieny, R. (2023, november 19). *Demystifying Tokenization: Preparing Data for Large Language Models (LLMs)*. <https://www.linkedin.com/pulse/demystifying-tokenization-preparing-data-large-models-rany-2nebc/>
- Gallant, A., & Hils, M. (2023). *pdoc: Auto-generate API documentation for Python projects* (Versie 14.1.0). <https://pdoc.dev/>
- Gao, H., Treude, C., & Zahedi, M. (2023). Evaluating Transfer Learning for Simplifying GitHub READMEs. *Proceedings of the 31st ACM Joint European Software En-*

- gineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, 1548–1560. <https://doi.org/10.1145/3611643.3616291>
- GeeksforGeeks (Red.). (2023, augustus 7). *Python Docstrings*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://www.geeksforgeeks.org/python-docstrings/>
- Google (Red.). (2023, augustus 8). *Prompt Engineering for Generative AI*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://developers.google.com/machine-learning/resources/prompt-eng>
- Google. (2024). *Welcome to the Gemini era*. <https://deepmind.google/technologies/gemini/#introduction>
- Google Python Team. (2024, februari 12). *Google Python Style Guide*. Verkregen mei 9, 2024, van <https://google.github.io/styleguide/pyguide.html>
- Hashemi-Pour, C., & Lutkevich, B. (2024, februari). *BERT language model*. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/BERT-language-model>
- Hendrycks, D., Burns, C., Basart, S., Zou, A., Mazeika, M., Song, D., & Steinhardt, J. (2020). Measuring Massive Multitask Language Understanding. *CoRR*, abs/2009.03300. <https://arxiv.org/abs/2009.03300>
- Hoque, M. (2023, april 30). *A Comprehensive Overview of Transformer-Based Models: Encoders, Decoders, and More*. <https://medium.com/@minh.hoque/a-comprehensive-overview-of-transformer-based-models-encoders-decoders-and-more-e9bc0644a4e5>
- Iyer, S., Konstas, I., Cheung, A., & Zettlemoyer, L. (2016, augustus). Summarizing Source Code using a Neural Attention Model. In K. Erk & N. A. Smith (Red.), *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)* (pp. 2073–2083). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/P16-1195>
- Lambert, N., Castricato, L., von Werra, L., & Havrilla, A. (2022, december 9). *Illustrating Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF)*. <https://huggingface.co/blog/rlhf>
- McBurney, P. W., & McMillan, C. (2014). Automatic Documentation Generation via Source Code Summarization of Method Context. *Proceedings of the 22nd International Conference on Program Comprehension*, 279–290. <https://doi.org/10.1145/2597008.2597149>
- Meta. (2024). *Llama 2: open source, free for research and commercial use*. <https://llama.meta.com/>
- OpenAI. (2023). *GPT-4 Technical Report*.
- OpenAI. (2024a). *Models*. Verkregen mei 9, 2024, van <https://platform.openai.com/docs/models/overview>
- OpenAI (Red.). (2024b). *Prompt Engineering*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://platform.openai.com/docs/guides/prompt-engineering>

- Peckham, S., Day, J., & hbr, D. (2024, januari 30). *Recommendations for LLM fine-tuning*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://learn.microsoft.com/en-us/ai/playbook/technology-guidance/generative-ai/working-with-llms/fine-tuning-recommend?source=recommendations>
- Pedrido, M. O. (2023, oktober 27). *gpt4docstrings*. <https://github.com/MichaelisTrofficus/gpt4docstrings>
- Procko, T., & Collins, S. (2023). Automatic Code Documentation with Syntax Trees and GPT: Alleviating Software Development's Most Redundant Task. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4571367>
- Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). Improving Language Understanding by Generative Pre-Training. [https://cdn.openai.com/research-covers/language-unsupervised/language\\_understanding\\_paper.pdf](https://cdn.openai.com/research-covers/language-unsupervised/language_understanding_paper.pdf)
- Rozière, B., Gehring, J., Gloeckle, F., Sootla, S., Gat, I., Tan, X. E., Adi, Y., Liu, J., Sauvestre, R., Remez, T., Rapin, J., Kozhevnikov, A., Evtimov, I., Bitton, J., Bhatt, M., Ferrer, C. C., Grattafiori, A., Xiong, W., Défossez, A., ... Synnaeve, G. (2024). Code Llama: Open Foundation Models for Code.
- Simmons, L. (2019, maart 12). *bmi-project*. Verkregen mei 20, 2024, van <https://github.com/lisimmons2/bmi-project>
- Sphinx Team. (2023). *Sphinx* (Versie 7.2.6). <https://www.sphinx-doc.org/>
- Sridhara, G., Hill, E., Muppaneni, D., Pollock, L., & Vijay-Shanker, K. (2010). Towards Automatically Generating Summary Comments for Java Methods. *Proceedings of the 25th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering*, 43–52. <https://doi.org/10.1145/1858996.1859006>
- Stöffelbauer, A. (2023, oktober 24). *How Large Language Models work*. <https://medium.com/data-science-at-microsoft/how-large-language-models-work-91c362f5b78f>
- swimm.io (Red.). (2024). *Code documentation: benefits, challenges, and tips for success*. Swimm Team. <https://swimm.io/learn/code-documentation/code-documentation-benefits-challenges-and-tips-for-success#:~:text=Code%20documentation%20is%20a%20collection,size%20of%20documentation%20can%20vary>.
- TeeTracker. (2023, augustus 24). *LLM fine-tuning step: Tokenizing*. <https://teetracker.medium.com/llm-fine-tuning-step-tokenizing-caebb280cfc2>
- The Graphviz Authors. (2024). *Graphviz*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://www.graphviz.org/>
- TIOBE (Red.). (2024, mei 1). *TIOBE Index for May 2024*. Verkregen mei 19, 2024, van <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need.

West Health Institute Revision. (2018). *Pyvis*. Verkregen mei 9, 2024, van <https://pyvis.readthedocs.io/en/latest/>

*What are the primary advantages of transformer models?* (2023, november 6). <https://aiml.com/what-are-the-main-advantages-of-the-transformer-models/>