

# Time Is Running Out

Assessing Temporal Privacy of Privacy Zones in Fitness Tracking Social Networks

**Wout DELEU**

Promotor: Prof. dr. ir. Stijn Volckaert

Begeleiders: Ing. Karel Dhondt,  
Ing. Alicia Andries  
Ing. Jonas Vinck

Masterproef ingediend tot het behalen van  
de graad van master of Science in de  
industriële wetenschappen: Elektronica/ICT  
Optie Smart Applications

Academiejaar 2022-2023

©Copyright KU Leuven

Deze masterproef is een examendocument dat niet werd gecorrigeerd voor eventuele vastgestelde fouten.

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Technologicampus Gent, Gebroeders De Smetstraat 1, B-9000 Gent, +32 92 65 86 10 of via e-mail [iiw.gent@kuleuven.be](mailto:iiw.gent@kuleuven.be).

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

# Voorwoord

Ik had graag eerst en vooral mijn ouders bedankt voor het financieren van mijn studies, en de ondersteuning gekregen in de periode. Daarnaast had ik graag Karel Dhondt, Stijn Volckaert, Alicia Andries en Jonas Vinck bedankt voor hun hulp en ondersteuning tijdens het schrijven van deze scriptie. Daarnaast in het bijzonder had ik ook graag Thomas Gruyaert bedankt, die tijdens het werken aan zijn eigen thesis ook een enorm grote hulp was. Als laatste had ik ook graag enkele van mijn kotgenoten bedankt voor de nodige afleiding tijdens de stressvolle perioden gedurende het academiejaar. In het bijzonder Angelo Pattyn en Jakob Sabbe, die zelf ook aan hun thesis werkten! Ook Sam Boeve, voor de erg hulpvolle adviezen gedurende het proces.

# Samenvatting

In een maatschappij waar sociale media alom aanwezig is, zijn de privacybezorgdheden hier rond evenzeer erg actueel. Bij het ontwikkelen van applicaties moeten privacywetgevingen en -bezorgdheden in acht genomen worden. Maar dit neemt niet weg dat in heel wat applicaties nog gaten te vinden zijn in het privacybeleid. In deze scriptie wordt de focus gelegd op het beleid binnen de fitness-trackers. Dit zijn platformen met als doel gegevens (die betrekking hebben op sportactiviteiten) op te slaan en weer te geven voor andere gebruikers. Dit zijn gegevens zoals hartslag, Global Positioning System (gps)-locaties, . . . . Sommige van deze gegevens kunnen mogelijks ongewenste informatie bevatten of vrijgeven. De focus van deze thesis ligt op het uitbuiten van deze mogelijks schadelijke informatie, met de nadruk op gps-locaties en andere gps-gerelateerde data. Het grootste gevaar van het delen van deze locaties is het vrijgeven van locaties die je liever niet deelt met de buitenwereld, zoals bv. een woonplaats.

Heel wat van deze platformen zijn zich bewust van de mogelijke gevaren gaan op gelijkaardige manieren te werk om de privacy van de gebruiker proberen te garanderen. Dit komt echter met een prijs, namelijk van gebruiksvriendelijkheid. Volgens het perspectief van developers wordt de trade-off tussen privacy en gebruiksvriendelijkheid constant gemaakt. Op de meest platformen zoals Strava, Garmin, . . . worden gelijkaardige privacy features geïmplementeerd. Dit zijn features zoals het verbergen van activiteiten voor andere gebruikers, of enkel activiteiten weergeven voor je volgers. Maar een ander veelgebruikte techniek is gekend als het implementeren van *EPZ's* (Endpoint Privacy Zone).

Een *EPZ* is een cirkel of polygoon opgezet rond een gevoelig coördinaat. De focus zal hier gelegd worden op het gebruik van cirkels, omdat deze het meest gebruikt worden. Deze cirkels worden opgesteld rond de gevoelige locatie, met een radius gekozen door de gebruiker. Het centrum van de EPZ zal een willekeurig punt zijn in de buurt van de locatie in kwestie. Deze kan niet verder dan 70% van de radius verwijderd zijn van de gevoelige locatie. Elk stuk van het afgelegde traject dat binnen deze zone ligt zal worden verborgen worden voor de andere gebruikers.

Het verbergen van delen van de route is echter geen waterdichte implementatie. Want bij het verbergen van deze gps-locaties, worden bijhorende gegevens niet aangepast of mee verborgen.

Bijvoorbeeld wordt de totale afgelegde afstand hieraan niet aangepast. Gedurende deze implementatie is het doel om de gevoelige locatie te achterhalen. Voorafgaand onderzoek toonde aan dat dit mogelijk is door het gebruik van de totale duur en totale afgelegde afstanden van de activiteiten, in combinatie met het stratenplan van het gebied. Dit soort aanvallen worden *inference attacks* genoemd. De afstand afgelegd binnenin de EPZ kan worden afgeleid met behulp van de totale afstand en de afstand afgelegd buiten de EPZ (de zichtbare afstand). De afstand binnenin de EPZ kan worden gemapt op het stratenplan, om zo alle mogelijke routes te bekomen die de gebruiker kan afgelegd hebben binnenin de EPZ. Wanneer voor alle activiteiten die voor deze gebruiker ter beschikking zijn dit mechanisme wordt toegepast, zal in het slechtste geval slechts één punt overblijven, doordat geleidelijk aan punten zullen worden kunnen geschraapt omdat deze niet voor alle activiteiten een mogelijk eindpunt zullen zijn. Dit punt is dan de gevoelige locatie.

In deze thesis wordt onderzoek gedaan naar mogelijke implementaties van dergelijke inferentie-aanvallen, met andere gegevens dan de totale afstand als basis. De focus zal hier liggen op snelheid en tempo van de activiteiten, in combinatie met gps-punten. Deze gevolgde methode bestaat uit drie delen. In de eerste stap zullen de gemiddelde snelheid en de totale duur worden gebruikt om de totale afstand te berekenen. Ten tweede zullen de GPS-punten gebruikt worden om de afgelegde afstand buiten de Endpoint Privacy Zone (EPZ) te berekenen. Om dit effectief te doen, moeten smoothing- en map-matchingstrategieën uitgetest worden om de best mogelijke resultaten te verkrijgen. Deze twee berekende waarden kunnen in de derde stap worden gebruikt om de interferentie-aanval uit te voeren. De resultaten van deze aanval zullen worden vergeleken met de resultaten van eerdere implementaties van dit soort aanval.

Deze methodiek kan in vele gevallen succesvol worden uitgevoerd. Met de juiste afstemming van de parameters van het smoothing-algoritme kan een succespercentage van 75% worden bereikt. Dit is lager dan eerdere implementaties van deze aanval, wat logisch is vanwege het type gegevens dat wordt gebruikt. Voornamelijk de GPS-locaties die niet altijd even nauwkeurig zijn. Doordat er zoveel punten nodig zijn resulteren kleine afwijkingen op elk punt in een grote afwijking op de berekende afstand. Maar de belangrijkste conclusie is dat deze aanval mogelijk is, met een aanzienlijke kans op succes.

**Keywords:** fitness-trackers, privacy, endpoint privacy zone, gps-locaties, inference attack, snelheid

# Abstract

In a society where social media is so vastly present, the privacy concerns around them are more relevant than ever. While developing applications, privacy laws and concerns must be taken into account. But this does not mean all these platforms are bulletproof. In a lot of applications it is still possible to find loopholes in the system, with the possibility of rather unpleasant consequences. During this thesis, the main focus will be on the privacy policies of fitness trackers. Fitness trackers are platforms which store and display data related to sport activities. These can be shared with other users, to show your achievements, and possibly motivating others to exercise as well. This data may include heart rate, GPS-locations, . . . . Some pieces could potentially be more harmful than others. The focus of this thesis will be on the harmful abilities gotten from GPS-locations and GPS-related data (like speed, distance, . . .). The main concern about sharing these locations, is potentially sharing locations you would rather keep private. For example your home location. Sharing all the GPS-locations of your activities could leak this location.

Most of these kind of social media platforms are aware of this danger and implement a series of countermeasures to prevent leaking this sensitive information. This comes however with a cost, namely the user experience. In the perspective of the developers of the fitness trackers, a trade-off is consistently being made between privacy and user experience. On most platforms like Strava, Garmin, . . . , similar basic privacy features are implemented. These are features like hiding activities, or only sharing activities with your followers. But another much-used countermeasure is a mechanism known as an *EPZ* (Endpoint Privacy Zone).

An *EPZ* is a circle or polygon drawn around a certain sensitive location. The main focus will be on circular zones, because they are used the most and they are the most straightforward to bypass. These circles will be drawn using a radius chosen by the user, and a center which is a random point in the area of around the sensitive location. This center can't be further than 70% of the radius away from this sensitive location. When this zone is generated, the end and beginning of the trajectory followed will be hidden which pass through this zone will be hidden for other users.

This implementation of hiding parts of the track, is not a bulletproof system. While hiding these parts, other useful information is not being hidden or adapted to this sort of cloaking. During this

thesis, the goal is to retrieve sensitive location. This can be achieved by using the total times and distances of the activities. Previous research showed that it is possible to retrieve sensitive locations using the total distance combined with the street map of the area. These attacks are called *inference attacks*. The distance traveled inside the EPZ can be inferred using the total distance given by the activity, and the distance traveled outside of the EPZ (this is the visible distance on the map). Using the distance traveled inside of the EPZ, a route can be constructed and mapped onto the streetplan. If all the possible routes are considered, multiple possible locations are found. If this is repeated for different activities, with different points where the EPZ is being entered, there will (in the best case) only one point remain. This would then be the sensitive location.

During this thesis, a research is being held on the possibilities of such inference attacks using other data as a base rather than distance. The main focus will be on the speed and tempo of the activities, in combination with the GPS-locations. This method will consist of three parts. First, the average speed and the total duration will be used to calculate the total distance. Second, the GPS-points will be used to calculate the distance traveled outside of the EPZ. In order to do this effectively, smoothing and map snapping strategies need to be tested out to get the best possible results. These two values can be used in the third step to execute the interference attack. The results of this attack will be compared with the results of the previous implementations of this sort of attack.

This attack is successful in some cases. With the correct tuning of the parameters of the smoothing algorithm, a succes rate of 75% can be achieved. This is lower than previous implementations of this attack, which is logical because of the type of data that is being used. Especially the GPS-locations which are not always as accurate. And because there are so many points needed small deviations on every point result in a large deviation on the calculated distance. But the main conclusion is that this attack is possible, with a significant succes rate.

**Keywords:** fitness-trackers, privacy, endpoint privacy zone, gps-locations, inference attack, speed

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>iii</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Inhoud</b>	<b>ix</b>
<b>Figurenlijst</b>	<b>x</b>
<b>Tabellenlijst</b>	<b>xi</b>
<b>Lijst met afkortingen</b>	<b>xii</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Situering . . . . .	1
1.2 Doelstelling . . . . .	2
<b>2 Achtergrond</b>	<b>4</b>
2.1 Fitnesstrackers . . . . .	4



---

2.1.1	Activiteiten . . . . .	4
2.1.2	Berekening Afstanden . . . . .	6
2.1.3	Algemeen Privacybeleid . . . . .	9
2.2	Endpoint Privacy Zones . . . . .	10
2.3	Literatuur . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Setting aanval</b>	<b>14</b>
3.1	Aanvaller . . . . .	14
3.2	Inferentie aanval . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>18</b>
<b>A</b>	<b>Uitleg over de appendices</b>	<b>22</b>

# Lijst van figuren

1.1	Voorbeeldactiviteit Strava . . . . .	2
2.1	Verschil snelheid en tempo . . . . .	6
2.2	Data van een activiteit . . . . .	7
2.3	Voorbeeld van de werking van <i>Map Snapping</i> . . . . .	9
2.4	Voorbeeld Data smoothing with moving average . . . . .	9
2.5	Voorbeeld van de werking van een EPZ . . . . .	11
2.6	Voorbeeld translatie EPZ . . . . .	12
2.7	Voorbeeld filtering van punten binnen EPZ . . . . .	12
2.8	Mechanisme EPZ beschreven door Wajih Ul Hassan . . . . .	13

## Lijst van tabellen

4.1	Attack with given Outer Distance . . . . .	16
4.2	Attack result with different smoothing window sizes . . . . .	17

# Lijst van afkortingen

**EPZ** Endpoint Privacy Zone

**gps** Global Positioning System

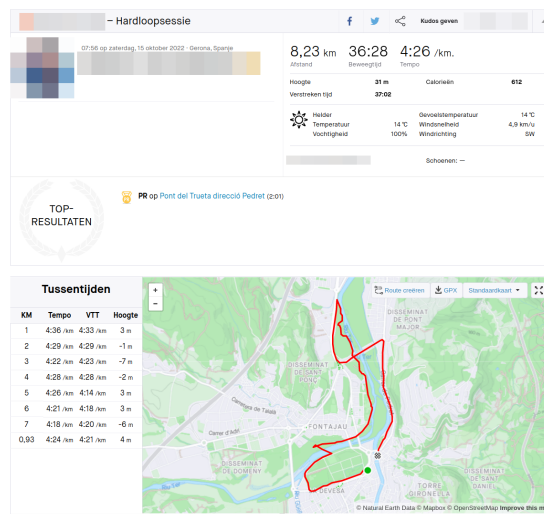
# Hoofdstuk 1

## Inleiding

### 1.1 Situering

Sociale media is zo goed als niet meer weg te denken uit het huidige moderne leven. Over de jaren heen zijn er verschillende definities gegeven. In het werk van Howard en Park wordt sociale media gedefinieerd als de infrastructuur en tools om content te maken en te verspreiden[10]. Deze definitie is erg ruim, en vertakt zich dus in heel wat facetten, waaronder sociale netwerken, media sharing networks, etc. Maar ook de fitnesstrackers. Deze opkomst van nieuwe media brengt echter ook onbedoelde maar significante privacy bezorgdheden met zich mee.

De focus in deze dissertatie ligt op privacy binnen fitnesstrackers, meer specifiek platformen die gps-locaties gebruiken, zoals Strava, Nike Run Club, etc. Dit zijn platformen waar personen sportactiviteiten zoals lopen, fietsen, wandelen, . . . kunnen delen met elkaar. Het algemene concept is hierbij dat wanneer je een sportactiviteit uitvoert, je deze voor je volgers en vrienden beschikbaar maakt. De sportactiviteiten zullen natuurlijk bepaalde gegevens bevatten die zichtbaar zijn voor die andere gebruikers, Figuur 1.1 geeft bijvoorbeeld weer hoe Strava de afstand, bewegingstijd, en natuurlijk de gps-locaties deelt. Vele van deze gegevens hebben direct of indirect een negatieve impact op de privacy van de user. Deze negatieve gevolgen komen dan vooral in de vorm van het onbedoeld vrijgeven van *gevoelige locaties*. Onder het concept van een gevoelige locatie vallen heel wat beschrijvingen. Een algemene beschrijving kan zijn, een locatie die geografische informatie deelt die negatieve gevolgen kan hebben, en die je dus liever niet deelt. In het kader van dit onderzoek, zal dit dan gaan over start en eindlocaties van activiteiten. Dit kan gaan over woonplaatsen, wat kan leiden tot o.a. stalking. Alsook locaties waar sportmateriaal wordt opgeborgen. Er zijn gevallen bekend van fietsdieven die Strava gebruiken om fietsen te kunnen lokaliseren[21][2]. Grootschaligere voorbeelden die zeker het vermelden waard zijn, zijn de gevallen waarbij geheime militaire basissen ontdekt worden door het bestuderen van de heatmap[9].



**Figuur 1.1:** Voorbeeldactiviteit Strava

Deze platformen implementeren elk manieren om de privacy van de users te verbeteren. De meest eenvoudige te bedenken is misschien wel de mogelijkheid om activiteiten te verbergen voor een selectie van personen (bv. iedereen die geen volger is). Zo kunnen enkel de mensen die de gebruiker expliciet toelaat activiteiten bekijken. Een complexer alternatief is het gebruik van EPZ's. Hierbij wordt de weergegeven route voor de persoon die meekijkt gedeeltelijk verborgen. Er wordt als het ware een deel van de route afgekapd. De echte begin- en eindpunten zullen binnenin het afgekapte deel liggen. Er zullen nieuwe punten worden gegenereerd worden, op de rand van de cirkel, die voor de externe waarnemer het begin en einde zullen voorstellen. Het begin- en einddeel van de route wordt dus onzichtbaar voor de andere gebruikers. Door de aanwezigheid van al deze pogingen tot privacyverbeteringen valt op dat de ontwikkelaars van de platformen erg bewust zijn van de mogelijke gevaren. Echter is er een afweging te maken bij de implementatie tussen de bruikbaarheid van het platform, en de privacy van de eindgebruiker. Hoe meer data wordt vrijgegeven, hoe groter de kans om mogelijk gevoelige info wordt meegegeven. Aan de andere kant, bij het weglaten van informatie gaat de gebruiksvriendelijkheid en de aanwezigheid van nuttige data van het platform serieus achteruit.

## 1.2 Doelstelling

In dit onderzoek bekijken we of er een mogelijkheid bestaat om private locaties (verborgen start- en eindlocaties) van een activiteiten te achterhalen, ondanks het gebruik van de EPZ 2.2 als privacy beveiligingsmechanisme. In het verleden werden enkele manieren beschreven om a.d.h.v. andere metadata zoals hoogtedata en afstanden de EPZ te omzeilen ([5],[22]). Gedurende deze thesis wordt meer in detail gegaan op het gebruik van snelheidsdata. Als basis voor deze aanval wordt de inferentie aanval op de EPZ van Dhondt et al. genomen. Er wordt dan onderzocht of deze

aanval nog steeds mogelijk is bij het weglaten van bepaalde gegevens, en dus door het gebruik van andere gegevens. De focus ligt in deze studie voornamelijk op snelheidsdata.

Om deze doelstelling te bekomen is eerst een berekeningsmechanisme nodig voor de afstanden die nodig zijn om de inferentie-aanval te kunnen uitvoeren. Daarna moet een analyse uitgevoerd worden tussen de berekende afstanden, en de waarden afgeleid volgens de berekeningen van Dhondt et al.. Zo kan de effectiviteit van de aanval a priori worden geschat. Er is een analyse van de beschikbare data, en een bespreking en reflectie over de resultaten van de aanval.

## Hoofdstuk 2

# Achtergrond

### 2.1 Fitnesstrackers

Zoals al enkele malen werd aangehaald, ligt de focus van deze scriptie op mogelijke tekortkomingen/vulnerabiliteiten betreffende privacybeleid in fitnesstrackers. Maar voordat een aanval op basis van deze kwetsbaarheden kan opgezet worden, is het noodzakelijk om een te vat te krijgen op welke manier een fitnesstracker info verzamelt en weergeeft. En meer precies, hoe de mechanismen die de privacy voorzien voor de gebruikers in detail werken.

De data waarmee de aanval wordt opgezet en waarmee wordt geëxperimenteerd, is afkomstig van de populaire fitnesstracker *Strava*<sup>1</sup>. Dit is een sociaal netwerk, waarbij alle soorten sporters hun activiteiten kunnen delen. Dit gaat over lopen, wandelen, fietsen, zwemmen, . . . , maar ook sporten als fitnessen, voetballen, . . . De verzamelde data wordt volgens het perspectief van een mogelijke aanval gefilterd. Enkel data die gevoelige informatie met betrekking tot woonplaats zou kunnen vrijgeven wordt behouden. Dit zal er dus op neerkomen dat enkel activiteiten die relevante gps-informatie bevatten in beschouwing worden genomen. Dit gaat dan meer specifiek over *runs, hikes, walks, and rides*.

#### 2.1.1 Activiteiten

Een Strava activiteit bevat erg veel informatie. Echter is niet alles even bruikbaar. Een correcte abstractie van de onnodige data is dus nodig. Figuur 2.2 geeft een voorbeeld van een gedetailleerde activiteit weer. Een gebruiker is in staat om de activiteit een titel te geven, en er een korte

---

<sup>1</sup><https://www.strava.com/>



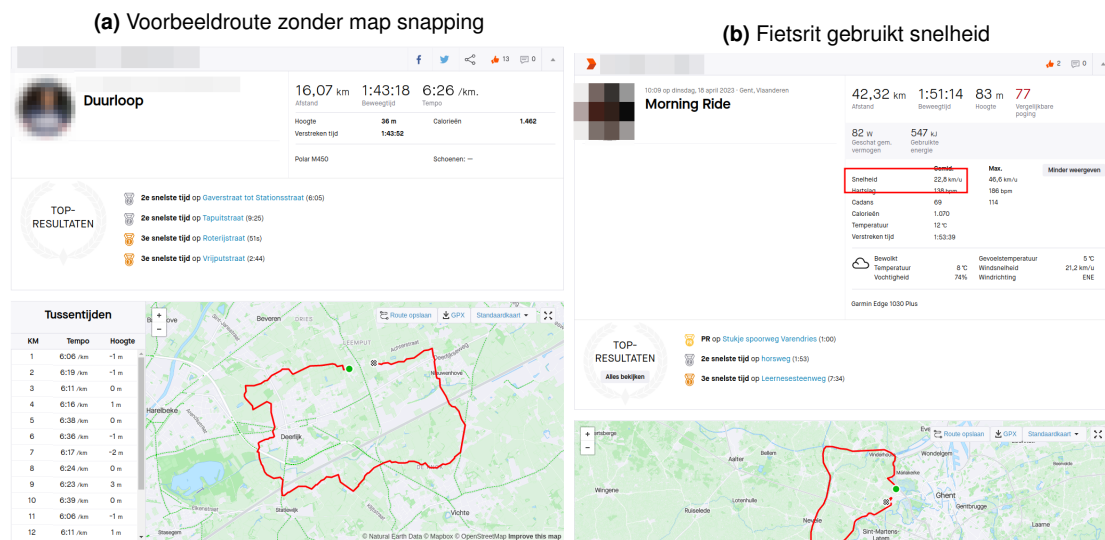
beschrijving aan toe te voegen. Ook een foto kan optioneel toegevoegd worden. De exacte datum en tijd van de start van de activiteit wordt hierbij ook weergegeven.

Rechts daarvan zijn de algemene basisstatistieken te zien. Deze zijn de totale afgelegde afstand, de totale bewegingstijd, de gemiddelde snelheid of het gemiddelde tempo, het totale hoogteverschil, de totale verstreken tijden, en het aantal calorieën verbrand. Als extra kunnen hier enkele statistieken m.b.t. het gebruikte materiaal, zoals type fiets, loopschoenen, hartslagmeter, enzovoort worden weergegeven. Een belangrijk onderscheid in deze context is het verschil tussen de beweegtijd en de verstreken tijd. Deze twee lijken in definitie gelijk, maar dit zijn ze niet. Strava, en vaak fitnessplatformen in het algemeen werken met twee verschillende soorten tijdsberekeningen voor het bekomen van een accuratere gemiddelde snelheid of tempo. De verstreken tijd is simpelweg het tijdsinterval tussen het vertrek van de activiteit en de aankomsttijd ervan. De bewegingstijd is de tijd waarbij de gebruiker zich effectief bewoog. Met andere woorden worden de tijden waarbij de gebruiker stilstond uit de verstreken tijd gefilterd. Dit kan gaan over bijvoorbeeld een pauze, of het wachten voor een verkeerslicht.

Er is een verschil bij fietsactiviteiten en wandelactiviteiten in hun weergave. In het geval van een fietsactiviteit wordt *snelheid* weergegeven, en in het geval van een wandel- of loopactiviteit wordt *tempo* weergegeven, zoals te zien is op Figuur 2.1. Deze worden beide berekend aan de hand van de bewegingstijd. Een kanttekening hierbij is dat dit enkel geldt voor activiteiten die niet gelabeld zijn als *race*, in dat geval wordt de snelheid berekend in functie van de totaal verstreken tijd [17]. Het verschil tussen deze twee is dat de snelheid wordt berekend volgens de formule  $v = \frac{d}{t}$ . De eenheid van snelheid is dan ook  $\frac{m}{s}$  of, in het geval van fitnesstrackers,  $\frac{km}{h}$ . Het tempo wordt berekend volgens de formule  $tempo(\frac{min}{km}) = \frac{t(min)}{d(km)}$ . De eenheid van tempo is  $\frac{min}{km}$ . Om deze berekeningen wat te standaardiseren, werd gedurende deze thesis gekozen om altijd de omrekening te maken naar tempo  $\frac{min}{km}$ , om zo over de volledige lijn met dezelfde standaard te werken.

Onder de basisstatistieken zijn de *Strava-segmenten* te zien. Een Strava-segment is een specifiek deel van een bepaalde route dat door gebruikers van de sport-app kan worden gemarkeerd, gedeeld en vergeleken met andere gebruikers. Het segment is een bepaalde afstand en route, bijvoorbeeld een klim of afdaling, die vaak wordt beschouwd als een uitdagende of iconische sectie van een bepaalde fiets- of hardlooperoute. Gebruikers van Strava kunnen een segment maken door de begin- en eindpunten op een kaart aan te geven en een naam en beschrijving toe te voegen. Zodra het segment is gemaakt, kunnen andere gebruikers het segment vinden en deelnemen aan een leaderboard, waarop de snelste tijden worden bijgehouden en vergeleken met andere gebruikers. Segmenten worden vaak gebruikt om prestaties te meten en te vergelijken.

Centraal op de figuur is ook de kaart duidelijk zichtbaar. Daarbij horen ook de tussentijden en de grafiek van snelheid. Optioneel kan hierbij ook nog een visualisatie van de afgelegde hoogte en de hartslag worden weergegeven, indien de gebruiker hiervoor met de juiste meetinstrumenten zijn sportactiviteit opneemt. De tussentijden en de grafiek van snelheid zijn qua inhoud gelijkaardig,



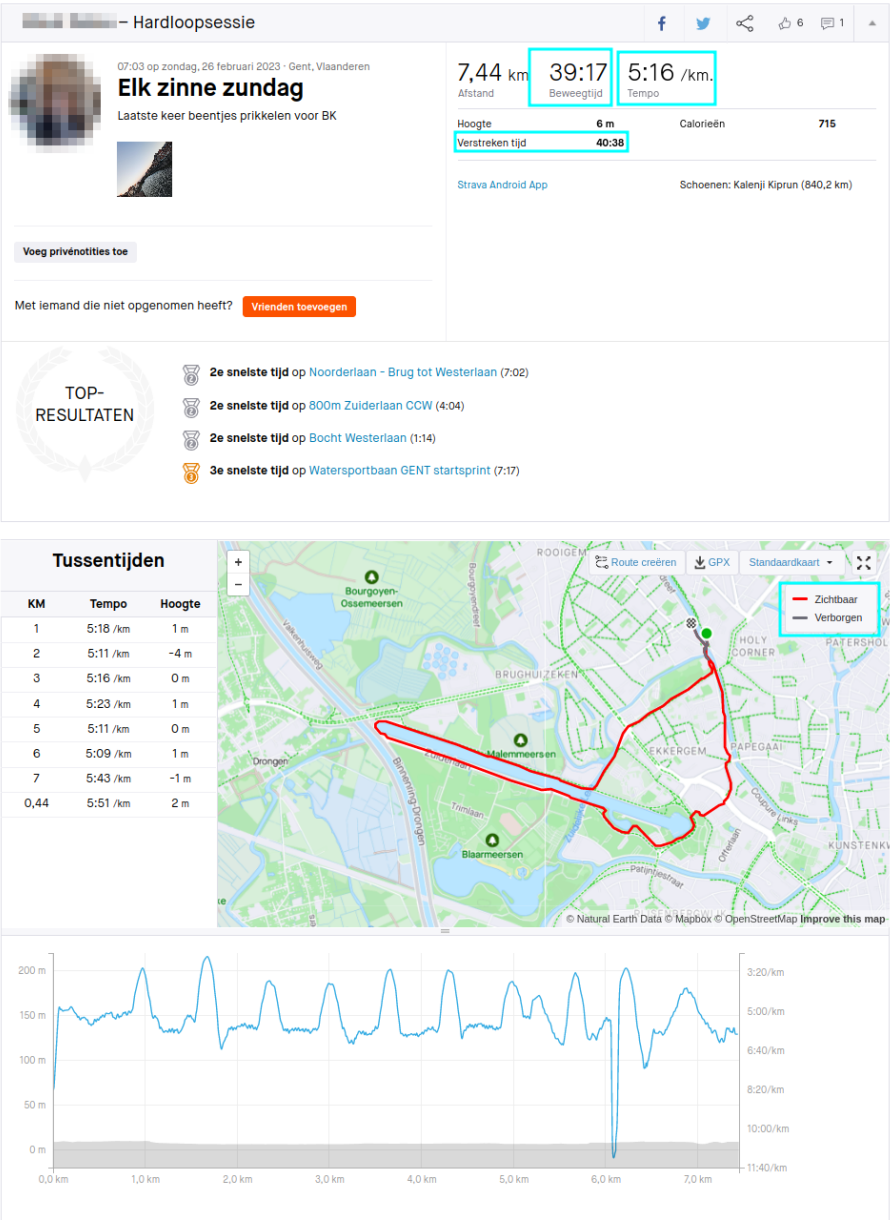
**Figuur 2.1:** Verschil snelheid en tempo

met als verschil dat deze erg precies kan worden bestudeerd. Op de grafiek is voor elk afstandspunt de ogenblikkelijke snelheid zichtbaar. Bij de tussentijden wordt de gemiddelde snelheid over een kilometer weergegeven. De kaart die de route weergeeft is zeker ook belangrijk om even te bestuderen. Deze bevat namelijk alle gps-geregistreerde punten, en verbindt deze ook om zo één aaneensluitende route te vormen. Wanneer deze echter in detail bestudeerd wordt, samen met de legende die aanwezig is, is te zien dat de route uit twee delen bestaat, een zichtbaar deel en een onzichtbaar deel. Een andere gebruiker zal enkel zicht hebben op de het zichtbare deel, het onzichtbare deel zal dus voor een andere gebruiker niet zichtbaar zijn. Anders geformuleerd, de activiteit zal voor deze persoon dus als het ware afgekapt zijn, en zal in zijn zichtbare versie op een andere plek starten en eindigen. In de volgende Secties 2.1.3 & 2.2 wordt meer in detail ingegaan op de werking van deze methodiek.

Een laatste kanttekening die hierbij gemaakt moet worden, is dat voor een gebruiker verschillende eenheden mogelijk zijn om uit te kiezen. Er is keuze mogelijk tussen de mijl en pond, en kilometer en kilogram. Gebruikers kiezen in welke eenheid ze de applicatie wensen te gebruiken. Voor de gebruiker in kwestie zal dus de volledige applicatie worden weergegeven in de gekozen eenheden.

## 2.1.2 Berekening Afstanden

Fitnesstrackers krijgen vanuit de buitenwereld ruwe data binnen. Deze data moet dus verwerkt worden vooraleer ze bruikbaar is voor de gebruiker. Er werd al kort ingegaan in Sectie 2.1.1 op de berekening die Strava gebruikt voor de snelheid. Echter is het ook interessant om de berekening



Figuur 2.2: Data van een activiteit

van Strava eens onder de loop te nemen voor de afgelegde afstand. Strava maakt gebruik van twee verschillende methodieken voor het berekenen van deze afstand. De eerste is de *GPS-calculated Distance*. Dit bestaat eruit om de afstand tussen opeenvolgende gps-punten te berekenen, en deze op te tellen. Precisie is hier afhankelijk van de precisie van de gps-punten, aangezien de afstand wordt berekend door de punten met rechte lijnen te verbinden. Dit kan gebeuren in real time, via de gsm, smartwatch of ander toestel die gebruikt wordt om de activiteit op te nemen. Er zal dan ook mogelijkheid zijn om real time info te zien. Op elk punt zal de afstand vanaf het startpunt gekend zijn, en het is deze afstand die gedeeld zal worden op het platform. Het grote nadeel hierbij is het real-time aspect. Fouten kunnen moeilijker on the fly worden gecorrigeerd. Een tweede aanpak is om gps-data pas bij het uploaden te verwerken. De gps-data wordt dan geanalyseerd, en de nodige berekeningen worden uitgevoerd.

Het alternatief voor de GPS-calculated distance is de *Ground Speed Distance* methodiek. Deze afstand kan enkel worden bepaald in het geval van een fietsactiviteit. Deze afstand wordt berekend door het aantal omwentelingen te vermenigvuldigen met de omtrek van het fietswiel [20].

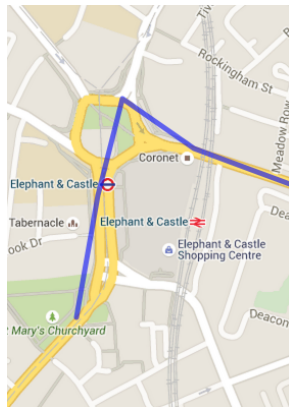
De bovenstaande afstandsberekeningen zijn de 2 technieken die officiële support documentatie van Strava beschrijft [20]. Echter blijkt wanneer de afstand op deze manier manueel berekent worden, afwijkende resultaten bekomen worden. Dit is zeer waarschijnlijk te wijten aan de pre-processing van de data die gebeurt bij het uploaden van een activiteit. Alhoewel dit niet expliciet gedocumenteerd staat doen de resultaten dit wel sterk vermoeden. De hypothese is dat tijdens het uploaden, de afstand herberekend wordt. De gps-punten zullen worden geanalyseerd, en er zullen technieken worden gebruikt om de resultaten hiervan te verbeteren. De twee meest waarschijnlijke technieken zijn *Map Snapping* en *Smoothing*.

Map Snapping of Snap to Roads is een techniek waarbij gps-punten worden verschoven naar de dichtstbijzijnde weg. Per gps-punt wordt dan gezocht naar de dichtste node op de desbetreffende *roadgraph*<sup>2</sup>, op Figuur 2.3 is de werking ervan te zien[4].

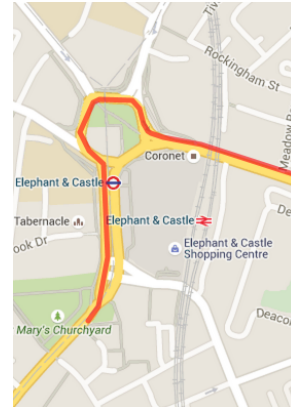
Daarnaast bestaat de kans dat er gebruik gemaakt wordt van smoothing. Smoothing is een proces dat ruwe gps-punten (of datapunten in het algemeen) op een traject probeert te optimaliseren opdat ze een vloeiend 'curve' vormen. Dit wordt bekomen door ruis, schommelingen en onnauwkeurigheden te filteren uit het traject. Hiervoor bestaan verschillende implementaties. Aangezien Strava geen openbare informatie verstrekt over het gebruik van GPS-smoothing, is het niet bekend of ze deze techniek effectief toepassen. Het is dus gissen naar, indien ze deze zouden gebruiken, welke implementatie dan wel gebruikt wordt. De makkelijkste en meest modulaire methode om aan smoothing te doen, is *Smoothing met Moving Average*. Deze methode bestaat eruit om van een aantal punten in een bepaalde range (ook 'window' genoemd) het gemiddelde te nemen, en vervol-

<sup>2</sup>De roadgraph is afhankelijk van welke implementatie gebruikt wordt voor het snappen. Het is een wegennetwerk, omgezet in een graaf, bestaande uit edges en nodes. Elke weg of pad, bevat één of meerdere nodes, zodat een skeletstructuur ontstaat, die een abstractie van het wegennetwerk voorstelt [14]

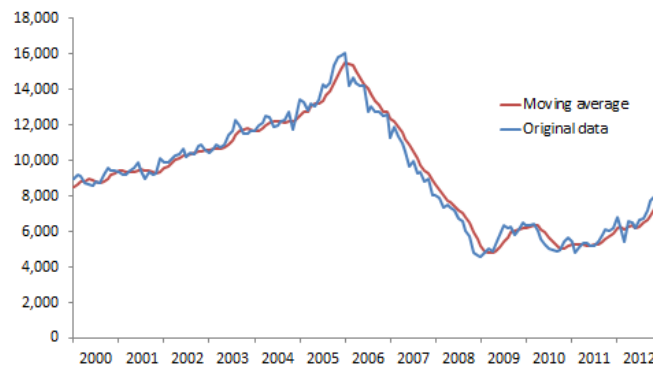
(a) Voorbeeldroute zonder map snapping



(b) Voorbeeldroute met map snapping

**Figuur 2.3:** Voorbeeld van de werking van *Map Snapping*

gens op te schuiven. Het gemiddelde wordt berekend met volgende formule:  $\bar{y}_x = \frac{y_x + y_{x+1} + \dots + y_{x+n}}{x+n}$ , voor punt  $x$ , met  $n$  als window-grootte [7, 8, 13]. Zo kan voor elk punt een evenwichtige waarde op de nieuwe grafiek bekomen worden, en krijgt de grafiek een meer vloeiende vorm. Merk wel op dat de precisie van de route daalt wordt op deze manier. Bij het smoothen van een traject wordt het aantal gebruikte punten namelijk vermindert volgens de grootte van de window. Afhankelijk van de grootte, worden meer (resp. minder) punten samengenomen, en zo minder/meer punten weergegeven op de grafiek. Een voorbeeld is terug te vinden op Figuur 2.4, waarbij de blauwe curve de ruwe data voorstelt, dus voorafgaand op het 'smoothen', en de rode de 'gesmoothe' curve.

**Figuur 2.4:** Voorbeeld Data smoothing with moving average

### 2.1.3 Algemeen Privacybeleid

Het delen van alle data die vervat zit in zo'n activiteit met alle andere gebruikers op het platform, is zeker niet altijd wenselijk. De ontwikkelaars kiezen er dan ook voor om gebruikers de mogelijkheid te geven om hun privacy te bewaren. In deze sectie wordt de focus gelegd op de mechanismen

gebruikt door *Strava*. Als opmerking valt te melden dat in heel wat andere sport-applicaties worden vergelijkbare, zo niet dezelfde methodieken gebruikt. Een eerste algemeen mechanisme bestaat eruit om de gebruiker de keuze te geven om alle activiteiten en alle gegevens over het profiel heen te laten voldoen aan bepaalde privacy regels. Deze regels kunnen ook per activiteit worden ingesteld. Onder de keuzes staan meestal drie opties, *zichtbaar voor iedereen*, *zichtbaar voor volgers* en *zichtbaar voor niemand*. Er kan ook zelf een keuze gemaakt worden om specifieke elementen van een activiteit niet te delen met de buitenwereld, zoals bijvoorbeeld de zichtbaarheid van de route op de kaart.[18]

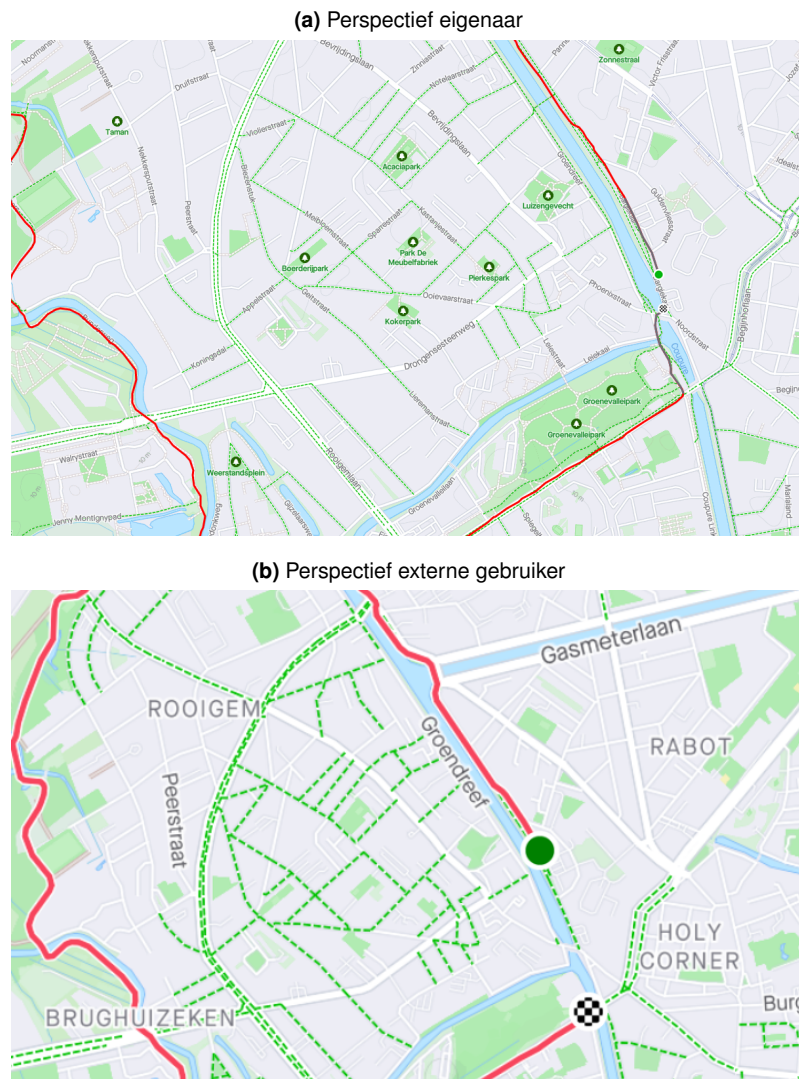
## 2.2 Endpoint Privacy Zones

Een tweede belangrijke maatregel is het gebruik van de EPZ's. Een EPZ is een cirkelzone met een bepaalde straal rond een gps-punt. Het punt in kwestie zal dus de betreffende *gevoelige locatie* zijn. De straal van deze cirkel<sup>3</sup> kan worden gekozen door de gebruiker, en in het geval van *Strava* hebben gebruikers keuze uit waarden van 0 tot 1600m, in stappen van 200m. Wanneer een gebruiker binnen deze zone zijn activiteit beëindigt of begint, dan zal dat deel van de route binnen de EPZ niet zichtbaar zijn voor anderen. Vanuit het perspectief van een andere gebruiker zal de activiteit dus starten en/of eindigen op de rand van deze cirkel (die natuurlijk niet zichtbaar is). Merk op dat een sporter ook andere gevoelige locaties kan verbergen op de kaart. Bijvoorbeeld een frequent bezocht café, of een huis van een partner waar regelmatig een tussenstop plaatsvindt. Een tweede opmerking is dat wanneer een gebruiker de EPZ doorkruist, maar er niet in stopt, dat deel van de route onaangepast blijft. Op Figuur 2.5 zijn de verschillende perspectieven te zien, hoe het er als uploader uit ziet, en hoe het eruit ziet voor een andere gebruiker. Het traject die de buitenstaander te zien krijgt, zijn alle punten die zich buiten de EPZ bevinden. Merk ook op dat de eigenaar van de activiteit zicht heeft op de invloed van de EPZ, dus wat zal verborgen worden erdoor, en wat zichtbaar blijft. Dit onderscheid wordt gemaakt door het verschil in kleur, oranje voor de publiek zichtbare punten en grijs voor de onzichtbare.

De methodiek die fitnesstrackers volgen bij het opzetten van een EPZ werkt als volgt, de gevoelige locatie wordt genomen als beginlocatie. Hieruit zal a.d.h.v. de op voorhand vastgelegde EPZ-straal een cirkel worden opgesteld. Het centrum van deze cirkel zal hierna een translatie ondergaan in een willekeurige richting. Dit kan een verschuiving zijn met een afstand die maximaal 70% van de straal van de EPZ bedraagt. Dit mechanisme is te zien op Figuur 2.6. Het transleren van deze cirkel wordt ook *spatial cloaking* genoemd.

Daarna worden alle punten vertrekkende vanaf de gevoelige locatie tot aan de rand van de EPZ, en vanaf de rand van de EPZ tot aan de gevoelige locatie verwijderd van het zichtbare traject. Merk

<sup>3</sup>Op *Strava* heeft de EPZ de vorm van een cirkel, maar op andere platformen kunnen andere vormen de norm zijn, bv. polygonen.



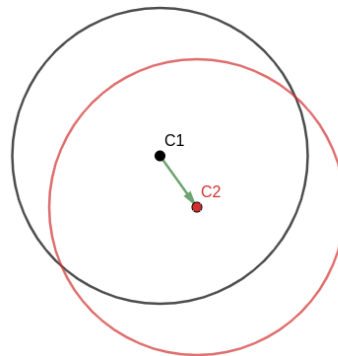
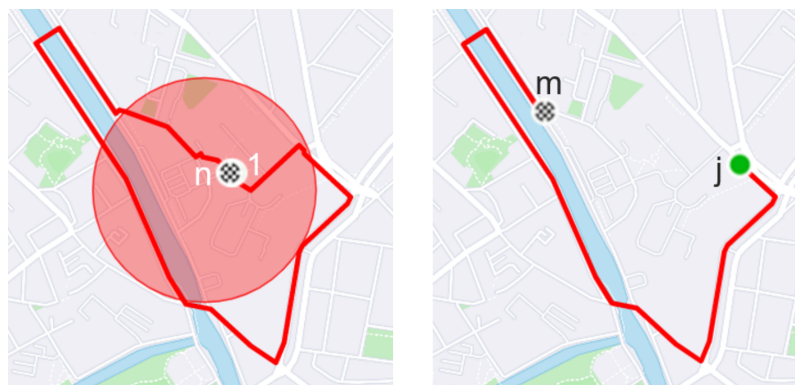
**Figuur 2.5:** Voorbeeld van de werking van een EPZ

op dat punten die de EPZ doorkruisen, maar niet vertrekken of aankomen bij de gevoelige locatie niet worden gefilterd. Een voorbeeld van deze filtering is te zien op Figuur 2.7.

## 2.3 Literatuur

In het verleden is al wat onderzoek verricht in de richting van de doeltreffendheid van EPZ's bij fitnesstrackers. Wajih Ul Hassan beschreef in 2018 een implementatie van EPZ waarbij het centrum van de zone de gevoelige locatie is. M.a.w. het identificeren van deze zone is dus voldoende om de gevoelige locatie te achterhalen[23]. In tegenstelling tot dit onderzoek, wordt ervan uitgegaan dat het centrum geen translatie ondervindt, en er dus geen spatial cloaking wordt toegepast. In deze

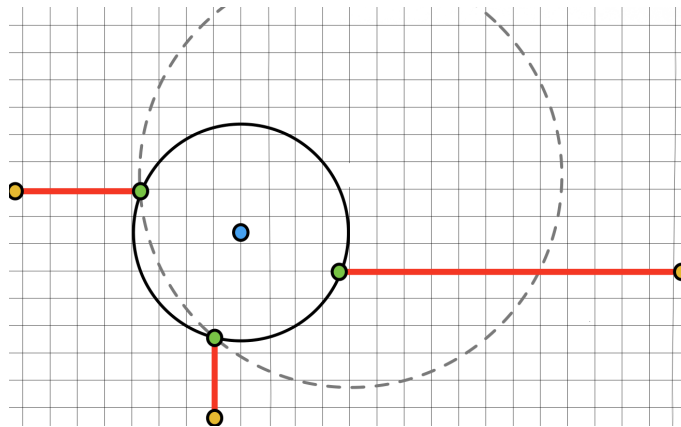


**Figuur 2.6:** Voorbeeld translatie EPZ**Figuur 2.7:** Voorbeeld filtering van punten binnen EPZ

paper wordt gefocust op de reconstructie van de cirkel op basis van 3 punten op de rand, wat te zien is op Figuur 2.8. Deze 3 randpunten worden dus bekomen door begin/eindpunten te nemen van activiteiten, volgens het perspectief van gebruiker die geen eigenaar is. Deze begin/eindpunten zullen zich altijd op de rand van de cirkel begeven. Door het toepassen bekwam Hassan et al. een succes rate tot 95.1 Spatial cloaking werd er aangehaald als mogelijke countermeasure tegen dit soort aanvallen.

Een onderzoek door Mink et al. in 2022 toonde ook aan dat heel wat mensen in staat zijn om de gevoelige locatie te achterhalen op basis van hun intuïtie [12]. Dit gebeurde op basis van enquêtes die werden afgenomen bij gebruikers van het platform. Deelnemers aan de enquête moesten op basis van activiteiten opgenomen door een fitnesstracker, die verhuld waren gebruik makend van spatial cloaking, de startlocatie van een gebruiker proberen te achterhalen. Uit het onderzoek bleek dat 68% van de ondervraagden bij een EPZ-radius van 200m de beschermde locatie tot op 50m nauwkeurig konden voorspellen. Hoe meer activiteiten ter beschikking zijn, hoe effectiever de deelnemers de locatie konden schatten. Deze resultaten op zich zijn alarmerend, en tonen aan dat EPZ's verre van perfect zijn, en ook te omzeilen zijn door een persoon die geen technische achtergrond heeft.





**Figuur 2.8:** Mechanisme EPZ beschreven door Wajih UI Hassan

Dhondt et al. voerde tevens ook een studie in 2022 naar de mogelijke lekken aanwezig in het principe van EPZ's [5]. Er wordt in deze paper een nadruk gelegd op de translatie van de EPZ, en hoe deze de privacy van een gebruiker verhoogt. Een inferentie aanval, wordt er beschreven die gebruikmaakt van de totale afstand, terug te vinden bij de activiteit. Het principe van deze inferentie aanval wordt uitvoerig beschreven in Sectie 3.2. In het kort werkt de aanval als volgt: aan de hand van de totale afgelegde afstand in combinatie met het wegennetwerk in die omgeving, wordt een poging gedaan om alle mogelijke routes die de sporter binnenin de EPZ zou kunnen afgelegd hebben te reconstrueren. Dit gebeurt voor elke activiteit, die ook elk. Wanneer dit gedaan wordt voor verschillende trajecten, kan een locatie voorspeld worden die het meest waarschijnlijk wordt geacht om de gevoelige locatie te zijn.

Deze aanpak toonde aan dat de beschreven countermeasure door Hassan et al. niet feilloos was, en dat deze kan worden omzeilt met een successrate van 85%. Aangezien activiteiten nog steeds totale afstanden van een volledige route vrijgeven, kan de afstand afgelegd binnenin de EPZ geïnfereerd worden. Deze data ligt dan ook aan de grond van de inferentie aanval volgens Dhondt et al.

Het meest recente werk in dit domein is de thesis van Verdonck [22]. Deze thesis bouwt in grote mate verder op de paper van Dhondt et al., maar er wordt alternatieve data gebruikt. Er wordt een onderzoek gedaan in hoeverre de resultaten kunnen worden bekomen door het gebruik van hoogtedata om beschermde locaties te achterhalen. Via de kennis van hoogtedata van het stratenplan kan via de gekende hoogteverschillen een inferentie aanval opgezet worden, die nu geen afstanden maar hoogteverschillen infereert. Op deze manier bekomt Verdonck een succes rate van 36%. Dit lagere succesratio is terug te brengen naar het feit dat hoogtedata een stuk minder precies is. Ook is hoogte toename in heel wat regio's niet zo significant, wat de succesrate niet ten goede komt.

## Hoofdstuk 3

# Setting aanval

Gedurende dit hoofdstuk de setting alsook de werking van de aanval beschreven. De aanval is sterk gebaseerd op de aanvallen van Dhondt et al.[5] en Verdonck[22]. Deze aanvallen worden inferentie-aanvallen genoemd, vanwege het feit dat uit metadata essentiële gegevens kunnen worden geïnfereerd. In het geval van Dhondt et al. gaat dit over afgelegde afstand binnenin de EPZ. In het geval van Verdonck gaat dit dan weer over geïnduceerde hoogteverschillen binnen de privacy zone.

### 3.1 Aanvaller

Deze thesis voert een onderzoek naar de mogelijkheid om een EPZ te omzeilen. De studie wordt dus gevoerd vanuit het opzicht van een aanvaller. Vooraleer de werking van een aanval wordt beschreven, is het belangrijk om een zicht te hebben op het doel, en de capaciteiten van een aanvaller.

Hier is een aanvaller een gebruiker van het platform, die geen eigenaar is van een activiteit. Hij heeft echter wel zicht op alle metadata die publiekelijk gedeeld is. Dit is data zoals afgelegde afstand, snelheid, tempo, . . . Aangezien de aanval gaat over het omzeilen EPZ's worden activiteiten beschouwd die gecloaked zijn. De aanvaller heeft dus geen zicht op de reële start- en/of eindlocatie, zijn doel is dan ook om de ondanks de aanwezigheid van cloaking deze gevoelige locatie te achterhalen.

Vanuit het oogpunt van de inferentie-aanval beschreven door Dhondt et al. heeft de aanvaller toegang tot alle data die publiek beschikbaar is. Deze gebruikt dan voornamelijk afgelegde weg als basis.

De aanvaller die in deze thesis wordt beschreven, heeft echter geen toegang tot deze afstandsdata. Hij heeft wel nog toegang tot de ruwe GPS-data, maar ook de snelheid, het tempo enzovoort. Het onderzoek bestaat er dus uit om te onderzoeken in hoeverre een aanval nog mogelijk is wanneer de afstandsdata onbruikbaar zou zijn. Een alternatieve aanpak wordt dus onderzocht om de inferentie-aanval alsnog succesvol te kunnen uitvoeren.

### **3.2 Inferentie aanval**

De inferentie aanval van Dhondt et al., die de basis vormt voor de aanval in deze thesis, kan worden in opgedeeld in drie stappen. De eerste hiervan is het identificeren van de EPZ. Alhoewel deze stap niet noodzakelijk is, vernauwt deze de zoekruimte drastisch. Als inb

## Hoofdstuk 4

# Resultaten

**Tabel 4.1** Attack with given Outer Distance

	Success Rate (%)	Correctness (m)	Accuracy	Reduction (%)	Uncertainty Region ( $m^2$ )	Certainty	Spatial Certainty	Degree of Anonymity (%)
Radius (m)								
200	81.43	35.96	15	86.01	322.32	1.91	0.68	28.33

Tabel 4.2 Attack result with different smoothing window sizes

Radius (m)	Smoothing Window (n)	Success Rate (%)	Correctness (m)	Accuracy	Reduction (%)	Uncertainty Region ( $m^2$ )	Certainty	Spatial Certainty	Degree of Anonymity (%)
200	/ (No smoothing)	72.06	59.92	21	81.89	473.05	2.22	1.01	33.43
200		73.98	60.35	22	82.41	450.52	2.21	1.03	32.92
200		70.59	69.52	22	81.14	480.38	2.2	1.06	33.34
200		71.67	61.49	22	82.75	480.13	2.17	1.01	32.96
200		70.94	61.21	21	82.76	458.57	2.21	1.03	33.35
200		72.17	60.44	22	83.07	464.94	2.17	1.02	32.89
200		72.12	60.67	20	82.4	451.9	2.15	1.03	32.28
600		54.44	150.15	35	94.50	793.84	2.59	1.63	29.96
400		70.53	96.87	31	90.66	685.01	2.52	1.38	32.7
800		50.60	190.30	37	96.61	834.45	2.72	1.83	29.26
1000		52.38	224.32	36	97.08	906.66	2.71	1.88	27.93
1200		38.46	275.84	48	97.77	1127.09	2.96	1.94	30.14
1400		40.24	335.89	41	97.96	1037.62	2.83	2.11	27.80
200		75.0	61.37	20	82.22	450.15	2.15	1.04	32.57
200		72.15	66.86	20	82.01	461.84	2.16	1.04	32.2
200		72.73	67.81	20	82.25	475.05	2.14	1.05	31.7
200	110	72.62	62.94	19	82.46	432.95	2.15	1.04	32.23
600		62.50	124.71	32	94.64	720.98	2.59	1.58	29.95
800		58.93	186.66	38	96.31	806.26	2.87	1.82	31.83
1000		40.20	243.65	34	97.43	812.48	2.66	1.85	28.42
1200		50.00	249.91	42	97.55	1007.75	2.92	1.91	29.35
1400		40.38	248.87	41	97.98	977.24	2.99	2.11	29.81
600		58.97	141.04	29	94.89	692.52	2.47	1.61	29.51
800		56.34	217.13	36	96.30	773.61	2.80	1.94	30.30
1000		41.27	234.27	35	97.43	802.93	2.69	1.87	29.13
1200		44.12	278.00	39	98.06	953.93	2.73	1.92	27.86
1400		32.81	294.24	34	98.28	841.94	2.82	2.06	27.51

## **Hoofdstuk 5**

## **Conclusies**

# Bibliografie

- [Und] Understanding k-means clustering in machine learning — by education ecosystem (ledu) — towards data science. <https://towardsdatascience.com/understanding-k-means-clustering-in-machine-learning-6a6e67336aa1>. (Accessed on 04/25/2023).
- [2] Bowden, A. (2018). Cyclist who had five bikes stolen says thieves are looking for quick times on strava to try and find high-end bikes – warns other users to check their privacy settings — road.cc. <https://road.cc/content/news/248798-cyclist-who-had-five-bikes-stolen-says-thieves-are-looking-quick-times-strava>. (Accessed on 02/20/2023).
- [3] Carr, C. T. and Hayes, R. A. (2015). Social media: Defining, developing, and divining. *Atlantic Journal of Communication*, 23(1):46–65.
- [4] Croft, J. (2015). Snapping gps tracks to roads. <https://www.jamesrcroft.com/2015/06/snapping-gps-tracks-to-roads/>. (Accessed on 04/07/2023).
- [5] Dhondt, K., Le Pochat, V., Voulimeneas, A., Joosen, W., and Volckaert, S. (2022). A run a day won't keep the hacker away: Inference attacks on endpoint privacy zones in fitness tracking social networks. [osf.io/3m5ut](https://osf.io/3m5ut).
- [6] Driesen-Joanknecht, H. (2020). Tempo (min/km) vs snelheid (km/h) bij hardlopen – sport sneller massage, preventie, nijmegen. <https://sportsneller.nl/2020/11/25/tempo-min-km-vs-snelheid-km-h-bij-hardlopen/#:~:text=Waarom%20gebruiken%20hardlopers%20geen%20km,de%20snelheid%20uit%20te%20drukken>. (Accessed on 04/18/2023).
- [7] Early, J. (2020). Smoothing and interpolating noisy gps data. <https://jeffreyearly.com/smoothing-and-interpolating-noisy-gps-data/>. (Accessed on 04/07/2023).
- [8] Early, J. J. and Sykulski, A. M. (2020). Smoothing and interpolating noisy gps data with smoothing splines. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37(3):449 – 465.
- [9] Hern, A. (2018). Fitness tracking app strava gives away location of secret us army bases — gps — the guardian. <https://www.theguardian.com/world/2018/jan/28/fitness-tracking-app-gives-away-location-of-secret-us-army-bases>. (Accessed on 02/20/2023).

- [10] Howard, P. and Parks, M. (2012). Social media and political change: Capacity, constraint, and consequence. *Journal of Communication*, 62.
- [11] Ladetto, Q., Gabaglio, V., and Merminod, B. (2001). Combining gyroscopes, magnetic compass and gps for pedestrian navigation. *Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics, and Navigation*.
- [12] Mink, J., Yuile, A. R., Pal, U., Aviv, A. J., and Bates, A. (2022). Users can deduce sensitive locations protected by privacy zones on fitness tracking apps. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [13] of Dallas, F. R. B. (n.d.). Smoothing data with moving averages - dallas-fed.org. <https://www.dallasfed.org/research/basics/moving#:~:text=A%20moving%20average%20smoothes%20a,the%20variable's%20timeliness%20is%20lost>. (Accessed on 04/13/2023).
- [14] Seiler, K. M. (2022). Haul road mapping from gps traces.
- [15] Strava, I. (2021a). Strava-privacybeleid. <https://www.strava.com/legal/privacy>. (Accessed on 02/20/2023).
- [16] Strava, I. (2021b). Strava's year in sport 2021 charts trajectory of ongoing sports boom. <https://blog.strava.com/nl/press/yis2021/>. (Accessed on 02/26/2023).
- [17] Strava, I. (2022). Moving time, speed, and pace calculations – strava support. <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/115001188684-Moving-Time-Speed-and-Pace-Calculations>. (Accessed on 02/26/2023).
- [18] Strava, I. (2023a). Activity privacy controls – strava support. <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/216919377-Activity-Privacy-Controls>. (Accessed on 02/27/2023).
- [19] Strava, I. (2023b). Bad gps data – strava support. <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/216917707-Bad-GPS-Data>. (Accessed on 03/01/2023).
- [20] Strava, I. (2023c). How distance is calculated – strava support. <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/216919487-How-Distance-is-Calculated>. (Accessed on 03/01/2023).
- [21] Vanmeldert, D. (2022). Sportapp strava laat fietsdieven of stalkers nog altijd meekijken — vrt nws: nieuws. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2022/10/28/strava-kul/>. (Accessed on 02/20/2023).
- [22] Verdonck, T. (2022). Inferentie-aanvallen met hoogteprofielen tegen (endpoint) privacy zones in fitness tracking sociale netwerken. Master's thesis, KU Leuven. Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen, Leuven. Book Title: Inferentie-aanvallen met hoogteprofielen tegen (endpoint) privacy zones in fitness tracking sociale netwerken.



- [23] Wajih Ul Hassan, Saad Hussain, A. B. (2018). Analysis of privacy protections in fitness tracking social networks -or- you can run, but can you hide?

## **Bijlage A**

# **Uitleg over de appendices**

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

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

Voorbeelden van bijlagen:

Bijlage A:     Detailtekeningen van de proefopstelling

Bijlage B:     Meetgegevens (op USB)

