



Faculteit Bedrijf en Organisatie

Analyse van nummerplaatdetectie aan de parking van UGent Campus Landbouw en Campus Coupure.

Angelo Carly

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

Promotor:
Lotte Van Steenberghe
Co-promotor:
Wannes Van Dorpe

Instelling: VaDo Solutions

Academiejaar: 2019-2020

Eerste examenperiode

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Analyse van nummerplaatdetectie aan de parking van UGent Campus Landbouw en Campus Coupure.

Angelo Carly

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

Promotor:
Lotte Van Steenberghe
Co-promotor:
Wannes Van Dorpe

Instelling: VaDo Solutions

Academiejaar: 2019-2020

Eerste examenperiode

Woord vooraf

Deze bachelorproef "Analyse van nummerplaatdetectie aan de parkingen op UGent Campus Sterre en Campus Coupure" werd geschreven met als doel het voltooien van mijn opleiding Toegaste Informatica aan de Hogeschool Gent. Dit onderwerp was tot stand gekomen nadat ik kennis vernam dat Vado-Solutions een dergelijk systeem aan het overwegen was in samenspraak met UGent. Dit sprak mij direct aan als een uitdagend onderwerp waar ik mijn kennis over GDPR en Artificial Intelligence kan bijschaven. Ik ben dan ook zeer dankbaar dat Vado-Solutions mij deze kans geschenken heeft.

Graag zou ik ook even de tijd nemen om enkele mensen te bedanken zonder wiens hulp en begeleiding deze bachelorproef niet tot stand zou gekomen zijn.

Eerst en vooral wil ik mijn co-promotors, Gino Van Dorpe en Wannes Van Dorpe, bedanken voor de steun en feedback in het maken van deze bachelorproef, evenals deze mooie kans om dit onderwerp te mogen uitvoeren.

Ook wil ik mijn promotor, Lotte Van Steenberghe bedanken om mij met nuttige feedback en ondersteuning goed op weg te zetten doorheen dit verhaal.

Ten laatste zou ik ook mijn ouders en medestudenten willen bedanken. In het bijzonder Simon Anckaert, Pieter Van Den Driessche en Shauni Van De Velde, om mij te helpen met morele steun en wijze feedback doorheen deze periode.

Samenvatting

Tesamen met Vado-Solutions werd besloten om een onderzoek uit te voeren naar de mogelijkheid van nummerplaatdetectie op UGent op de Campussen Sterre en Coupure. De reden hiervoor was dat het huidige systeem met fysieke tokens die ingeworpen moeten worden niet gebruiksvriendelijk is en zou kunnen genieten van een vernieuwing. De nieuwe implementatie zou gebruiksvriendelijk, milieuvriendelijk en goedkoop moeten zijn.

Vado-Solutions had de interesse om hiervoor nummerplaatdetectie met een Raspberry Pi met PiNoIR camera en het open-source framework van OpenALPR te gebruiken. Deze hardware is uiterst goedkoop en zou een degelijke oplossing kunnen vormen, maar zekerheid hierover is niet altijd gegarandeerd. Dit onderzoek gaat na in welke mate dit mogelijk is op deze campussen van de UGent.

Het eerste deel van het onderzoek was het nagaan of een dergelijk systeem wel degelijk als legaal kan aanschouwd worden onder de huidige wetgeving van de GDPR. Deze was met oog op de voorgestelde implementatie van Vado-solutions zeker haalbaar. Iedere vorm van verwerken van persoonsgegevens dient gerechtigd te zijn en mogen enkel voor duidelijk omschreven doeleinden gebruikt worden. Verder is het verplicht om deze gegevens te kunnen opleveren of aanpassen indien gewenst van de eigenaar van de gegevens of enige autoriteiten. Deze verplichtingen hebben een grote implementatie- en onderhoudskost, wat niet gewenst is in een goedkope oplossing. Gelukkig blijkt dat indien er geen persoonsgegevens bijgehouden worden, niet aan deze voorwaarden voldoen kunnen worden. Dit brengt kosten omlaag en maakt een dergelijke implementatie mogelijk.

In het tweede deel zijn de mogelijke valkuilen voor een nummerplaatdetectiesysteem onderzocht in een literatuurstudie. Hieruit bleek dat een degelijke cameraconfiguratie

van uiterst belang is. Een te lage resolutie, overbelichting of slechte invalshoek kunnen een drastische invloed hebben op de bekomen resultaten, en dienen met zorg ingesteld te worden.

Ten laatste werd er onderzocht of een fysieke implementatie wel degelijk haalbaar was op de locaties van UGent. Om dit te onderzoeken werden uitrijdende voertuigen op de vier uitgangen gefotografeerd met een Raspberry Pi met een PiNoir camera. Deze werden vervolgens verwerkt met OpenALPR, waarna de resultaten geanalyseerd werden. Uit de resultaten bleek dat gemiddeld 94.7% van de voertuigen correct geïdentificeerd konden worden in rustige omstandigheden in daglicht. Deze resultaten zijn een geslaagd resultaat voor een steekproef en stellen de weg naar verder onderzoek open.

Uit dit onderzoek is gebleken dat nummerplaatdetectie mbv. een Raspberry Pi met PiNoIR-cam en OpenALPR wel degelijk mogelijk is om toegepast te worden op de uitgangen van UGent Campus Coupure en Campus Sterre. De voorgestelde implementatie van Vado-Solutions werd bevestigd om weinig tot geen invloed te ondervinden van de GDPR en een steekproef met veelbelovende resultaten was bekomen.

De resultaten van dit onderzoek stellen de weg open naar een breder onderzoek. Er is nog nood aan inzicht of deze resultaten ook 's nachts kunnen bekomen worden, zowel als de opties om een automatische cameratriggering te bekomen.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	15
1.1	Probleemstelling	15
1.2	Onderzoeksvraag	16
1.3	Onderzoeksdoelstelling	16
1.4	Opzet van deze bachelorproef	16
2	Stand van zaken	19
2.1	Huidige situatie UGent	19
2.1.1	Technologieën in gebruik	19
2.1.2	Mogelijkheid van ANPR	21
2.2	Privacy en GDPR	22
2.3	Hardware	22
2.3.1	Camera	23

2.4 Software	23
3 Methodologie	25
3.1 Richtlijnen omtrent GDPR bij nummerplaatdetectie	25
3.2 Maatregelen voor nummerplaatdetectie met Raspberry Pi	25
3.3 Praktische uitvoering van nummerplaatdetectie op UGent	26
4 Wetgeving omtrent nummerplaatdetectie	27
4.1 Algemene verordening gegevensbescherming	27
4.1.1 Definities	28
4.1.2 Beginselen inzake gegevensverwerking	29
4.1.3 Rechten van de betrokkenen	30
4.1.4 Verwerking waarvoor identificatie niet is vereist	32
4.1.5 Functionaris voor gegevensbescherming	32
4.2 Belgische Camerawetgeving	32
4.3 Toegepast op een ANPR-systeem	33
4.3.1 Een verwerking dient gerechtigd te zijn.	33
4.3.2 Verwerk enkel de data die benodigd is voor uw doeleinden.	33
4.3.3 Informeer dat persoonsgegevens verwerkt worden.	33
4.3.4 Wees bereid om gegevens op te vragen en aan te passen op vraag van derden.	34
4.3.5 Stel een contactpersoon aan.	34
4.3.6 Is het mogelijk om aan deze eisen te voldoen?	34

5	Maatregelen voor ANPR	35
5.1	Cameraplaatsing	35
5.1.1	Locatie van de camera	35
5.1.2	Camera oriëntatie	35
5.1.3	Pixeldichtheid	36
5.2	Camera instellingen	36
5.2.1	Shuttersnelheid	36
5.2.2	Belichting	37
5.2.3	Depth of field	37
5.3	Configuratie van OpenALPR	38
5.3.1	Pattern matching	38
5.3.2	Calibratie van afbeeldingen	39
5.3.3	Buitenlandse nummerplaten	41
5.3.4	Commerciële upgrades	41
6	Praktische uitvoering van ANPR	43
6.1	Hardware en software	43
6.1.1	Camera	43
6.1.2	Opstelling	44
6.2	Verzamelen van de gegevens	45
6.2.1	Nemen van de foto's	45
6.2.2	Tijdstippen van de genomen foto's	46
6.2.3	Incorrecte foto's	46
6.3	Verwerking van gegevens	46
6.3.1	Calibratie van de afbeeldingen	48

6.3.2	Patroon matching van nummerplaten	49
6.4	Resultaten	49
6.4.1	Campus Sterre - Uitgang Galglaan	49
6.4.2	Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	51
6.4.3	Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat	57
6.4.4	Campus Coupure - Uitgang Coupure Links	59
6.5	Algemene resultaten	60
7	Conclusie	63
A	Onderzoeksvoorstel	65
A.1	Introductie	65
A.2	State-of-the-art	66
A.2.1	Papieren tickets	66
A.2.2	RFID	66
A.2.3	Nummerplaatdetectie	66
A.3	Methodologie	67
A.4	Verwachte resultaten	67
A.5	Verwachte conclusies	68
B	R Code voor analyse per foto	69
C	R Code voor analyse per auto	71
	Bibliografie	73

Lijst van figuren

2.1 Een huidige toegangstoken voor de parking van UGent te kunnen verlaten.	20
4.1 Voorbeeld van cameresignaalisatie (European-Data-Protection-Board, 2019)	31
5.1 Vergelijking van verschillende shutterinstellingen. (easy-basic-photography, 2019)	36
5.2 Vergelijking tussen IR-camerainstellingen in de nacht. (Axis-Communications, 2019)	37
5.3 Verduidelijking van depth of field. (Axis-Communications, 2019) ..	38
5.4 Pattern matching van OpenALPR (OpenALPR-Software-Solutions, 2015) 39	
5.5 Nummerplaat met een grote invalshoek (OpenALPR-Software-Solutions, 2015)	40
5.6 Gekalibreerde afbeeld adhv. OpenALPR's calibratie tool. (OpenALPR-Software-Solutions, 2015)	40
6.1 Uitgang met tokens aan UGent campus Coupure	44
6.2 Opstelling Raspberry Pi met PiCam.	44
6.3 Types van foto's die niet werden opgenomen in het onderzoek. .	47

6.4 Foto's die op een te verre afstand genomen zijn en dus niet representatief zijn.	47
6.5 Calibratie van afbeeldingen met behulp van openalpr-utils-calibrate. 48	
6.6 Satellietafbeelding van de Campus Sterre - Uitgang Galglaan. De uitgang zelf is aangeduid met een rode cirkel. De uitrijrichting met een rode pijl. (Google-Earth, 2019)	50
6.7 Close-up van de uitgang aan Campus Sterre - Uitgang Galglaan. De cameralelocatie is aangeduid met een rode cirkel en de uitrijrichting met een rode pijl.	50
6.8 Niet gedetecteerde nummerplaat aan Campus Sterre - Galglaan. Enkele karakters van de nummerplaat zijn onleesbaar gemaakt uit privacy van de bestuurder.	51
6.9 Satellietafbeelding van de Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan met aangeduide routes en cameralecaties. (Google-Earth, 2019)	52
6.10 Cameraplaatsing aan de rechterkant van de hefboom op Campus Sterre - De Pintelaan. De locatie van de camera is aangeduid met een rode cirkel.	52
6.11 Interferentie van zonlicht op de parking van Campus Sterre - De Pintelaan, camerahoek 1.	53
6.12 Moeilijk te detecteren nummerplaten door scherpe camerahoek. 54	
6.13 Cameraplaatsing met statief op Campus Sterre - De Pintelaan. . 55	
6.14 Moeilijk te detecteren nummerplaten door een te lage resolutie. Enkele karakters zijn onduidelijk gemaakt uit privacy van de bestuurder. 55	
6.15 Niet te detecteren nummerplaat omwille van slagboom die het zicht verhinderd.	56
6.16 Verhoogde nauwkeurigheid door het inzoomen van de camera. 56	
6.17 Satellietafbeelding van de uitgang aan de Kruisboogstraat. De uitgang zelf is aangeduidt met een rode cirkel. (Google-Earth, 2019)	57
6.18 Close-up foto van de uitgang aan de kruisboogstraat. De locatie van de camera is aangeduid met een rode cirkel.	58
6.19 Voorbeeld van een ANPR-foto aan de uitgang Kruisboogstraat. Enkele tekens van de nummerplaat zijn onleesbaar gemaakt uit privacy van de bestuurder.	58
6.20 Een niet geïdentificeerd voertuig aan de uitgang Kruisboogstraat. Enkele tekens van de nummerplaat zijn onleesbaar gemaakt uit privacy van de bestuurder.	59
6.21 Foto van de uitgang Coupure Links.	60

Lijst van tabellen

6.1	Tijdstippen wanneer de verwerkte foto's bekomen zijn.	46
6.2	Verschil in nauwkeurigheid per foto door de kalibratie van OpenALPR.	
48		
6.3	Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Galglaan.	49
6.4	Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan,	
	camerahoek 1.	53
6.5	Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan,	
	camerahoek 2.	54
6.6	Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan,	
	camerahoek 3.	54
6.7	Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan,	
	camerahoek 3 met hogere resolutie.	56
6.8	Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Kruisboogstraat.	
59		
6.9	Resultaten van nummerplaatdetectie per foto.	60
6.10	Resultaten van nummerplaatdetectie per auto.	60

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

Vandaag de dag kampt UGent met problemen omtrent hun toegangssysteem aan de campus Landbouw en campus Sterre. Het huidige systeem dat gebruikt maakt van tokens is niet efficiënt en zorgt voor veel extra werk. Enkele voorbeelden zijn:

- De tokens moeten telkens afgehaald worden aan het onthaal om de campussen te kunnen verlaten.
- De tokenslikkers moeten regelmatig geleegd worden indien de tokenslikkers vol zijn.
- De tokens zijn relatief duur om bij te maken.
- De tokens worden snel kwijtgeraakt.

Door deze problemen overweegt UGent om op deze locaties over te stappen naar een beter systeem dat milieubewust is, beperkt in kostprijs is, en een goed gebruiksgemak heeft.

Hierop biedt VaDo Solutions een innovatief systeem aan dat gebruik maakt van nummerplaatdetectie. Deze zou gebruik maken van een Raspberry PI in combinatie met een open-source library genaamd OpenALPR. Welke al reeds bevestigd zijn dat ze goede resultaten kunnen opleveren (Figuerola, Lanka, Shah & Trommanhauser, 2016). Maar of deze resultaten ook haalbaar zijn op UGent zal nagegaan worden in dit onderzoek.

Verder heerst er enkele onduidelijkheid over hoe de GDPR inspeelt op een dergelijk systeem en welke maatregelingen er getroffen moeten worden.

1.2 Onderzoeksvergroot

Dit onderzoek zal nagaan in hoeverre het mogelijk is nummerplaatdetectie op te stellen op de Campus Landbouw en Campus Sterre van UGent. Hiervoor wordt er bekeken in welke mate de GDPR invloed heeft op nummerplaatdetectie. Daarnaast zullen er maatregelingen opgesteld worden om een nauwkeurige detectie te verkrijgen, waarop er vervolgens een testopstelling gemaakt wordt om na te gaan of een dit wel degelijk mogelijk is op UGent.

Zo bekomen we volgende drie onderzoeksvergrooten:

- Is nummerplaatdetectie een haalbare techniek omtrent privacy en GDPR?
- Welke maatregelingen moeten er genomen worden om succesvol nummerplaatdetectie te implementeren?
- Kan men nummerplaatdetectie succesvol uitvoeren met een Raspberry PI op de campus Landbouw en Sterre van UGent?

1.3 Onderzoeksdoelstelling

Dit onderzoek heeft als doel een correcte voorstelling te geven hoe nauwkeurig nummerplaatdetectie met een Raspberry Pi en OpenALPR uitgevoerd kan worden op UGent door hiervan een prototype te maken. Aan de hand van deze resultaten kan VaDo-Solutions beslissen of dit wel of niet de gewenste technologie is die ze willen gebruiken.

Vervolgens wordt er verwacht dat een duidelijk overzicht gegeven wordt van maatregelingen die getroffen kunnen worden om een dergelijk systeem te implementeren op vlak van hardware- en software-instellingen. Zo kan een installateur weten welke configuratie correcte resultaten kan leveren, zonder gebruik te moeten maken van trial-en-error.

Ten laatste is het de bedoeling om een bondige uitleg te hebben op welke vlakken de GDPR invloed heeft op dit soort camerasysteem. Hiermee kan een ontwikkelaar weten aan welke voorwaarden zijn opstelling moet voldoen zodat hij geen risico loopt op het overtreden van wetgevingen.

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 onderzoeks domein, 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 onderzoeksvergrooten.

In Hoofdstuk 4 wordt er nagegaan waarop er gelet moet worden bij het implementeren van

nummerplaatdetectie als toegangssysteem op vlak van privacywetgevingen.

In Hoofdstuk 5 wordt er nagegaan welke maatregelingen er genomen moeten worden om een zo performant mogelijke implementatie van nummerplaatdetectie te maken.

In Hoofdstuk 6 wordt een onderzoek uitgevoerd aan de hand van de vooropgestelde maatregelingen aan de campus Sterre en Landbouw van UGent. Hieruit zal blijken of nummerplaatdetectie met een Raspberry PI mogelijk is op deze locatie.

In Hoofdstuk 7, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeks vragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2. Stand van zaken

In dit hoofdstuk zal uitgelegd worden wat de huidige stand van zaken is van toegangssystemen bij de parking van UGent en welke andere technologieën hiervoor hedendaags gebruikt worden. Verder wordt er besproken wat de GDPR inhoudt en waar deze op slaat. Ten laatste wordt er bekeken wat de voorgestelde hardware betreft voor dit onderzoek.

2.1 Huidige situatie UGent

Het huidige toegangssysteem aan UGent op de beschreven locaties is een systeem op basis van tokens. Een bezoeker rijdt de parking op zonder enige checks. Vervolgens bezoekt hij de campus en vraagt een token om de campus te verlaten. Ten laatste rijdt hij zijn wagen naar de slagboom en geeft zijn token in de gepaste tokenslikker. Op de campus Sterre zijn er 3 ingangen en 2 uitgangen, op de campus Landbouw is dit gelijkaardig met 3 ingangen en 2 uitgangen.

2.1.1 Technologieën in gebruik

Meerdere toegangssystemen zijn vandaag de dag al in gebruik aan de campussen Landbouw en Sterre. Voor de toegang van personeel, studenten en bezoekers.

Tokens

Tokens worden aan alle uitgangen van de campussen gebruikt om de parking te verlaten. Tokens worden hoofdzakelijk gebruikt om de parking te verlaten, alle uitgangen beschikken

over een tokenslikker. Op deze manier kunnen studenten of bezoekers de campus verlaten nadat zij een token gaan afhalen op het onthaal.

De tokens zelf vallen momenteel niet in goede aard omdat deze enkele nadelen met zich meebrengen:

- De tokens worden veel misbruikt op faciliteiten buiten UGent zoals automaten, carwashes en meer.
- De tokens zelf kunnen makkelijk verloren geraken, wat niet milieubewust is.
- De tokens zelf redelijk duur aan een kost van 1,5 euro per stuk.

Deze punten geven aan dat tokens niet de gewenste oplossing zijn voor de campussen van UGent. Dit is te merken aan de hoofduitgang van de Campus Landbouw waar de uitgang vrij is om door te laten omdat de slikkers te veel werk met zich mee brengen.



Figuur 2.1: Een huidige toegangstoken voor de parking van UGent te kunnen verlaten.

Radio frequency Identification

Radio frequency Identification (RFID) is een technologie die aan de hand van elektromagnetische golven objecten kan identificeren. Dit met het voordeel dat er geen direct contact of zicht moet zijn tussen de scanner en het object. RFID gebeurt a.d.h.v een RFID reader en een RFID tag. De reader zendt een elektromagnetisch signaal uit. De tag ontvangt deze golven en kan op zijn beurt de opgevraagde informatie verzenden. (Li & Ranga, 2009)

Aan iedere uitgang op UGent zijn RFID-kaartlezers te vinden. Deze zijn voorzien om een vlotte toegang te verlenen aan werknemers en worden via een centraal beheerd systeem.

Het is geen optie om rfid voor alle bezoekers te gebruiken aangezien er vaak bezoekers binnentrede die maar 1 dag op de campus zijn. In dat geval zou er voor iedere dagbezoeker een RFID-kaart moet gemaakt worden. Aangezien de prijs van een RFID-kaart over de 10 euro is, is het zeker geen optie om dit als oplossing te gebruiken.

Barcodes

In een poging tot de tokens te vervangen heeft UGent één uitgang op de parking UFO en het rectoraat waar barcodes worden gebruikt. Deze worden eerst geprint op de campus zelf, waarna de gebruiker de barcode in een slikker kan invoeren en toegang krijgen om de parking te verlaten.

Deze barcodes hebben het grote voordeel dat ze goedkoper zijn in het gebruik. Maar hebben ze nog steeds het probleem dat iedere gebruiker telkens aan het onthaal een nieuw ticket moeten opvragen, en dat er slikkers aanwezig moeten zijn die tijdelijk geleegd worden.

Volgende lijst dient als een verduideling van de nadelen:

- Milieubelasting, verspilling van papier
- ofwel moet een pappersslikker geledigd worden ofwel zal er vervuiling zijn van achtergelaten papier aan de uitgang.
- Op diverse plaatsen moeten er drukkers aanwezig zijn.

2.1.2 Mogelijkheid van ANPR

De vorige technologieën zijn weliswaar niet de enige mogelijke oplossing tot dit probleem.

Automatic Number Plate Recognition (ANPR) is de techniek om automatisch nummerplaten te herkennen. Deze techniek wordt al sinds 1976 gebruikt voor de detectie van gestolen wagens (UK-Parliament, 2011). Hedendaags is ANPR al veel toegankelijker en kan het op vele plaatsen teruggevonden worden zoals bij bv. trajectcontrole (DE PAUW, DANIELS, BRIJS, HERMANS & WETS, 2014), parkeersystemen, etc.

ANPR heeft nog vele andere acroniemen zoals Automatic License Plate Recognition (ALPR), Automatic Vehicle Identification (AVI), Vehicle Plate recognition (VLPR), Vehicle Recognition Identifier (VRI), Car plate Recognition (CPR) en Car Plate Reader (CPR) (Axis-Communications, 2019). In dit onderzoek zal voor nummerplaatdetectie het acroniem ANPR gebruikt worden.

Het gebruik van ANPR brengt enkele voordelen met zich mee:

- Het is heel modulair; mensen kunnen een dagpas of toegang voor een volledig schooljaar krijgen.
- Er moet slechts éénmalig aangemeld worden om toegang voor een langere periode te krijgen. Dit zou helemaal digitaal gedaan kunnen worden, wat personeelskosten bespaart.
- Indien succesvol geïmplementeerd kan ANPR opstoppingen aan toegangspunten verminderen omdat er geen menselijke interactie met het systeem meer nodig is.

ANPR zelf komt ook met enkele nadelen.

- Er is een centraal systeem nodig om de toegang van de nummerplaten te beheren.
- Ieder toegangspunt moet een internetvoorziening hebben om met het centrale systeem te communiceren.
- Iedere ANPR-camera moet correct ingesteld zijn om haalbare resultaten te behalen.
- Weersomstandigheden bieden extra moeilijkheid voor de detectie van nummerplaten (dag, nacht)
- Hedendaagse ANPR-camera's zijn een redelijke investering.

Voor de herkenning van nummerplaten zijn een aantal technologieën beschikbaar. Deze werken adhv. Artificial Intelligence (AI) en zijn specifiek getraind op het detecteren en uitlezen van nummerplaten. De technologie die in dit onderwerp gebruikt zal worden is OpenALPR, een Open-Source library gemaakt voor nummerplaatdetectie. Hiervoor is gekozen omdat OpenALPR een gratis Open-Source product is (OpenALPR-Software-Solutions, 2019c).

2.2 Privacy en GDPR

Sinds 25 Mei 2018 is de General Data Protection Regulation (GDPR) in gang gezet, een regulatie die ingevoerd is om het huidige en toekomstige digitale tijdperk veiliger te maken voor alle EU inwoners. Deze wetgeving is gedreven op het concept dat privacy een mensenrecht is, en dat online-data ook zo behandeld moet worden. Dit is data die direct of indirect gelinkt kan worden aan een individu zoals locatie-data, cookies en ip-adressen (Goddard, 2017).

Hierdoor komen er een groot aantal extra regels op bedrijven te liggen, zo zijn ze bvb. verplicht om te toestemming vragen om persoonsgegevens te mogen verwerken. Dit is merkbaar online, waar vele sites toestemming vragen om advertentie-cookies te mogen opslaan. Een heleboel andere regels zijn er ook bijgekomen, wat het moeilijk kan maken om een nieuw systeem te maken die aan al deze voldoet.

2.3 Hardware

Om deze nummerplaatdetectie uit te voeren is gekozen voor een Raspberry PI Model B+. Deze hardware wordt vandaag de dag veel gebruikt bij IOT-applicaties door zijn lage kost en gemakkelijke bruikbaarheid.

De Raspberry PI Model B+ beschikt over een 1.4GHz quad-core processor, 1GB LPDDR2 RAM, een on-board WiFi-kaart en de mogelijkheid om een Raspberry Pi Camera te verbinden (Raspberry-Pi-Foundation, 2019b).

2.3.1 Camera

De camera die gebruikt wordt is een Pi-NoIR camera. Deze camera is ook geproduceerd door de Raspberry Pi Foundation en biedt afbeeldingen en video in een 8-MegaPixel formaat. In dit onderzoek is voor deze camera gekozen omdat deze makkelijk te verbinden is met de Raspberry Pi, relatief goedkoop is en geen IR-filter heeft. Dit maakt de camera direct ook interessant voor foto's te nemen in donkere omgevingen. (Raspberry-Pi-Foundation, 2019a)

2.4 Software

De software die gebruikt wordt in dit onderzoek is het open-source framework OpenALPR. Deze software is geschreven om nummerplaatdetectie uit te voeren en kan video's en foto's verwerken in een groot aanbod van programmeertalen (OpenALPR-Software-Solutions, 2019c). De keuze voor deze software is gemaakt door Vado-Solutions omdat OpenALPR open-source is, wat kosten dekt. Verder kan deze software ook gebruikt worden op Linux, wat noodzakelijk is om dit onderzoek uit te voeren met een Raspberry Pi.

3. Methodologie

In dit onderzoek wensen we inzicht te krijgen of een ANPR-systeem succesvol geïmplementeerd kan worden aan de parking van UGent op de campussen Sterre en Coupure. Ook wordt er gewenst te beschrijven welke maatregelen er getroffen moeten worden om zo'n systeem aan de maatregelen van de GDPR te laten voldoen. Deze doelen werden opgeplits in 2 fasen en worden beschreven in de volgende hoofdstukken.

3.1 Richtlijnen omtrent GDPR bij nummerplaatdetectie

Sinds de GDPR ingevoerd is vorig jaar, moeten bedrijven veel meer rekening houden met hoe ze data verwerken. Deze richtlijnen zijn allemaal te vinden in de wettekst van de GDPR zelf, maar om deze te verduidelijken worden deze opgesomd.

Op basis van de richtlijnen die in dit hoofdstuk omschreven worden kan een ontwikkelaar inzicht krijgen in hoe een nummerplaatdetectiesysteem ingevoerd kan worden. Indien zo'n systeem deze richtlijnen niet volgt zal deze ook niet voldoen aan de GDPR.

3.2 Maatregelen voor nummerplaatdetectie met Raspberry PI

Een ANPR-systeem opzetten op een Raspberry PI is niet vanzelfsprekend aangezien ANPR-systemen normaal met dure hardware wordt geinstalleerd. Om toch nauwkeurige resultaten te kunnen boeken, zal er in dit hoofdstuk beschreven worden wat de optimale waarden zijn in kwestie van camera-instellingen, plaatsing van de camera, netwerk en onderhoud.

A.d.h.v. deze maatregelen kan een ontwikkelaar een ANPR-systeem configureren met een zo hoog mogelijke nauwkeurigheid.

3.3 Praktische uitvoering van nummerplaatdetectie op UGent

Vervolgens kan er a.d.h.v. de vooropgestelde maatregelen getest worden of ANPR met een Raspberry PI haalbaar is op UGent. Hiervoor zal er op de campussen van de UGent foto's genomen worden met de PI-Cam van voertuigen die de parkings willen verlaten. Hierbij zal er gekeken worden welke uitvoeringstijd de detectie nodig heeft. Achteraf wordt er per foto gecontroleerd of de gefotografeerde nummerplaat wel degelijk juist is gedetecteerd. Indien deze nauwkeurigheid hoog genoeg is, kan er besloten worden dat ANPR met een Raspberry PI een haalbare techniek is op UGent.

Voor het maken van de foto's zal gebruik gemaakt worden van de PiNoir Camera, dit is een camera voor de Raspberry Pi die geen filtering heeft op infrarood licht, wat het optimaal maakt voor gebruik in donkere situaties (Raspberry-Pi-Foundation, 2019a).

4. Wetgeving omtrent nummerplaatdetectie

Het is vanzelfsprekend dat er enkele wetgevingen zijn die slaan op nummerplaatdetectie, het nemen van foto's als toegangssysteem is een grote stap op vlak van privacy in plaats van een token mee te geven. Zeker door nieuwe wet van de GDPR in 2018.

In volgende onderdelen wordt beschreven wat deze wetten inhouden en hoe deze op een nummerplaatdetectiesysteem slaan.

4.1 Algemene verordening gegevensbescherming

De General Data Protection Regulation (GDPR) of in het Nederlands: Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG), is een nieuwe wetgeving die op 25 mei 2018 ingevoerd is met als doel regels op te stellen om de grondrechten en de fundamentele vrijheden van natuurlijke personen te beschermen in de Europese Unie, dit met name op hun recht op bescherming van persoonsgegevens. (SecureDataService, 2018)

Voor de verwerking van deze gegevens worden maatregelen opgelegd over hoe deze op een correcte manier behandeld moeten worden en aan welke eisen een bedrijf moet voldoen indien deze hiermee handelt.

In dit onderdeel zal niet de volledige AVG beschreven worden, maar enkel de onderdelen m.b.t. een parkeersysteem met nummerplaatdetectie.

4.1.1 Definities

Persoonsgegevens

In artikel 4 van het AVG worden persoonsgegevens als volgt beschreven: 'alle informatie over een geïdentificeerde of identificeerbare natuurlijke persoon ("de betrokken"); als identificeerbaar wordt beschouwd een natuurlijke persoon die direct of indirect kan worden geïdentificeerd, met name aan de hand van een identificator zoals een naam, een identificatienummer, locatiegegevens, een online identificator of van een of meer elementen die kenmerkend zijn voor de fysieke, fysiologische, genetische, psychische, economische, culturele of sociale identiteit van die natuurlijke persoon' (SecureDataService, 2018)

Hieruit blijkt dat nummerplaten onder de term persoonsgegevens vallen; Deze zijn geregistreerd aan een persoon en kunnen worden gebruikt om de persoon te identificeren. In een parkeersysteem met nummerplaatdetectie zal hier dus ook op gelet moeten worden.

Artikel 5 van GDPR, 'persoonsgegevens moeten worden verwerkt op een wijze die ten aanzien van de betrokken rechtmatisch, behoorlijk en transparant is ("rechtmatigheid, behoorlijkheid en transparantie")' (SecureDataService, 2018).

Betrokkene

De betrokken is de natuurlijke persoon die de beschreven persoonsgegevens bezit.

Verwerking van gegevens

Een verwerking is een veel vermelde term in het AVG, en omvat een duidelijke definitie. Het verwerken van gegevens omvat eender welke operatie die op persoonsgegevens wordt uitgevoerd. Waaronder het verzamelen, vastleggen, organiseren, raadplegen of vernietigen van deze gegevens onderdeel van is. Deze lijst wordt verder uitgebreid omschreven in Artikel 4 punt 2 van de GDPR.

Indien een ANPR-systeem foto's neemt van auto's dan voert deze enkele verwerkingen uit. Deze zijn het vastleggen, raadplegen en vernietigen van de gegevens. Ookal duurt dit proces maar enkele seconden is er wel degelijk sprake van verwerking.

Verder indien er een databank bijgehouden wordt van nummerplaten behoren er tot dit proces opnieuw een aantal bewerkingen. Deze zijn opnieuw het vastleggen, raadplegen en vernietigen.

Verwerkingsverantwoordelijke

De verwerkingsverantwoordelijke is een persoon die instaat voor het correct verwerken van gegevens. Hij bepaalt het doel en de middelen van de verwerking. In andere woorden moet hij kunnen aantonen waarom en hoe de verwerking wordt uitgevoerd.

Verwerker

Een verwerker is een persoon die persoonsgegevens verwerkt in opdracht van de verwerkingsverantwoordelijke. De verwerker bepaalt niet het hoe en waarom van de verwerking, maar is degene wie de verwerking uitvoert.

4.1.2 Beginselen inzake gegevensverwerking

Het is niet mogelijk om zomaar welke gegevens te verwerken. De GDPR stelt enkele regels op die organisaties moeten naleven voor het verwerken van gegevens. De verwerkingsverantwoordelijke moet kunnen aantonen dat deze nageleefd worden. De beginselen inzake gegevensverwerking zijn te vinden in Artikel 5 van de GDPR.

Rechtmaligheid van verwerking

De GDPR beschrijft in artikel 6 onder welke omstandigheden verwerking van persoonsgegevens rechtmalig is. Indien de verwerking niet rechtmalig is kunnen er sancties optreden.

De GDPR beschrijft enkele voorwaarden waaraan minstens voldaan moeten worden. Zo kan de betrokken toestemming gegeven hebben, is er een wettelijke plicht of zijn er gerechtvaardigde belangen voor de verwerking van de gegevens.

In het geval van een ANPR-camera is het niet mogelijk om toestemming aan de betrokken te vragen. Dit omdat toevallige voorbijgangers ook de camera kunnen triggeren welke vervolgens hun gegevens verwerkt, waarvoor deze geen toestemming hebben kunnen geven. Hiervoor is de enige echte optie het gerechtvaardigd belang.

Het gerechtvaardigd belang berust erop dat de samenleving vindt dat het belang om de gegevens te verwerken zwaarwegend genoeg is dat ze de verwerking erkennen. En dat dit belang enkel kan behartigd worden door persoonsgegevens te verwerken (Autoriteit-Persoonsgegevens, 2019).

Doelbinding

De doeleinden voor de gegevensverwerking dienen uitdrukkelijk omschreven en gerechtvaardigd te zijn. Geen verdere verwerking is toegestaan die niet aan deze doeleinden beantwoordt.

Dataminimalisatie en juistheid

De opgeslagen data dienen beperkt te zijn tot wat nodig is om de beschreven doeleinden te voldoen. Het is de bedoeling om een strikt minimum van data bij te houden. Verder moet de data actueel gehouden worden en indien onjuist, verwijderd of gerechtificeerd te worden.

Opslagbeperking

De data mag niet langer opgeslaan worden in een vorm waarbij de betrokkenen identificeerbaar is dan noodzakelijk voor de verwezenlijking van de doeleinden.

Integriteit en vertrouwelijkheid

De verwerking dient genoeg beveiligd te zijn door gebruik te maken van passende, technische organisatorische maatregelen. Verder dient deze beschermt te zijn tegen iedere niet toegelate of onwettige verwerking, tegen verlies, vernietiging of kwaliteitsverlies van de gegevens.

Verantwoordingsplicht

De verantwoordelijke voor de verwerking/verwerker zijn verantwoordelijk voor de naleving van de beginselen van de verordening ongeacht het risiconiveau. Men moet kunnen aantonen dat de verwerking van de persoonsgegevens rechtvaardig verloopt.

4.1.3 Rechten van de betrokkenen

Vervolgens stelt de GDPR enkele uitgebreide rechten op die de betrokkenen, de eigenaar van de persoonsgegevens heeft. Deze zijn terug te vinden in hoofdstuk III van de GDPR en zijn omschreven in de volgende punten.

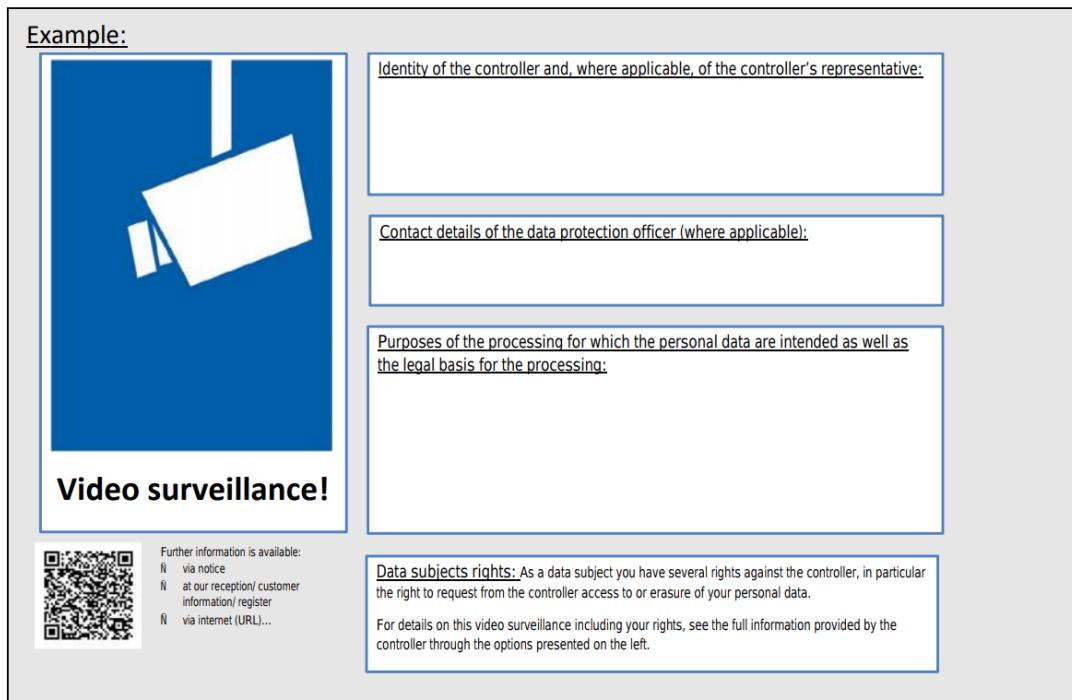
Recht om geïnformeerd te zijn

Indien een ANPR-systeem is opgesteld, dient er volgens artikel 13 van de GDPR, gesignalerd te worden dat een dergelijk systeem aanwezig is, dit samen met contactinformatie van de verwerkingsverantwoordelijke, de verwerkingsdoeleinden waarvoor de persoonsgegevens zijn bestemd en de rechtsgrond van de verwerking. Een voorbeeld van zo'n signalisatie is te zien in Figuur 4.1.

Deze signalisatie moet vanaf een duidelijke afstand zichtbaar zijn zodat de betrokkenen deze kan lezen vooraleer hij de gemonitorde omgeving betreedt. Deze omgeving moet duidelijk zijn voor de betrokkenen zodat hij deze kan mijden.

Recht op informatie en rectificatie van persoonsgegevens

Iedereen bezit zijn eigen persoonlijke data en mag deze bijgevolg ook inkijken en corrigeren. Indien een gebruiker vraagt om zijn persoonsgegevens in te kijken, moet het bedrijf in kwestie al de persoonsgegevens van de gebruiker binnen de maand kunnen opleveren. Ook kan een gebruiker op eender wanneer beslissen om al zijn data te laten verwijderen (SecureDataService, 2018). Dit is terug te vinden in artikel 15 en 16 van de GDPR.



Figuur 4.1: Voorbeeld van camerasignalisatie (European-Data-Protection-Board, 2019)

Recht op vergetelheid

Een verwerkingsverantwoordelijke is verplicht persoonsgegevens zonder onredelijke vertraging te wissen indien deze niet meer nodig zijn voor de oorspronkelijke doeleinden, de gegevens onrechtmatig verwerkt zijn of de betrokkene zijn toestemming intrekt. Enkel indien één van de uitzonderingen in artikel 17 (3) van toepassing zijn kan dit langer duren. (European-Data-Protection-Board, 2019)

Recht op beperking van verwerking

Bij camerasyystemen die berusten op het gerechtvaardigd belang of openbaar belang om data te verwerken, heeft een betrokkene het recht om op eender welk moment hier bezwaar op te maken. Indien de verwerkingsverantwoordelijke geen legale gronden kan voorleggen die zwaarder doorwegen dan de rechten van de betrokkene, is hij verplicht aan de wensen van de betrokkene te voldoen. Dit is terug te vinden in artikel 18 van de GDPR.

In een context van camerabewaking kan deze objectie gemaakt worden voor, tijdens, of na een betrokkene een bewaakte zone betreedt. Dit betekent dat indien de belangen van de verwerkingsverantwoordelijke niet doorwegen tot de rechten van de betrokkene, de camera direct moet kunnen stopgezet worden van de betrokkene zijn data te kunnen verwerken. Anderzijds is het ook mogelijk om de gemonitorde zone genoeg af te bakenen zodat de verwerkingsverantwoordelijke de toestemming kan verifiëren alvorens de betrokkene deze betreedt. (European-Data-Protection-Board, 2019)

4.1.4 Verwerking waarvoor identificatie niet is vereist

Artikel 11 van de GDPR zegt dat indien de doeleinden niet vereisen dat de betrokkenen geïdentificeerd is, dat de verwerker geen aanvullende gegevens hoeft bij te houden.

Hieruit volgt dan ook dat indien de verwerker kan aantonen dat hij de betrokkenen niet kan identificeren, artikelen 15 tot en met 20, beschreven in onderdeel 4.1.3 niet meer van toepassing zijn.

4.1.5 Functionaris voor gegevensbescherming

Een functionaris voor gegevensbescherming of data protection officer (DPO) is iemand met deskundigheid op het gebied van gegevensbescherming. Een DPO wordt aangewezen om de verwerkingsverantwoordelijke of de verwerker te informeren en adviseren over hun verplichtingen van de GDPR en andere wetten over gegevensbescherming.

Taken

De DPO dient de verwerkingsverantwoordelijke of de verwerker te informeren en adviseren over hun rechten en verplichtingen, het toeziend oog op het naleven van de GDPR, samenwerken met de toezichthoudende autoriteit en optreden als contactpunt voor de toezichthoudende autoriteit.

Voorwaarden voor het aanstellen

Een DPO dient aangesteld te worden in volgende gevallen:

- De verwerking wordt verricht door een overheidsinstantie of overheidsorgaan.
- De verwerker is hoofdzakelijk belast met verwerkingen die observatie op grote schaal van betrokkenen eisen.
- De verwerker is hoofdzakelijk belast met het verwerken van uitzonderlijke persoonsgegevens.

Er kan verondersteld worden dat het verwerken van persoonsgegevens over twee campussen niet groot genoeg is om een DPO aan te stellen.

4.2 Belgische Camerawetgeving

Sinds 25 mei 2018 is de nieuwe camerawetgeving ingevoerd, dit is een herziening van de Camerawetgeving uit 2007 en viel niet toevallig samen met de dag dat de GDPR is ingevoerd. Deze wet slaat op bewakingscamera's en geldt enkel wanneer deze als doel hebben:

- Misdrijven tegen personen of goederen te voorkomen, vast te stellen of op te sporen;

- overlast in de zin van artikel 135 van de nieuwe gemeentewet, te voorkomen, vast te stellen of op te sporen, de naleving van gemeentelijke reglementen te controleren of de openbare orde te handhaven.

Aangezien nummerplaatdetectie als toegangssysteem geen van deze doelen bevat valt het niet onder de camerawetgeving voor bewakingscamera's. (STAATSBLAD, 2007)

Natuurlijk zal er wel nog rekening gehouden moeten worden met de AVG omdat er persoonsgegevens worden verwerkt door een bedrijf, vereniging of eenmanszaak. (Gegevensbeschermingsautoriteit, 2019)

4.3 Toegepast op een ANPR-systeem

De GDPR is een uitgebreide wetgeving die vele voorwaarden opstelt voor het verwerken van persoonsgegevens. Het is niet mogelijk om een volledige checklist te geven, maar enkele basisrichtlijnen geven een goed beeld van de mogelijkheid om dit te implementeren. Een ANPR-systeem brengt een pak meer persoonsgegevens met zich mee dan een simpel tokensysteem of RFID-systeem.

Indien men een ANPR-systeem wilt implementeren, zullen alle reguleringen rond de verwerkte gegevens moeten voldaan worden. Zo zal men moeten:

4.3.1 Een verwerking dient gerechtigd te zijn.

Ieder contact met gegevens, of het nu lezen, verwijderen of verplaatsen is, is een verwerking. Indien men geen gewettigde reden heeft om de data te verwerken, riskeert u om hierop beboet te worden. Ga dus na op welke basis u data wilt verwerken en zorg dat u deze rechtmatigheid kan bevestigen.

4.3.2 Verwerk enkel de data die benodigd is voor uw doeleinden.

Dataminimalisatie berust erop dat u geen data verwerkt dat u niet nodig hebt om uw doelen te bereiken. Indien u een ANPR-systeem opstelt als toegangssysteem, dient u geen foto's van toevallige voorbijgangers bij te houden.

4.3.3 Informeer dat persoonsgegevens verwerkt worden.

Het bekende artikel 13 berust erop dat een betrokkenen kennis heeft dat zijn gegevens verwerkt worden. Informeer dus duidelijk dat cameradetectie aanwezig is en vermeld een contactpersoon voor vragen.

4.3.4 Wees bereid om gegevens op te vragen en aan te passen op vraag van derden.

Niet enkel de betrokkene, maar ook de overheid heeft het recht om eender wanneer zijn toebestemde persoonsgegevens op te vragen of aan te passen. Deze moeten binnen een tijdspanne van een maand volbracht worden om boetes te vermijden.

Indien mogelijk kunnen de bekomen gegevens geanomiseerd worden zodat geen betrokkenen kunnen worden geïdentificeerd. Indien de betrokkenen niet kunnen geïdentificeerd worden, kan u deze data ook niet opleveren op aanvraag.

4.3.5 Stel een contactpersoon aan.

Iemand binnen de organisatie moet aangesteld zijn om na te gaan of persoonsgegevens op een correcte manier verwerkt worden. Deze is verantwoordelijk indien de GDPR of andere privacy reguleringen niet nageleefd worden.

Indien mogelijk kan een Data-Protection Officer aangesteld worden. Deze is een vereiste bij grootschalige projecten waarbij zijn taak hoofdzakelijk het valideren is dat de GDPR nageleefd wordt. Deze dient gemakkelijk te contacteren te zijn vanuit eender welke vestiging.

4.3.6 Is het mogelijk om aan deze eisen te voldoen?

De co-promotor van dit onderzoek, Vado-Solutions, heeft reeds een idee van een implementatie. Hun systeem zou toegang verlenen voor een nummerplaat voor een bepaalde duur, bv. een bezoeker die een maand lang toegang tot de campus zou moeten hebben. Door enkel de nummerplaat en de periode op te slaan wordt er een groot deel van het extra papierwerk rond de GDPR omzeild.

Verder zouden de genomen foto's niet worden opgeslaan in het systeem. De analyse van de foto's gebeurt onmiddellijk, waarna ze verwijderd worden. Dit geeft het voordeel dat hier geen databank van moet worden bijgehouden en dat er geen extra werk in kruip op vlak van GDPR. Indien een betrokkene zijn foto's zou willen laten verwijderen is het onmogelijk, er worden namelijk geen foto's opgeslagen.

Enkel op vlak van het nemen van foto's zou er nog moeten beschreven worden hoe dit exact valt onder het gerechtvaardigd belang. Dit is namelijk de enigste grond waarop een dergelijk ANPR-systeem onder gerecht zou kunnen zijn.

Als besluit zou deze zeer minieme oplossing zeker mogelijk zijn om te implementeren op de campussen. De kleine voetafdruk van persoonlijke gegevens verminderen de lasten van de GDPR en zolang de schaal over enkele campussen blijft zou er geen DPO moeten worden aangesteld worden, wat kosten bespaart. Indien men een checklist wenst uit te voeren biedt gdpr.eu een degelijke checklist aan op <https://gdpr.eu/checklist/>.

5. Maatregelen voor ANPR

In deze sectie beoordelen we welke maatregelen genomen moeten worden bij het implementeren van een ANPR systeem met oog op de parking aan de UGent.

Nummerplaatdetectie is al sterk geëvolueerd sinds vroeger, maar heeft nog steeds enkele drawbacks. Zo spelen factoren zoals weer, belichting en plaatsing van de camera's een invloed op de nauwkeurigheid van de uitlezingen. Indien we met beperkte hardware werken kunnen deze omstandigheden niet altijd gemakkelijk direct verholpen worden, maar is het de bedoeling dat toch een optimale instelling behaald wordt.

5.1 Cameraplaatsing

5.1.1 Locatie van de camera

Uit een prototype van arrieta-Rodriguez, Murillo, Arnedo, Caicedo en Fuentes (2019) bleek dat nummerplaten niet correct geïdentificeerd werden bij een inclinatiehoek vanaf 30 graden. Het is dus aanbevolen om de camerahoek te beperken tot een kleine hoek.

Verder is het aangeraden om de camera hoger te plaatsen dan de koplampen van de auto, dit om te voorkomen dat de camera verblind wordt door het sterke licht.

5.1.2 Camera oriëntatie

De gedetecteerde nummerplaten horen parallel te staan met de randen van de afbeelding. Dit omdat de datasets voor OpenANPR getraind zijn met afbeeldingen van horizontale num-

merplaten, maar niet van gedraaide. Indien het niet mogelijk is om een rechte afbeelding te nemen kan de afbeelding ook later gedraaid worden.

5.1.3 Pixeldichtheid

Het aantal pixels van de foto waaruit een nummerplaat bestaat is van belang voor OpenALPR voor een duidelijke herkenning. Indien een foto van veraf is genomen zal deze laag zijn en van dichtbij zal deze dan weer hoog zijn. OpenALPR verwacht voor Europeaanse nummerplaten minstens een wijde van 75 pixels en een grootte meer dan 250 pixels verhoogt niet opmerkelijk de accuraatheid. (OpenALPR-Software-Solutions, 2019b)

5.2 Camera instellingen

De belangrijkste factor van een performant ANPR-systeem is een correct ingestelde camera. Het nemen van foto's is de eerste stap in het proces en indien hierop nummerplaten niet duidelijk zijn kan OpenALPR onmogelijk iets detecteren. In dit onderdeel worden de belangrijkste instellingen verduidelijkt die bijdragen tot een correcte foto voor gebruik bij nummerplaatdetectie.

5.2.1 Shuttersnelheid

Camera shutterspeed is de snelheid dat een camera foto's neemt. In een klaarlichte dag kan de shutterspeed zo'n 1/10000 seconden halen terwijl in het donker dit wel een volle seconde kan duren om genoeg licht te behalen. (OpenALPR-Software-Solutions, 2019b)

Bij een lange shutterspeed kan het dus zijn dat een voertuig een meter vooruit is gereden, terwijl bij een kleine shutterspeed dit bv. maar een centimeter is. Een korte shutterspeed is dus interessant voor het implementeren van nummerplaatdetectie aangezien de auto minder ver is gereden en dus minder motion blur op de foto staat.



(a) Shutter speed van 1/60

(b) Shutter speed van 1/250

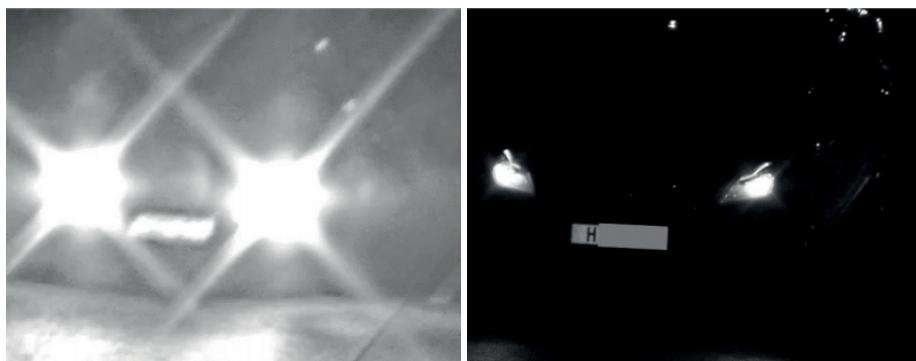
Figuur 5.1: Vergelijking van verschillende shutterinstellingen. (easy-basic-photography, 2019)

Het nadeel van een kleine shutterspeed te nemen is dat er veel minder licht aanwezig is op de foto's, wat de detectie dan weer omlaag brengt. Zo krijg je 's nachts bijna volledig zwarte foto's. Dit kan geremedieerd worden door belichting bij te plaatsen.

5.2.2 Belichting

's Nachts is het moeilijk een degelijke foto van nummerplaten te verkrijgen. Door het weinige licht moet de camera zeer lang zijn shutter openhouden, wat resulteert in een wazige foto.

Men kan de nummerplaats zichtbaar maken door het bijzetten van belichting, maar zelfs dan zal de nummerplaats vaak weinig tot niet zichtbaar zijn. Dit komt doordat de koplampen van een auto zeer fel oplichten in de camera en hierdoor de afbeelding overbelichten. Een algemene oplossing voor deze problemen is het gebruik van een IR-camera. Een IR-camera detecteert enkel IR-licht en heeft dus geen invloed van de koplampen van wagens. Verder is het voordeel hiervan dat IR-licht niet zichtbaar is voor het menselijk oog, en dus ongestoord snachts en overdag gebruikt kan worden. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 5.2, waarbij eerst geen IR-filter wordt gebruikt en daarna wel.

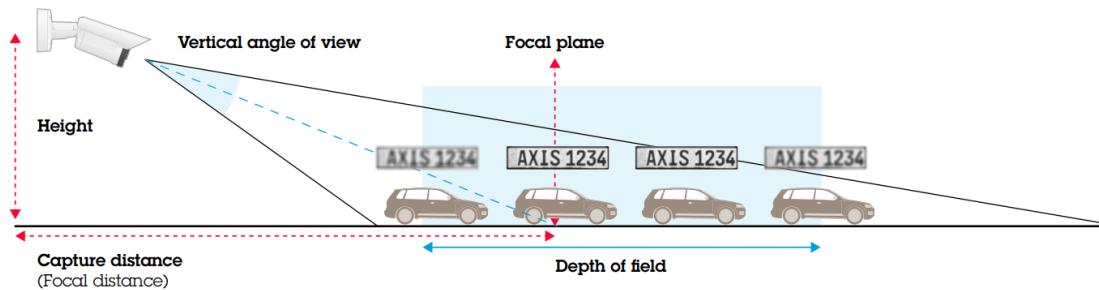


(a) Slecht geconfigureerde camera. (b) Correct geconfigureerde camera.

Figuur 5.2: Vergelijking tussen IR-camerainstellingen in de nacht. (Axis-Communications, 2019)

5.2.3 Depth of field

Om scherpe afbeeldingen te verkrijgen moet de depth of field (DOF) van een camera correct ingesteld staan. Deze bepaalt in welke range een afbeelding scherp is. Hoe groter de DOF, hoe verder de objecten in focus zijn. Bij afstanden onder de 10m is de DOF aan de kleine kant en moet deze heel nauwkeurig ingesteld worden (Axis-Communications, 2019). In vele camera's gebeurt het instellen van de DOF automatisch en moet hier niet echt naar gekeken worden. Een verduidelijking van DOF is te zien in figuur 5.3.



Figuur 5.3: Verduidelijking van depth of field. (Axis-Communications, 2019)

5.3 Configuratie van OpenALPR

OpenALPR, de open-source software voor het detecteren van nummerplaten, biedt zelf ook verscheidene instellingen die de accuraatheid van de detectie kan verbeteren. Aangezien de software gebruikt kan worden over heel de wereld zijn en deze nummerplaten heel wat verschillen zijn er meerdere configuraties beschikbaar die specifieker op de regio getraind zijn, maar ook calibratie van de genomen afbeeldingen en patroonmatching zijn beschikbaar.

5.3.1 Pattern matching

arrieta-Rodriguez e.a. (2019) en Buhus, Timis en Apatean (2016) concluderen beiden dat openalpr standaard goede resultaten biedt, maar nog hogere resultaten bereikt kunnen worden indien er verduidelijkt wordt welk type nummerplaten er verwacht wordt. Dit houdt factoren in zoals de juiste dataset van het land gebruiken en de volgorde van de kentekenkarakters aanduiden.

Door pattern matching toe te passen kunnen resultaten nog nauwkeuriger zijn. Hierbij wordt een reguliere expressie op alle top N resultaten uitgevoerd en worden de non-matching resultaten verworpen.

Een voorbeeld hiervan is op nummerplaten in Tsjechië, verkregen van OpenALPR-Software-Solutions (2015). Er wordt nummerplaatdetectie uitgevoerd op afbeelding 5.4 met volgende regexpatronen die voorkomen in Tsjechië:

- cz #@#####
- cz #@ @####

```
[mhill@mhill-linux tmp]$ alpr -c eu -p cz cz_4s50233.jpg -n 40
Config file location provided via default location
plate0: 40 results
- 4S5O233      confidence: 90.947      pattern_match: 0
- 4S5O23       confidence: 87.8683     pattern_match: 0
- 4S5O23       confidence: 85.1644     pattern_match: 0
- 4S5O23S      confidence: 84.5445     pattern_match: 0
```

```
- 4S5O23B      confidence : 83.7395    pattern_match : 0
- 4S5O2S3     confidence : 83.3698    pattern_match : 0
- 4S5O23G     confidence : 83.1375    pattern_match : 0
- 4S50233     confidence : 83.0457    pattern_match : 1
- 4S5O2B3     confidence : 82.5635    pattern_match : 0
- 4S5O2       confidence : 82.0857    pattern_match : 0
- 4S5O2G3     confidence : 81.5684    pattern_match : 0
- 4S5O2J3     confidence : 81.0409    pattern_match : 0
- 4S5O2S      confidence : 80.2911    pattern_match : 0
... more results that do not match ...
```



© O.A.Brekke 2006

Figuur 5.4: Pattern matching van OpenALPR (OpenALPR-Software-Solutions, 2015)

Hieruit is te zien dat bij de top 7 resultaten het middelste karakter als de letter O zien i.p.v. het cijfer 0. Door te kijken of de pattern matching succesvol was, zien we dat het achtste resultaat correct is.

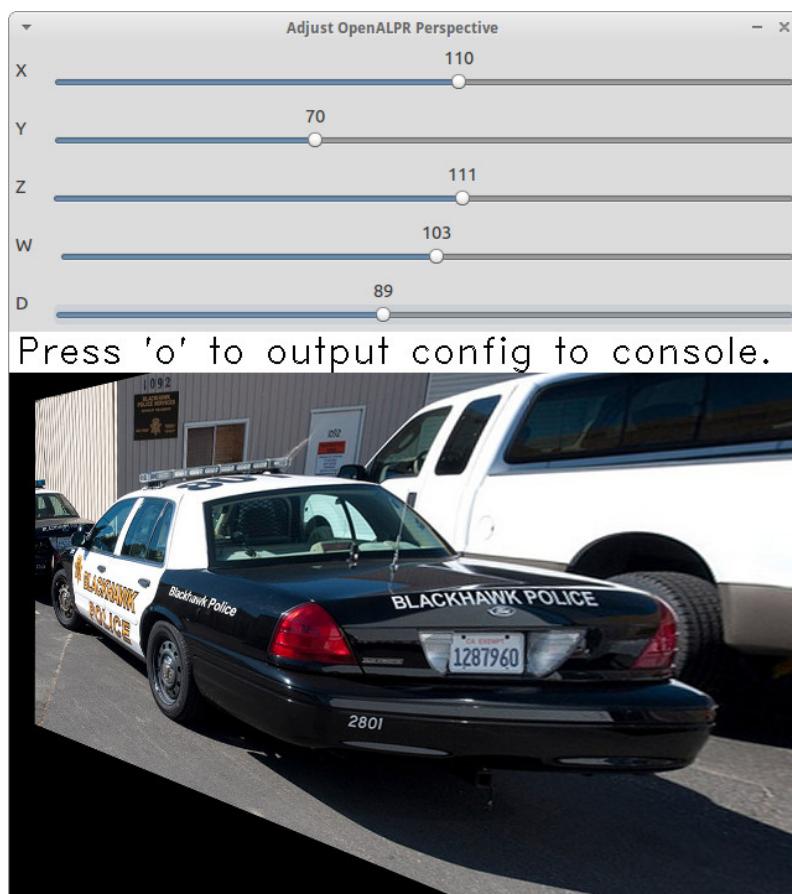
5.3.2 Calibratie van afbeeldingen

In vele situaties is het niet mogelijk om de camera frontaal te richten op een nummerplaat. Indien de camera te diagonaal gericht is, zoals in afbeelding 5.5, is het zeer waarschijnlijk dat de accuraatheid van OpenALPR zal zakken. Dit komt omdat OpenALPR getraind is op afbeeldingen die horizontaal gealigneerd zijn met een maximale hoek van 30°. Gelukkig biedt OpenALPR een eigen tool aan om foto's te kalibreren. Deze is te zien in afbeelding 5.6, waar de x- en y-as rotatie en schaal aangepast worden om de afbeelding toch recht te

trekken.



Figuur 5.5: Nummerplaat met een grote invalshoek (OpenALPR-Software-Solutions, 2015)



Figuur 5.6: Gekalibreerde afbeeld adhv. OpenALPR's calibratie tool. (OpenALPR-Software-Solutions, 2015)

5.3.3 Buitenlandse nummerplaten

OpenALPR heeft verscheidene configuraties voor Europa, Amerika en andere continenten. Door één van deze te selecteren wordt een ander model gekozen dat specifiek voor deze regio is getraind. Bij een keuze van de Europese databank worden er dan ook geen tot weinig fouten verwacht aangezien het model met nummerplaten over heel Europa getraind is.

5.3.4 Commerciële upgrades

OpenALPR biedt ook een commerciële versie aan. Deze zou naar eigen zeggen een hogere nauwkeurigheid bieden in cases waar de Open Source versie slecht presteert (OpenALPR-Software-Solutions, 2019a). Er wordt verondersteld dat deze verbeteringen direct zouden vertalen naar het onderzoek zelf en een hogere performantie zal leveren.

De commerciële versie van OpenALPR kost op het moment dat dit onderzoek gepubliceerd is 49 dollar per maand, wat omgerekend 44,1 euro is. Dit onderzoek focust zich op een goedkope implementatie van ANPR, hierdoor wordt de commerciële versie niet overwogen.

6. Praktische uitvoering van ANPR

In dit hoofdstuk zal er onderzocht worden of nummerplaatdetectie degelijke resultaten kan leveren op de Campus Sterre en Campus Coupure van UGent. Hiervoor zullen handmatig foto's genomen worden van wagens die de parking willen verlaten met de Pi-NoIR cam. Hierna wordt er gecontroleerd of OpenANPR wel degelijk correcte resultaten levert op de genomen foto's.

6.1 Hardware en software

In dit onderdeel wordt de opstelling en configuratie van de camera's uitgelegd adhv. de informatie verzameld in Hoofdstuk 5.

6.1.1 Camera

Als camera zal gebruik gemaakt worden van de PiNoIR-Cam. Deze camera is een standaard extensie voor de Raspberry-PI die geen infrarood filtering heeft staan. Standaard wordt infrarood uit afbeeldingen gefilterd omdat deze een ongewenst bijproduct zijn op foto's. De PiNoIR camera filtert geen infrarood uit de afbeeldingen en maken het dus mogelijk om te gebruiken voor infrarood detectie.

Cameraplaatsing

Voor de plaatsing van de camera's wordt er gewenst zo veel mogelijk kosten te besparen en wordt er liever niet geopteerd voor een aparte paal voor de ANPR-camera. Daarom

zal als fotopunt de metalen constructie van de hefboom gekozen worden. De camera zal hier op de top worden aangehangen zodat deze zo min mogelijk interferentie heeft van de koplampen van de auto's.

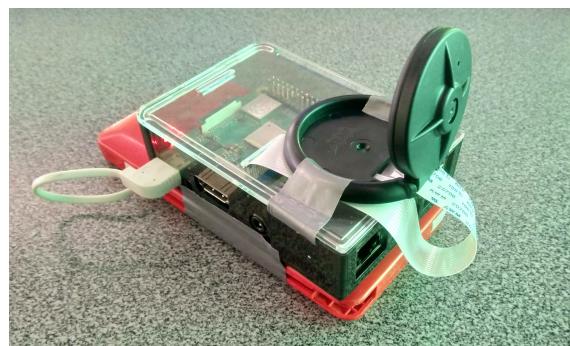


Figuur 6.1: Uitgang met tokens aan UGent campus Coupure

6.1.2 Opstelling

Om de foto's te verkrijgen zal gebruik gemaakt worden van de Raspberry Pi met de PiNoIR camera, deze zal in een behuizing op de juiste hoogte van de paal tijdelijk vastgezet worden tesamen met een powerbank. De Raspberry Pi verbindt vervolgens met een GSM die als hotspot ingesteld staat, waarop vervolgens met een SSH verbinding een commando kan worden uitgevoerd om foto's te nemen.

Figuur 6.2 toont de gemaakte opstelling. Deze bevat De Raspberry Pi, de Pi-Cam en een powerbank met een capaciteit van 700mAh.



Figuur 6.2: Opstelling Raspberry Pi met PiCam.

6.2 Verzamelen van de gegevens

De verzamelde gegevens horen correct te zijn en representatief voor een automatisch geïmplementeerd systeem. Alle uitgevoerde stappen om de gegevens te bekomen zijn in dit onderdeel beschreven samen met hun motivaties.

6.2.1 Nemen van de foto's

Het nemen van de foto's is een fysiek onderdeel van dit onderzoek en werd uitgevoerd op de volgende locaties:

- Campus Coupure - Uitgang Coupure Links
- Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat
- Campus Landbouw - Uitgang De Pintelaan
- Campus Landbouw - Uitgang Galglaan

Deze foto's werden gemaakt met de PiNoIR camera verbonden aan de Raspberry Pi mbv. het raspistill commando. Per auto die de parking wilt verlaten worden er adhv. een handmatige trigger 6 foto's gemaakt in een burst van 3 seconden met 500 ms per foto. Dit aan de hand van het raspistill commando:

```
#!/bin/bash

# -t : De timeout waarover foto's genomen worden
# -bm : Gebruik de camera in burst mode, hierdoor moet de camera niet
       telkens opnieuw focussen tussen iedere genomen foto
# -tl : Tijd tussen iedere foto in burst mode
# --width --height : De resolutie van de bekomen foto's
# --nopreview : schakel de preview uit aangezien er geen monitor verbonden is
raspistill -t 3000 -bm -tl 500 --width 1280 --height 720 --nopreview
-o 'date +%d%m%Y_%H%M%S'%'04d.jpg
```

Triggering van de camera

De camera zelf werd in dit onderzoek handmatig getriggerd aangezien een implementatie opstellen voor automatische triggering een te grote tijdsnood zou hebben op het maken van dit onderzoek.

In een werkelijke implementatie zou deze triggering mogelijk zijn adhv. software dat de beelden van de Raspberry Pi bekijkt en hierop bewegingsdetectie uitvoert. Een voorbeeld hiervan is de 'motion' package die hiervoor een open-source implementatie geeft.

6.2.2 Tijdstippen van de genomen foto's

In tabel 6.1 zijn alle momenten genoteerd dat er fysiek foto's verzameld werden. Deze zijn verworven in de vroege namiddag aangezien het op deze momenten nog steeds daglicht is en mensen beginnen te vertrekken van de Campussen. Enkel op de Coupure Links is er later geprobeerd data te verzamelen omdat er overdag bijna geen auto's vertrokken.

Datum	Begin	Eind	Locatie	Aantal foto's
06/11/2019	11u45	12u46	Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat	48
08/11/2019	12u15	12u29	Campus Sterre - Uitgang Galglaan	17
08/11/2019	12u52	13u41	Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	38
13/11/2019	11u36	12u08	Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	50
13/11/2019	12u29	12u42	Campus Sterre - Uitgang Galglaan	9
13/11/2019	13u48	14u35	Campus Coupure - Uitgang Coupure Links	5
14/11/2019	18u05	18u55	Campus Coupure - Uitgang Coupure Links	3
21/11/2019	14u08	15u11	Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	35
21/11/2019	15u58	16u22	Campus Sterre - Uitgang Galglaan	36
27/11/2019	13u42	15u03	Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	75
29/11/2019	12u04	12u35	Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat	20
11/12/2019	13u42	15u12	Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	64

Tabel 6.1: Tijdstippen wanneer de verwerkte foto's bekomen zijn.

6.2.3 Incorrecte foto's

Foto's die te laat of te vroeg werden genomen worden weggelaten. Enkele voorbeelden hiervan zijn te zien in Figuur 6.3. Vervolgens wordt er per auto maar 1 foto bijgehouden per afstand. Indien er maar 1 afstand aanwezig is op de foto's, wordt deze reeks niet gezien als representatief en zullen de auto's niet verwerkt worden.

In sommige gevallen zijn de foto's allemaal van een veel te verre afstand genomen, dit is niet representatief aangezien een motion detection systeem foto's over een korte afstand kan nemen. In het geval van Figuur 6.4 zijn alle afbeeldingen op een verre afstand genomen. Een motion detection systeem zou in dit geval ook foto's genomen kunnen hebben op een dichtere afstand, hierdoor is deze reeks foto's niet representatief en zal ook helemaal niet opgenomen worden in het onderzoek.

6.3 Verwerking van gegevens

Nadat de foto's van een uitgang verzameld zijn, werd op iedere foto nummerplaatdetectie uitgevoerd mbv. OpenALPR. Het resultaat van deze detectie werd opgeslaan in een JSON bestand naast de corresponderende afbeelding. Hiervoor werd de volgende code gebruikt:

```
#!/bin/bash
```



(a) Auto op een onredelijk dichte afstand. (b) Auto op een onredelijk verre afstand.



(c) Auto die de parking niet verlaat.

Figuur 6.3: Types van foto's die niet werden opgenomen in het onderzoek.



Figuur 6.4: Foto's die op een te verre afstand genomen zijn en dus niet representatief zijn.

```
FILES=$(ls -tr *.jpg)
for fullname in $FILES
do
fname="${fullname%.*}"
alpr -p be -c eu --config alpr.config -j $fullname | jq '.> "${fname}.json"
echo "processed file ${fname}.json"
done
```

Vervolgens werd de deze genoteerd in een CSV-bestand, tesaamen de volgende data afgeleid uit de afbeeldingen:

- **identifier:** Unieke identifier per auto.
- **file:** De bestandsnaam van de foto.
- **license_plate:** De 'correcte' nummerplaat, handmatig uit de foto gehaald.
- **result:** De nummerplaat gedetecteerd door OpenALPR.
- **distance:** De afstand van de camera, bestaat uit 3 velden, "close", "medium" en "far". Close betekent een afstand onder de 3 meter, medium tussen 3 en 5 meter en far betekent verder dan 5 meter.
- **lighting:** De belichting van de nummerplaten, bestaat uit 2 velden, "bright" en "very_bright". Bright betekent dat de nummerplaat duidelijk leesbaar is voor mensen onder normaal daglicht. very_bright betekent dat deze niet onmiddelijk leesbaar is.
- **location:** De uitgang waar de foto is genomen, bestaat uit "coupure-kruisboogstraat", "coupure-couplelinks", "sterre-galglaan" en "sterre-depintelaan".

6.3.1 Calibratie van de afbeeldingen

Origineel waren alle resultaten van de nummerplaatdetectie aan de zeer lage kant, aangezien de afbeeldingen nog niet gekalibreerd waren. Maar met de tools beschreven in onderdeel 5.3.2, was het mogelijk om een algemene transformatie op de afbeeldingen uit te voeren.



Figuur 6.5: Calibratie van afbeeldingen met behulp van openalpr-utils-calibrate.

Het verschil in de bekomen resultaten is duidelijk merkbaar. In tabel 6.2 worden de resultaten per foto vergeleken waarbij wel gekalibreerd en niet-gekalibreerd is. De resultaten stijgen van een 41.9% naar een 79.0%. Kalibratie is dus wellicht een noodzakelijk onderdeel van een geslaagde implementatie.

	Incorrect	Correct	Totaal	Ratio
Niet-gekalibreerd	36	26	62	41.9%
Gekalibreerd	13	49	62	79.0%

Tabel 6.2: Verschil in nauwkeurigheid per foto door de kalibratie van OpenALPR.

6.3.2 Patroon matching van nummerplaten

Nummerplaten kunnen soms foutief gedetecteerd worden door letters en nummers die op elkaar lijken. Zo is er maar een klein verschil tussen de O, 0 en Q. Hierdoor kan het zijn dat een nummerplaat zoals 1-NOP-123 gelezen wordt als 1-N0P-123. In de gevallen dat deze de structuur van de reeksen tekens in de nummerplaten verhinderen, kunnen deze gemakkelijk opgelost worden door gebruik van OpenALPR's patroon matching.

Wat patroon matching doet is zoals de naam zegt; het controleren of een bekomen nummerplaat voldoet aan een bepaald patroon. In België en Nederland zijn deze sinds 2010 een 1 met 3 letters en 3 cijfers.

6.4 Resultaten

6.4.1 Campus Sterre - Uitgang Galglaan

De uitgang aan de Galglaan is één van de twee uitgangen op de campus Sterre. De uitgang ligt naast de straat Galglaan en heeft twee inrijrichtingen. Deze locatie is aangeduid in figuur 6.6.

Aan de hand van de informatie bekomen in hoofdstuk 5, is er besloten om de camera op de metalen constructie van de hefboom te plaatsen. Deze is te zien in figuur 6.7 en is gekozen op basis van de volgende standpunten:

- De hoogte van de metalen constructie is hoog genoeg om direct licht van koplampen te verhelpen.
- Vanuit deze locatie is een grote afstand van de rijbaan zichtbaar van aankomende voertuigen. Dit geeft het systeem een grotere kans om een auto te identificeren.
- De camera op de metalen constructie monteren is een voordeel op vlak van implementiekosten. Bekabeling is reeds aanwezig in de kast en geen extra paal moet geplaatst worden om de camera te monteren.

Resultaat

Met deze gekozen cameraplaatsing zijn vervolgens 23 verschillende voertuigen verwerkt en zijn de volgende resultaten bekomen:

ANPR nauwkeurigheid: Galglaan	Incorrect	Correct	Totaal	Ratio
Per individuele foto	13	49	62	79.0%
Per auto	1	22	23	95.7%

Tabel 6.3: Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Galglaan.

Deze resultaten zijn volgens de originele verwachtingen van een resultaat rond de 95%. Deze foutmarge is laag genoeg om te kunnen besluiten dat nummerplaatdetectie aan deze



Figuur 6.6: Satellietafbeelding van de Campus Sterre - Uitgang Galglaan. De uitgang zelf is aangeduid met een rode cirkel. De uitrijrichting met een rode pijl. (Google-Earth, 2019)



Figuur 6.7: Close-up van de uitgang aan Campus Sterre - Uitgang Galglaan. De cameralocatie is aangeduid met een rode cirkel en de uitrijrichting met een rode pijl.

uitgang mogelijk is in normaal belichte omstandigheden. Mogelijk kan dit resultaat verbeterd worden door het verhogen van de resolutie van de genomen afbeeldingen of het upgraden van OpenALPR naar de commerciële versie.

Fouten

De enkele foutieve wagen, getoond in figuur 6.8, heeft geen opvallende geschillen dan de andere wel gedetecteerde wagens. Qua positie, kwaliteit, focus is hij identiek. We kunnen hierdoor veronderstellen dat deze fout komt door de accuraatheid van OpenALPR zelf, of aan de resolutie van de afbeeldingen.



Figuur 6.8: Niet-gedetecteerde nummerplaat aan Campus Sterre - Galglaan. Enkele karakters van de nummerplaat zijn onleesbaar gemaakt uit privacy van de bestuurder.

6.4.2 Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan

De uitgang op de Campus Sterre aan de De Pintelaan is de hoofduitgang van UGent Campus Sterre en was een uitdaging om correct te configureren. Deze is verbonden met drie straten die enkele grote parkings verbinden, bijgevolg wordt deze het meest gebruikt van alle uitgangen. Het is dan ook belangrijk dat hier een goede detectie is.

Door de vele verbindingen is het mogelijk om de parking op allerlei manieren te bereiken, deze zijn te zien op figuur 6.9. Dit is op zich geen probleem, maar hierdoor moet de nummerplaatdetectie wel in een groot aantal orientaties werken.

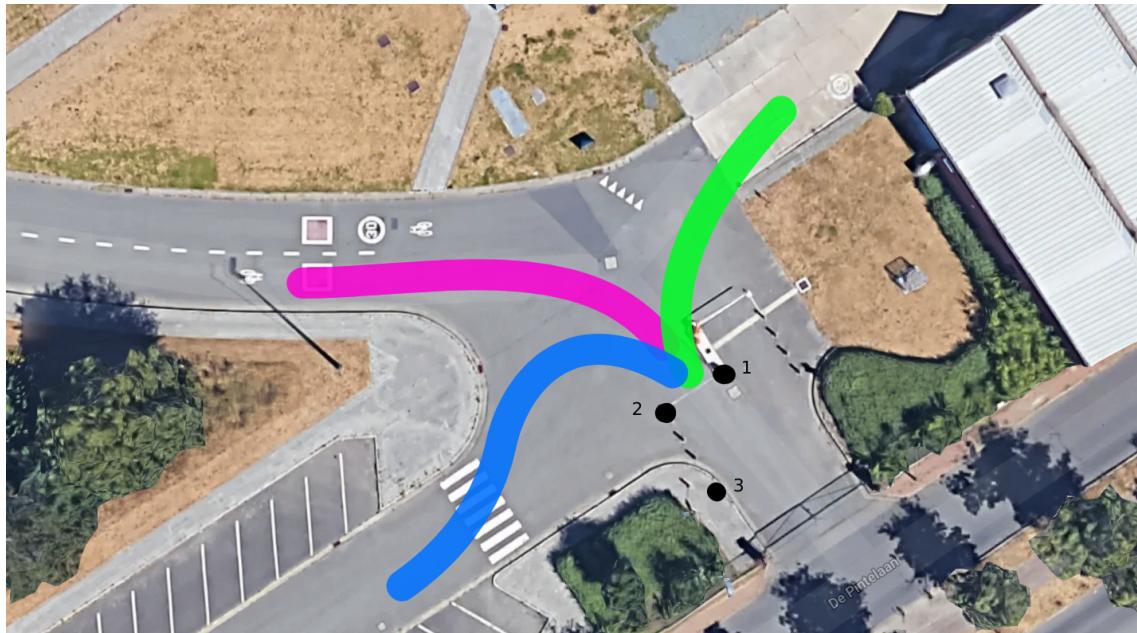
Aangezien aan deze uitgang niet direct een optimale camerahoek gevonden was, worden in de volgende onderdelen de geteste camerahoeken beschreven samen met hun resultaten. Deze camerahoeken zijn aangeduid met cijfers in figuur 6.9.

Positie rechts van de hefboom

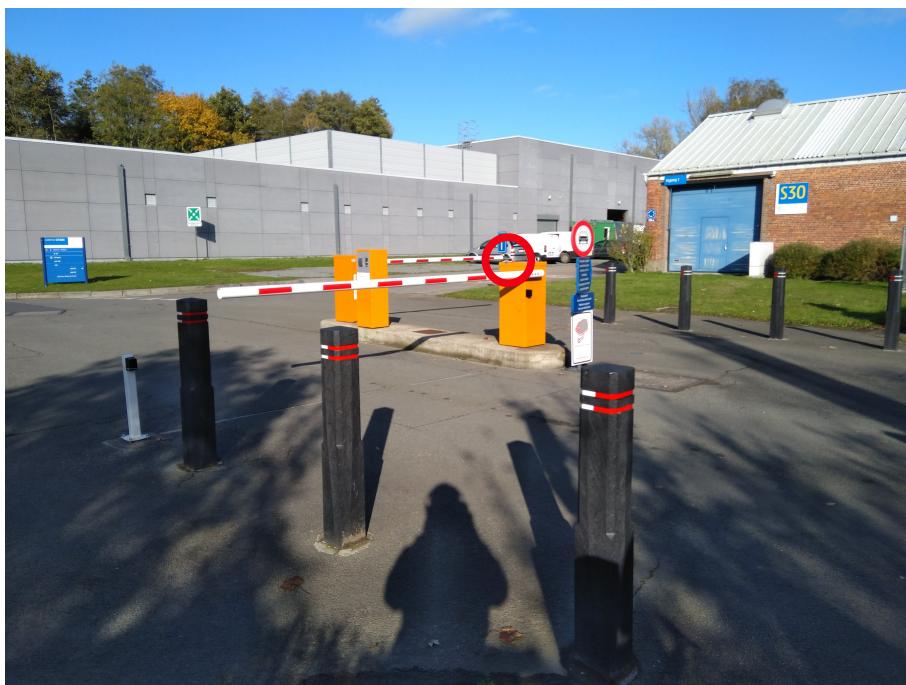
In een eerste poging tot detectie werd de camera op de metalen constructie van de hefboom geplaatst, wat op de uitgang van de Galglaan al degelijke resultaten leverde. Spijtig genoeg was deze locatie duidelijk niet geschikt, de zon speelde een grote invloed op de afbeeldingen en ook de vele inrijrichtingen maakten dit moeilijk.

Deze plaatsing van de camera is aangeduid op afbeelding 6.9 als punt 1. Figuur 6.10 verduidelijkt de specifieke plaatsing van de camera zelf.

De eerste resultaten aan deze uitgang waren niet denderend, indien 30% van de bezoekers terug moeten keren om toch een token te halen doet nummerplaatdetectie meer kwaad dan



Figuur 6.9: Satellietafbeelding van de Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan met aangebrachte routes en cameralocaties. (Google-Earth, 2019)



Figuur 6.10: Cameraplaatsing aan de rechterkant van de hefboom op Campus Sterre - De Pintelaan. De locatie van de camera is aangeduid met een rode cirkel.

goed. Na het inspecteren van de foutieve afbeelding werd duidelijk dat bij vele voertuigen 's middags een grote interferentie van het zonlicht hadden. Wanneer de zon hoog staat reflecteerde het zonlicht via de nummerplaat recht in de camera, wat het contrast van de tekst op de nummerplaat in grote mate verminderde en de detectie onmogelijk maakte. Hieruit kunnen we afleiden dat deze specifieke cameraplaatsing niet geschikt is voor de

ANPR nauwkeurigheid: De Pintelaan, rechts	Incorrect	Correct	Totaal	Ratio
Per individuele foto	43	30	73	41.1%
Per auto	8	17	25	68.0%

Tabel 6.4: Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan, camerahoek 1.

uitgang en een andere camerahoek gezocht moest worden.

Een voorbeeld van deze interferentie is te zien op Figuur 6.11. Deze afbeelding is niet bewerkt, de nummerplaat is gewoonweg helemaal niet zichtbaar door de reflectie van het zonlicht.



Figuur 6.11: Interferentie van zonlicht op de parking van Campus Sterre - De Pintelaan, camerahoek 1.

Positie links van de hefboom

In een poging om de invloed van de zon tegen te gaan is geprobeerd om de camera aan de linkerkant van de slagboom te zetten, maar ook op deze positie maakte de zon de nummerplaten in vele gevallen minder leesbaar, bijkomend gaf de camerahoek zelf enkele nadelen. Door de vele inrijrichtingen van de auto, aangeduid op figuur 6.9, waren een groot deel van de nummerplaten helemaal niet zichtbaar. Enkele voorbeelden hiervan zijn te zien in figuur 6.12, Auto's die van links komen hun nummerplaten staan te schuin om soms zelfs duidelijk met het oog te kunnen lezen.

Hierdoor verkrijgen we volgende resultaten:



Figuur 6.12: Moeilijk te detecteren nummerplaten door scherpe camerahoek.

ANPR nauwkeurigheid: De Pintelaan, links	Totaal	Incorrect	Correct	Ratio
Per individuele foto	50	31	19	38.0%
Per auto	17	8	9	52.9%

Tabel 6.5: Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan, camerahoek 2.

Met een slechter resultaat dan de vorige positie en net meer dan de helft van de auto's correct te kunnen detecteren, kunnen we besluiten dat deze positie geen oplossing is.

Positie achteraan de uitgang

Als derde optie is er getest op de mogelijkheid om van een verdere locatie foto's te nemen aan de hand van een statief om de camera op een geschikte hoogte te houden. Dit is aangetoond op figuur 6.13. Door de camera naar achteren te zetten zorgen de inrijrichtingen voor geen problemen meer aangezien de wagens allemaal op dezelfde plaats kunnen gefotografeerd worden. Verder is er geen storing meer van het zonlicht omdat de camera hoog staat en naar omlaag is gericht.

Deze positie is een drie meter naar achteren van de linkerkant van de hefboom, dit zodat de invalshoek van de camera zo klein mogelijk blijft. De hoogte van de camera is 1,5 meter hoog, wat hoog genoeg was om de invloed van het zonlicht weg te werken.

Volgende resultaten zijn bekomen aan de uitgang:

ANPR nauwkeurigheid: De Pintelaan, achteraan	Totaal	Incorrect	Correct	Ratio
Per individuele foto	75	35	40	53.3%
Per auto	24	6	18	75.0%

Tabel 6.6: Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan, camerahoek 3.

Deze locatie is een verbetering tov. de vorige posities. Allereerst staan alle auto's op dezelfde locatie ongeacht van inrijrichting. Dit maakt de configuratie van OpenALPR een pak aangenamer en betrouwbaarder.



Figuur 6.13: Cameraplaatsing met statief op Campus Sterre - De Pintelaan.

Ondanks deze voordelen is de nauwkeurigheid niet hoog genoeg en zijn er toch 6 auto's die niet gedetecteerd zijn. Na deze foto's te gaan is het duidelijk dat dit komt door de grote afstand en bijgevolg lagere resolutie van de nummerplaten. Een voorbeeld hiervan is te zien op figuur 6.14.



Figuur 6.14: Moeilijk te detecteren nummerplaten door een te lage resolutie. Enkele karakters zijn onduidelijk gemaakt uit privacy van de bestuurder.

Verder is één voertuig niet gedetecteerd niet door de lage resolutie maar door de hoogte van de slagboom, deze vrachtwagen zijn nummerplaat is te hoog aan het voertuig gemonteerd waardoor de slagboom ervoor staat op de foto. Dit is te zien in figuur 6.15. Deze situatie is wellicht uitzonderlijk. Alle andere auto's hun nummerplaat zit ruim onder de slagboom.

Positie achteraan de uitgang - hoge resolutie

Ten laatste is het onderzoek op de vorige locatie opnieuw uitgevoerd. De nauwkeurigheid van de PiNoIR camera biedt echter een veel hogere resolutie aan. Dit maakte het mogelijk



Figuur 6.15: Niet te detecteren nummerplaat omwille van slagboom die het zicht verhindert.

om softwarematig in te zoomen op de foto's met een betere kwaliteit. In afbeelding 6.16 is dit verschil van de foto's duidelijk te zien.



(a) Originele kwaliteit

(b) Verhoogde kwaliteit

Figuur 6.16: Verhoogde nauwkeurigheid door het inzoomen van de camera.

Na de camera vervolgens opnieuw te kalibreren zijn volgende resultaten bekomen:

ANPR nauwkeurigheid: De Pintelaan, achteraan	Totaal	Incorrect	Correct	Ratio
Per individuele foto	19	45	64	70.3%
Per auto	2	24	26	92.0%

Tabel 6.7: Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Depintelaan, camerahoek 3 met hogere resolutie.

Deze zijn een enorm verschil met het vorig resultaat van 75% van de vorige foto's en bieden een haalbare oplossing voor de uitgang van de De Pintelaan.

Nadelen

Indien een camera op deze locatie moet gezet worden zullen er enkele maatregelingen nodig zijn om de camera te plaatsen en van stroom te voorzien. Een paal zou in de straat moeten vastgezet worden en een reeks kabels voor stroom en data moeten naar de metalen constructie van de hefboom lopen. Dit vraagt een redelijke hoeveelheid meer werk en kosten dan een systeem dat op de behuizing zelf staat.

Verbeteringen

De camera is niet direct te hoog geplaatst, dit was uit voorzorg dat de hefboom van de toegang het beeld van de nummerplaten overlapt. Na de foto's te analyseren bleek het toch dat er nog ruim veel plaats was om de camera hoger te zetten. Dit is een vereiste om mogelijkse voorbijgangers te beletten van vandalisme. Er wordt verondersteld dat het verhogen van de camera geen direct negatieve invloed op de resultaten zal hebben, dit zolang de kalibratie opnieuw wordt uitgevoerd.

6.4.3 Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat

De uitgang aan de Kruisboogstraat is de hoofduitgang van de Campus Coupure. Deze uitgang is zeer dichtbij gelegen met 3 van de 4 parkings van de campus, en heeft dus een redelijk hoog aantal auto's die deze gebruikt. Deze locatie is te zien in figuur 6.17, aangeduid met een rode cirkel. Een close-up van de uitgang is te zien in figuur 6.18.



Figuur 6.17: Satellietafbeelding van de uitgang aan de Kruisboogstraat. De uitgang zelf is aangeduidt met een rode cirkel. (Google-Earth, 2019)

Er werd gekozen om de camera op de metalen constructie van de hefboom te plaatsen aangezien deze een brede kijk geeft op alle mogelijke inrijrichtingen, wat te zien is in figuur



Figuur 6.18: Close-up foto van de uitgang aan de kruisboogstraat. De locatie van de camera is aangeduid met een rode cirkel.

6.19, maar ook omdat deze bij een werkelijke implementatie gemakkelijk te monteren zou zijn. Dit omdat enkele bekabelingen reeds aanwezig is in de montage van de hefboom.



Figuur 6.19: Voorbeeld van een ANPR-foto aan de uitgang Kruisboogstraat. Enkele tekens van de nummerplaat zijn onleesbaar gemaakt uit privacy van de bestuurder.

Resultaten

Met deze positie en camerahoek zijn de volgende resultaten bekomen:

ANPR nauwkeurigheid: Kruisboogstraat	Incorrect	Correct	Totaal	Ratio
Per individuele foto	16	52	68	76.5%
Per auto	1	25	26	96.15%

Tabel 6.8: Resultaten van OpenALPR aan Campus Sterre - Uitgang Kruisboogstraat.

De behaalde marge van 96.15% is boven de gewenste nauwkeurigheid van 95%. Waardoor besloten kan worden dat nummerplaatdetectie een haalbare technologie is aan de uitgang aan de Kruisboogstraat. Deze resultaten gelden enkel voor detectie overdag, zonder moeilijke weersomstandigheden.

Fouten

Op 1 auto na zijn alle auto's correct geïdentificeerd. De incorrecte afbeeldingen hebben geen merkwaardige verschillen van de andere afbeeldingen waardoor de juistheid lager zou liggen. We kunnen hieruit dus veronderstellen dat deze fout komt door de nauwkeurigheid van OpenALPR zelf. Mogelijks zou het verhogen van de resolutie van de camera een verbetering hebben op deze resultaten.



Figuur 6.20: Een niet-geïdentificeerd voertuig aan de uitgang Kruisboogstraat. Enkele tekens van de nummerplaat zijn onleesbaar gemaakt uit privacy van de bestuurder.

6.4.4 Campus Coupure - Uitgang Coupure Links

De uitgang aan de Coupure Links, afgebeeld in figuur 6.21, had niet genoeg doorrijdende auto's om een degelijke steekproef te nemen, of een correcte cameraconfiguratie te vinden. Op een tijdsduur van 2u waren er in totaal 4 auto's gepasseerd. Het was niet mogelijk om de tijd te voorzien om genoeg foto's te verzamelen of om een opstelling te maken die achtergelaten kon worden. Hierdoor is deze uitgang niet verwerkt in dit onderzoek.



Figuur 6.21: Foto van de uitgang Coupure Links.

6.5 Algemene resultaten

Resultaten per individuele foto	Incorrect	Correct	Aantal foto's	Ratio
Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat	16	52	68	76.5%
Campus Sterre - Uitgang Galglaan	13	49	62	79.0%
Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	19	45	64	70.3%
Totaal	48	146	194	75.3%

Tabel 6.9: Resultaten van nummerplaatdetectie per foto.

Resultaten per auto	Incorrect	Correct	Aantal auto's	Ratio
Campus Coupure - Uitgang Kruisboogstraat	1	25	26	96.15%
Campus Sterre - Uitgang Galglaan	1	22	23	95.7%
Campus Sterre - Uitgang De Pintelaan	2	24	26	92.0%
Totaal	4	71	75	94.7%

Tabel 6.10: Resultaten van nummerplaatdetectie per auto.

Er werd in dit onderzoek vertrokken met de hypothese dat in een steekproef met nummerplaatdetectie een nauwkeurigheid boven de 95% behaald kon worden. Dit resultaat was dan ook bevestigd bij twee van de drie beschreven uitgangen in tabel 6.10.

Een goedkope implementatie voor nummerplaatdetectie is dan ook in zekere mate mogelijk. Op twee van de drie uitgangen is het mogelijk om de camera's op de metalen constructie naast de hefbomen te plaatsen. Enkel op de uitgang aan de De Pintelaan is er noodzaak aan een uitgebreidere implementatie om de camera te kunnen monteren.

Het is niet mogelijk om aan te nemen dat deze resultaten toepasselijk zijn op de volledige populatie, maar de resultaten stellen zeker de weg open naar breder onderzoek.

7. Conclusie

Het doel van dit onderzoek was het nagaan of nummerplaatdetectie een haalbare technologie was aan de UGent Campus Sterre en Campus Coupure. Dit met behulp van een Raspberry Pi met PiCam en de open-source implementatie van OpenALPR die een goedkope oplossing zouden kunnen bieden. Om deze vraag te beantwoorden werd onderzocht of een dergelijke implementatie mogelijk is met de intrede van de GDPR, en of deze wel degelijk goede resultaten kan opleveren op de uitgangen van de campussen zelf.

Om de eerste vraag te beantwoorden werd een literatuurstudie uitgevoerd over de GDPR zelf, dit hield in hoe deze werkt en hoe deze een ANPR-systeem beïnvloedt. Uit de studie bleek dat de wetgeving een zeer grote invloed heeft op een ANPR-detectie implementatie. Foto's en andere persoonsgegevens zijn verplicht zo min mogelijk verwerkt te worden en dit enkel indien dit gerechtvaardigd is. Verder moet het mogelijk zijn voor een betrokken om deze op te vragen, te corrigeren of te verwijderen.

Een implementatie van een ANPR-systeem is wellicht haalbaar. De wettelijke gronden staan de verwerking van de foto's toe op de grond van het gerechtvaardigd belang zolang deze een duidelijke doelbinding hebben en niet voor andere zaken gebruikt worden. Functionaliteiten zoals het aanpassen van persoonsgegevens of het beveiligen van de gegevens zouden normaal gezien een hoge implementatiekost hebben om hier een systeem rond te bouwen. Maar door persoonsgegevens tot een absoluut minimum te houden en de betrokken niet meer identificeerbaar te maken is deze functionaliteit niet vereist en dekt men implementatiekosten. Dit maakt het mogelijk om een implementatie goedkoop te maken en aldus haalbaar.

uit het andere literatuuronderzoek naar maatregelingen rond ANPR kwam naar voor dat nummerplaatdetectie afhankelijk is van een zeer groot aantal factoren, waarvan camerain-

stellingen .

De technische implementatie haalde een verwachte nauwkeurigheid van gemiddeld 94.7%, wat overeenkomt met het onderzoek van Figuerola e.a. (2016), waar men in optimale omstandigheden een nauwkeurigheid van 94.4% behaalde. Het is niet mogelijk om aan te nemen dat dit resultaat overeenkomt met de volledige populatie, maar de goede resultaten stellen wel de weg open naar een breder onderzoek.

Voor de implementatie zelf is een relatief goedkope oplossing gevonden. Op twee van de uitgangen was het mogelijk om de camera gewoon op de metalen constructie van de hefboom te plaatsen, wat kosten omlaag brengt. Voor de uitgang aan de Campus Sterre Galglaan was dit helaas niet mogelijk door de vele inrijrichtingen en de interferentie van het zonlicht. Hierdoor is het essentieel om een verhoging of een paal te plaatsen om een degelijk resultaat te verkrijgen. Dit zal de kosten aan deze uitgang omhoog halen.

Ten laatste moet er benadrukt worden dat deze resultaten behaald zijn onder normale weersomstandigheden in zonlicht en lichte regen. Verder onderzoek is nodig om te bevestigen of een dergelijke implementatie succesvol is 's nachts of in hevige weersomstandigheden.

A. 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 Introductie

Parkings zijn van groot belang in het dagelijks leven. Iedere dag rijden talloze wagens naar hun plaats om daar na een achttal uren weer opgepikt te worden. Ieder van deze wagens moet zich dan ook telkens identificeren om deze te betreden of te verlaten. Dit doen ze met behulp van tickets, badges of andere toegangssystemen. Ieder systeem heeft zijn eigen voor- en nadelen.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd met oog op de parking van UGent, waar men kampt met enkele problemen omtrent de toegang van de parking aan de Campus Sterre en Campus Coupure. Momenteel worden er op deze parkings tokens en badges gebruikt om de parking te verlaten, welke enkele negatieve punten met zich meebrengen. Zo worden de tokens snel kwijtgeraakt en zijn deze duur om bij te maken. Deze tokens zijn ook universeel en kunnen gebruikt worden bij andere diensten die soortgelijke tokens gebruiken. Verder moeten deze slikkers regelmatig geleegd worden, wat dan weer een personeelskost met zich meebrengt. Men heeft al enkele oplossingen bekeken om dit systeem te vervangen en een grote favoriet is het gebruik van nummerplaatdetectie waarbij met een centraal systeem specifieke wagens toegang kunnen krijgen.

Vele manieren van toegangscontrole zijn allicht mogelijk en niets is perfect. In dit onderzoek zal er op de voorkeur van UGent dieper ingegaan worden op nummerplaatdetectie. Hierbij zal er gekeken worden hoe dit opgeleverd kan worden waarbij de General Data

Protection Regulation (GDPR) nageleefd wordt, welke maatregelen genomen moeten worden om goede resultaten te behalen en of dit haalbaar is om uit te voeren op lichte hardware zoals een Raspberry PI.

Zo bekomen we volgende onderzoeks vragen:

- Is nummerplaatdetectie een haalbare techniek omtrent privacy en GDPR?
- Welke maatregelen moeten er genomen worden om succesvol nummerplaatdetectie te implementeren?
- Kan men nummerplaatdetectie uitvoeren op een Raspberry PI?

A.2 State-of-the-art

Vandaag de dag kampt UGent met verscheidene problemen met hun huidige toegangssysteem. Hierbij kunnen gebruikers de parking vrij binnenrijden, maar om deze te verlaten moeten ze een token verschaffen aan de campus zelf. Deze token moet vervolgens ingeworpen worden in de tokenslikker aan de uitgang, waarna de gebruiker de parking kan verlaten. Deze tokens hebben weliswaar enkele nadelen. Zo worden deze snel kwijtgeraakt en moeten deze bijgemaakt worden, wat een redelijke kost is en niet milieubewust is. Ook zijn deze tokens universeel en kunnen in eender welke tokenslikker ingevoerd worden.

A.2.1 Papieren tickets

Door de problemen die bij het gebruik van tokens te kijk komen heeft men op Campus Sterre intussen één uitgang waar gebruik gemaakt wordt van papieren tickets. Dit was bedoeld als alternatief voor de tokens, maar aangezien deze papieren tickets gelijkaardige problemen met zich meebrengen zou dit geen gewenste oplossing brengen.

A.2.2 RFID

Verder heeft iedere uitgang ook een RFID-scanner die gebruikt wordt om toegang te verlenen aan personeel. RFID kan m.b.v. een centraal systeem personeelskosten verminderen (Pala & Inanc, 2007), maar op een campus waar men soms bezoekers voor maar één dag heeft is het niet wenselijk om hiervoor badges te bedelen.

A.2.3 Nummerplaatdetectie

Een andere, nog niet geïmplementeerde techniek is nummerplaatdetectie. Deze techniek veroorzaakt geen directe milieubelasting aangezien er geen tickets of badges worden gebruikt, maar waar deze techniek wel onder lijdt is de zichtbaarheid van de nummerplaten in slechte weersomstandigheden (Azam & Islam, 2016). Hierbij moet dus onderzocht worden in welke mate dit haalbaar is in deze case.

Dit onderzoek zal nagaan welke toegangstechnieken het voordeligst zijn en welke het beste is in de case van UGent. Dit gebeurt a.d.h.v. een literatuurstudie waarbij een overzicht van iedere techniek gegeven wordt op vlak van benodigde werkuren, milieubelastbaarheid, transparantie voor opvolging en toegangscontrole. Verder zal er uitgebreid gekeken worden hoe nummerplaatdetectie gebruikt kan worden zodat deze niet in strijd zijn met wetgevingen zoals de privacywetgeving en de GDPR. Ten slotte zal er gekeken worden of dit uitgevoerd kan worden op een kleine microcontroller zoals de Raspberry pi 3 B+ en of deze kwalitatieve resultaten biedt.

A.3 Methodologie

Om de eerste onderzoeksvergadering te kunnen beantwoorden zal een literatuurstudie uitgevoerd worden omtrent privacy en GDPR. Het doel hiervan is om richtlijnen te bekomen voor het gebruik van camera's op een parking zonder enige wetgevingen te overtreden.

Om de tweede onderzoeksvergadering te beantwoorden is er nood aan nog een literatuurstudie waarbij maatregelen worden samengesteld om op een optimale manier nummerplaten te kunnen herkennen. Door deze maatregelen te volgen kan een ontwikkelaar gemakkelijk een functionele installatie ontwikkelen.

Voor de laatste onderzoeksvergadering zal onderzocht worden of nummerplaatdetectie een haalbare technologie is om te gebruiken op een Raspberry Pi 3B+ met Pi-Cam. Dit zal getest worden door foto's te nemen van voertuigen aan de toegangspunten aan UGent, gebruik makende van de tweede onderzoeksvergadering, waarna er gekeken wordt of deze nummerplaten detecteerbaar zijn met de Raspberry Pi, en dit een acceptabele foutratio oplevert.

A.4 Verwachte resultaten

Uit de studie naar privacy en GDPR wordt verwacht dat afbeeldingen opslaan van de nummerplaatdetectie niet toegestaan zal zijn zonder expliciete toestemming van de bezoekers. Aangezien afbeeldingen opslaan geen must is, zal nummerplaatdetectie een haalbare technologie zijn. Uit het literatuuronderzoek naar maatregelen omtrent nummerplaatdetectie wordt verwacht dat een groot aantal variabelen invloed hebben op nummerplaatdetectie, dit zijn cameraplaatsing, camerainstellingen, softwareinstellingen en meer. Voor het onderzoek naar nummerplaatdetectie wordt verwacht dat 5.6% van de inlezingen foutief zijn. Deze marge wordt genomen uit het onderzoek van Figuerola e.a. (2016) waar men in optimale omstandigheden 94.4% nauwkeurigheid gehaald heeft met gelijkaardige technologieën. Ook zal blijken dat instellingen van de Pi-Cam cruciaal zijn om een degelijk resultaat te kunnen behalen (Gurney, Rhead, Lyons & Ramalingam, 2013).

A.5 Verwachte conclusies

Indien de testresultaten van de nummerplaatdetectie hoog genoeg zijn en deze duidelijke voordelen heeft tegenover andere technieken, mogen we concluderen dat dit een haalbare toegangstechniek is voor de parking bij de UGent. Aangezien een detectie van 100% vermoedelijk niet gehaald zal worden, zal worden aanbevolen om het huidige systeem met tokens te behouden in als backup.

B. R Code voor analyse per foto

```
# Show overview per picture

# Load data
library(readr)
library(data.table)
alpr <- read_csv("Documents/Bachelorproef-HoGent/alpr/alpr2.csv")
alpr$correct <- (!is.na(alpr$result) & alpr$license_plate == alpr$result)

# Evaluate data per exit
subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "coupure-kruisboogstraat") , ]
kruis <- table(subalpr$correct)

subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "coupure-coupurelinks") , ]
coup <- table(subalpr$correct)

subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "sterre-galglaan") , ]
galg <- table(subalpr$correct)

subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "sterre-depintelaan4") , ]
pint <- table(subalpr$correct)

# Create an overview table
tab <- rbind(kruis , coup , galg , pint)
tab <- addmargins(tab)
tab <- cbind(tab , (tab[,2]/tab[,3]))
colnames(tab) <- c("Incorrect" , "Correct" , "Totaal" , "Ratio")
rownames(tab) <- c("Campus Coupure – Uitgang Kruisboogstraat" ,
"Campus Sterre – Uitgang Galglaan" ,
```

```
"Campus Sterre – Uitgang De Pintelaan",  
"Totaal")
```

```
tab
```

C. R Code voor analyse per auto

```
# Show overview per picture

# Load data
library(readr)
library(data.table)
alpr <- read_csv("Documents/Bachelorproef-HoGent/alpr/alpr2.csv")
alpr$correct <- (!is.na(alpr$result) & alpr$license_plate == alpr$result)

# Evaluate data per exit
subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "coupure-kruisboogstraat"), ]
tab <- data.frame(subalpr$license_plate, subalpr$correct)
t <- setNames(aggregate(
  tab[,2],
  list(tab$subalpr.license_plate),
  function(x) sum(x) > 0), c("car", "one_correct"))
kruis <- table(t[,2])

subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "sterre-galglaan"), ]
tab <- data.frame(subalpr$license_plate, subalpr$correct)
t <- setNames(aggregate(
  tab[,2],
  list(tab$subalpr.license_plate),
  function(x) sum(x) > 0), c("car", "one_correct"))
galg <- table(t[,2])

subalpr <- alpr[ which(alpr$location == "sterre-depintelaan4"), ]
tab <- data.frame(subalpr$license_plate, subalpr$correct)
t <- setNames(aggregate(
```

```
tab[,2],  
list(tab$subalpr.license_plate),  
function(x) sum(x) > 0), c("car", "one_correct"))  
pint <- table(t[,2])  
  
# Create an overview table  
tab <- rbind(kruis, galg, pint)  
tab <- addmargins(tab)  
tab <- cbind(tab, (tab[,2]/tab[,3]))  
colnames(tab) <- c("Incorrect", "Correct", "Totaal", "Ratio")  
rownames(tab) <- c("Campus Coupure – Uitgang Kruisboogstraat",  
"Campus Sterre – Uitgang Galglaan",  
"Campus Sterre – Uitgang De Pintelaan",  
"Totaal")  
tab
```

Bibliografie

- arrieta-Rodriguez, E., Murillo, L., Arnedo, M., Caicedo, A. & Fuentes, M. (2019). Prototype for identification of vehicle plates and character recognition implemented in Raspberry pi. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Deel 519, p. 012028). IOP Publishing.
- Autoriteit-Persoonsgegevens. (2019). Grondslag gerechtvaardigd belang. Verkregen 25 november 2019, van <https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/algemene-informatie-avg/mag-u-persoonsgegevens-verwerken#wanneer-mag-u-zich-baseren-op-de-grondslag-gerechtvaardigd-belang-6330>
- Axis-Communications. (2019). License plate capture: Key factors for successful license plate recognition. Verkregen 15 oktober 2019, van https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_license_plate_capture_73350_en_1906_hi.pdf
- Azam, S. & Islam, M. M. (2016). Automatic license plate detection in hazardous condition. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 36, 172–186.
- Buhus, E. R., Timis, D. & Apatean, A. (2016). Automatic parking access using openalpr on raspberry pi3. *Acta Technica Napocensis*, 57(3), 10.
- DE PAUW, E., DANIELS, S., BRIJS, T., HERMANS, E. & WETS, G. (2014). Snelheidscamera's en trajectcontrole op Vlaamse autosnelwegen. Evaluatie van het effect op snelheidsgedrag en verkeersveiligheid.
- easy-basic-photography. (2019). Camera exposure basics: shutter speeds, aperture, f stops and iso. Verkregen 17 oktober 2019, van <http://www.easybasicphotography.com/camera-exposure-basics.html>
- European-Data-Protection-Board. (2019). Guidelines 3/2019 on processing of personal data through video devices. Verkregen 25 november 2019, van https://edpb.europa.eu/sites/edpb/files/consultation/edpb_guidelines_201903_videosurveillance.pdf
- Figuerola, C., Lanka, S., Shah, U. & Tromhauser, M. (2016). Automated Parking Garage Payment System.

- Gegevensbeschermingsautoriteit. (2019). Camera's en privacy: Videoparlofoon. Verkregen 17 oktober 2019, van <https://www.gegevensbeschermingsautoriteit.be/node/17286>
- Goddard, M. (2017). The EU General Data Protection Regulation (GDPR): European regulation that has a global impact. *International Journal of Market Research*, 59(6), 703–705.
- Google-Earth. (2019). Satellietafbeelding van de parking van UGent. Verkregen 28 november 2019, van https://edpb.europa.eu/sites/edpb/files/consultation/edpb_guidelines_201903_videosurveillance.pdf
- Gurney, R., Rhead, M., Lyons, V. & Ramalingam, S. (2013). The effect of ANPR camera settings on system performance.
- Li, X. & Ranga, U. K. (2009). Design and implementation of a digital parking lot management system. *Technol. Interface J*, 10.
- OpenALPR-Software-Solutions. (2015). OpenALPR Pattern Matching Documentation. Verkregen 24 oktober 2019, van <https://github.com/openalpr/openalpr/wiki/Pattern-Matching>
- OpenALPR-Software-Solutions. (2019a). OpenALPR benchmarks. Verkregen 24 oktober 2019, van <https://www.openalpr.com/benchmarks.html>
- OpenALPR-Software-Solutions. (2019b). OpenALPR Documentation. Verkregen 8 oktober 2019, van http://doc.openalpr.com/camera_placement.html
- OpenALPR-Software-Solutions. (2019c). OpenALPR Github Page. Verkregen 1 oktober 2019, van <https://github.com/openalpr/openalpr>
- Pala, Z. & Inanc, N. (2007). Smart parking applications using RFID technology. In *2007 1st Annual RFID Eurasia* (pp. 1–3). IEEE.
- UK-Parliament. (2011). The history of ANPR. Verkregen 27 september 2019, van <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Raspberry-Pi-Foundation. (2019a). Pi NoIR Camera V2. Verkregen 1 oktober 2019, van <https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera-v2/>
- Raspberry-Pi-Foundation. (2019b). Raspberry Pi 3 Model B+. Verkregen 1 oktober 2019, van <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- SecureDataService, N. V. (2018). EU algemene verordening gegevensbescherming. Verkregen 17 oktober 2019, van <http://www.privacy-regulation.eu/nl/index.htm>
- STAATSBBLAD, B. (2007). Wet tot regeling van de plaatsing en het gebruik van bewakingscamera's. *Belgisch Staatsblad*, 31.