Sthlm Virtual City

Publik rapport

STHLM Virtual City

Författare: Johanna Thorn, Maria Roslund, Lena Larsén, Linus Backström, Dorothy Furberg, Carl Vad-Shutt

Datum: 2022-01-10

Projekt inom Strategiska innovationsprogrammet Drive Sweden: Innovationer för ett digitaliserat och automatiserat transportsystem för människor och gods.

FFI Fordonsstrategisk Forskning och Innovation

VINNOVA Energimyndigheten TRAFIKVERKET FKG VOLVO SCANIA VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning 3

2 Executive summary in English 3

3 Bakgrund 4

3.1 Potential och användning 6

3.2 Risker 7

4 Syfte, forskningsfrågor och metod 7

4.1 Tillvägagångssätt och implementation 7

5 Mål 9

6 Resultat och måluppfyllelse 10

6.1 Täckningsgrad av vägnätet 10

6.2 Noggrannhet och robusthet vid detektion av skyltar 10

6.3 Analys av hur lösningen kan påverka arbetssätt kopplat till exempelvis städers underhåll samt beteenden i fordonsflottan 16

7 Spridning och publicering 16

7.1 Kunskaps- och resultatspridning 16

7.2 Spridning av resultat 17

8 Slutsatser och fortsatt forskning 17

9 Deltagande parter och kontaktpersoner 18

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Denna rapport är en del av ett projekt som ämnar skapa ett system för att automatiskt kartlägga trafikskyltning, analysera trafikflöden och upplysa om eventuella brister eller förändringar på skyltar. Under projektets gång har robusthet samt noggrannhet av detektioner analyserats. För att förstå var nytta kan skapas har även en jämförelse med olika processer som används idag gjorts.

Målet med Sthlm Virtual City-projektet är att tillgodose behovet av aktuell, relevant och behandlingsbar information. Konsortiet, som består av Stockholm stad, Univrses AB och Taxi Stockholm, har utrustat en flotta med taxibilar från Taxi Stockholm samt fordon från trafikkontoret, Stockholm stad med mobiltelefoner. Telefonerna kommer att laddas med Univrses app, 3DAI™ City. Denna programvara, ursprungligen utvecklad för att ge autonoma bilar förmågan att känna till sin omgivning, består av datorseende och AI-komponenter. Programvaran bearbetar bilder från mobilkameran för att identifiera och kartlägga utvalda objekt från stads- och vägmiljön. Stockholm Stad kan använda dessa data för att förvalta infrastrukturen i Stockholm på ett smartare sätt. Konsortiet bygger ett banbrytande system som kan uppdatera en digital tvilling i Stockholm i realtid. Det kommer att revolutionera hur städerna förvaltas genom att leverera ny och korrekt information för att möjliggöra bättre beslut.

Samarbetet har lagd grunden för produkten 3DAI™ City och också gett insikter om hur man kan använda sig av fordon som redan rör sig i staden för att samla värdefull data.

2 Executive summary in English

This report is part of a project to demonstrate the potential of 3DAI™ City for monitoring roadside infrastructure and traffic flows automatically. During the project, the accuracy and robustness of the data from 3DAITM City was evaluated.

The goal with the project is to provide a computer vision platform giving access to timely, relevant and actionable data about the roadside environment. The consortia that consists of City of Stockholm, Univrses AB and Taxi Stockholm has equipped cars from both Taxi Stockholm and City of Stockholm with Univrses app. Univrses' 3DAI™ City It is made accessible by deploying a smartphone on any vehicle and processing image data from the smartphone camera.

Sthlm Virtual City consortium defines clear project objectives that we aim to realize. Among many, these goals stood out since they seamlessly represent novel scientific contributions, enablers of future research, solid foundation for the whole digital twin challenge and solutions of pragmatic problems.

Goals:

- Real time traffic signs mapping and monitoring
- Real-time fleet mapping and geofencing
- Real-time traffic flow and congestion insights
- Real-time pedestrians and crowd distribution

The results have been evaluated from three criteria:

- Coverage of the road network
- Accuracy and robustness in detection of the signs
- How the solution affects the current way of working

In looking at coverage of the identified potential of collecting data using both taxi fleets and municipal vehicles the City of Stockholm estimates that the solution could reduce the need for manual inspections by up to 80%. Today many of the processes are manual and decisions are based on experience of individuals, 3DAI™ City gives the city relevant data and an objective assessment of the road network.

Detections made using 3DAI™ City were compared with “ground truth” data collected using offline manual hardware (e.g., RTK GNSS). Using 3DAI™ City, a detection rate of 98.9% was achieved (4 out of 374 signs were missed). Additionally, the orientation of the signs was detected correctly 99.6% of the time. The signs were positioned with a median relative position error of 1.1 m. Many sign detections were made with a position error of no more than 0.1 m.

The collaboration has given many insights for all partners and the project has been part of multiple dissemination activities.

3 Bakgrund

Världen urbaniseras allt mer. 1,3 miljoner människor flyttar varje vecka från landsbygd till storstäder. Som ett resultat ökar komplexiteten i förvaltningen av staden och dess infrastruktur dramatiskt. Viktig infrastruktur som broar, tunnlar, vägar, pågående vägarbeten, byggarbetsplatser och situationer med folkmassor, trafik samt parkering behöver alla hanteras. Som ett resultat finns det ett växande behov av nya lösningar för att göra städerna mer hållbara och levnadsvänliga.

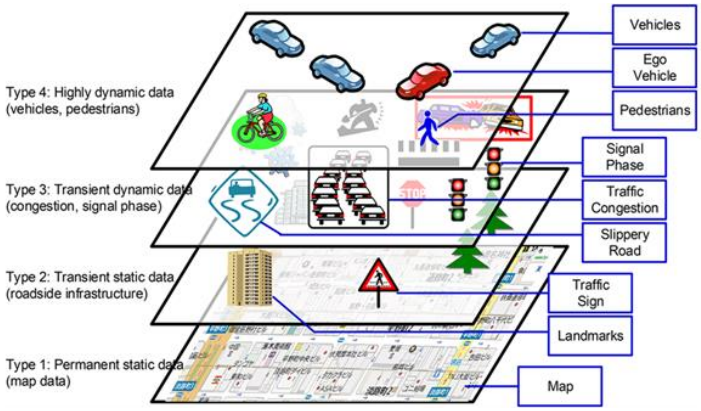
Bland de grundläggande förutsättningarna för att kunna skapa förbättringar i ett system är återkoppling en av de viktigaste. Transportsystemet i en stad är oerhört komplext och består av många dimensioner som kontinuerligt skiftar, allt eftersom bostäder, arbeten, kollektivtrafik och infrastruktur förändras. Staden kan påverka detta system med trafikregler som kommuniceras via skyltning till trafikanter. För att kunna stadsplanera på ett mer konsekvent sätt och ta lärdom av vad som fungerar i olika stadsdelar, och applicera den kunskapen i andra områden behövs information om vad som faktiskt gäller. Till exempel är det viktigt att veta var skyltar finns i praktiken, hur trafiken ser ut runtomkring och hur den har förändrats. Denna återkoppling ger möjlighet att bättre förutse hur skyltning kan påverka trafiken med avseende på säkerhet, utsläpp och rörelsemönster. Denna motivering är bakgrunden till detta projekt vars syfte har varit att samla in denna information på ett kostnadseffektivt sätt, baserat på att utrusta befintliga fordon (taxibilar) med mobilkameror och utveckla ett system som:

- Automatiskt känner igen alla slags trafikskyltar och räknar ut deras positioner med hjälp av en sammansättning av olika sensorvärden,
- Automatiskt räknar ut fordonets egen position, riktning och hastighet,
- Automatiskt analyserar bildflödet för att skapa en uppfattning om det lokala trafikläget runt fordonet,
- Strömmar resultaten till en digital kopia av staden för användning i planering på olika tidsperspektiv.

Genom att få tillgång till den här information kan staden få ökad förståelse vilket genererar bättre beslut och innebär att man på ett bättre vis kan prioritera bland resurser. Data från olika källor kan kombineras för att generera digitala tvillingar (eller ibland benämnt som “Local Dynamic Mapping, LDM”): virtuella kopior av stadsmiljön som kan användas för att analysera, förutsäga och kontrollera vad som händer - allt till förmån för medborgarna. Med hjälp av digitala tvillingar kan problem upptäckas och lösas snabbt; med tillräckligt med data kan vissa problem till och med förväntas.

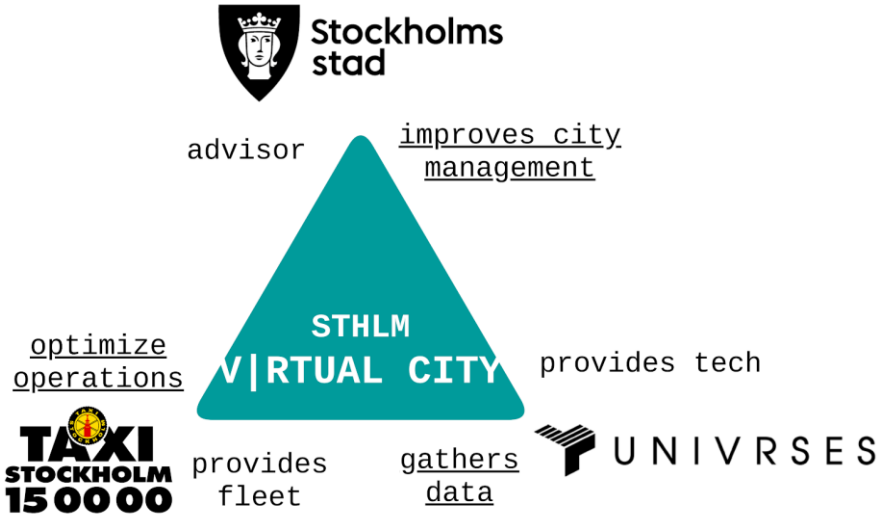
Ett exempel där det i framtiden kommer att ställas högre krav på data i form av både tillgång och kvalitet är från platser där det kommer att finnas autonoma fordon samt andra mobilitetstjänster. Detta kommer att påverka hur fotgängare rör sig, restider, köbildning och annat, om man förstår påverkan kan man förbättra och hantera de nuvarande frågorna på ett sätt som är hållbart även i framtiden. Ett av användningsområdena för dessa digitala tvillingar är att förstå, hur man på mest kostnadseffektiva sätt, ska gå från beroende av privat bilägande till delade, hållbara sätt att transportera sig. Att vara en del i att utveckla detta gör att att projektet Stockholm virtual city kan bidra till de mål som Drive Swedens program syftar till.

För att det ska vara möjligt att simulera hur trafiksituationen förändras behövs data som är relevanta i form av typ, tid och geografisk spridning. Det är en utmaning att samla denna data på ett kostnadseffektivt sätt.



Sthlm Virtual City är ett sätt att svara upp till dessa utmaningar i form av ett konsortium som består av Stockholm Stad, Univrses AB och Taxi Stockholm. Stockholm Stad är en av de ledande städerna i världen när det kommer till innovation och digital utveckling detta enligt både WSP Global Cities Index 2018 coh EU Commission ranking on Innovation. Stockholm är också vinnare av World Smart City Awards 2019.

Taxi Stockholm är det största taxibolaget i Stockholm med fler än 1 600 taxibilar och ca. 22 000 körningar varje dag. Univrses AB utvecklar datorseende och maskininlärning för autonoma fordon samt lösningar inom området för smarta städer. Univrses styrka ligger i att förstå och tolka omgivningen. Med smarta telefoner som redan har ett utbrett användande kan Univrses utrusta en utvald flotta av fordon från Taxi Stockholm för att samla data om den urbana miljön. Med dessa data som kan analyseras i näst intill realtid finns möjlighet att föda informationen till en digital tvilling av Stockholm.



3.1 Potential och användning

Potentialen för projektet ligger främst i att skapa synergier av tillgång och efterfrågan i konsortiet. Stockholms stad och Taxi Stockholm både möjliggör och kan vara potentiella kunder för Univrses produkt.

Stockholms stad kan kontinuerligt kunna analysera nuläge samt förändringar som sker i staden. Exempel på specifika användningsfall är analys av hur fordon och gångtrafikanter rör sig samt statusen för vägrelaterade objekt som vägskyltar. Utöver detta har projektet tagit fram metodik för kvalitetsvalidering av gatu- och parkvägsbeläggning. Att kunna agera på data som indikerar att åtgärder behövs, till exempel att en skylt skadats eller försvunnit, bidrar både till en säkrare trafikmiljö men möjliggör också kostnadsbesparingar i underhållet.

För Taxi Stockholm innebär det en direkt positiv påverkan av att skyltningen förbättras eftersom bolagets flotta rör sig kontinuerligt i stadsmiljön. Utöver det kan skyltpositioner i kombination med flottans positioner ge möjlighet att analysera och i förlängningen använda sig av geofencing för att främja förare som håller fartgränser och på så sätt i förlängningen förbättra säkerheten.

Trafikflöden i form av fordon och gångtrafikanter kan underlätta för planeringen i hur taxiflottan kan distribueras över staden på ett optimalt sätt. Insikt om detta kan ge en konkurrensfördel i och med att man kan styra flottan dit potentiella kunder finns och kan undvika tung trafik och på så sätt erbjuda en bättre service. I synergi med detta kan staden i sin tur dra fördel av samma information för att förbättra systemet i stort, både på kort sikt (till exempel i form av att kunna planera om kollektivtrafik efter efterfrågan) samt på lång sikt (tex i form av att optimera planeringen utefter hur staden faktiskt används). Något som i slutändan kan komma att bidra till en minskad miljöpåverkan.

Att övervaka stadens trafik och infrastruktur har tidigare gjorts genom att installera fasta sensorer. Dessa lösningar lider av tre problem; höga kostnader förknippas med dem, de är svåra att underhålla och installera, och de bidrar endast med en begränsad täckning av staden. Genom att istället använda sig av mobiltelefoner som installeras i fordon kan man komma runt dessa problem; ingen specialiserad hårdvara behövs, det är enkelt att komma igång och täckningen av staden blir större.

För att utvärdera tekniken har projektet undersökt främst tre kriterier. Första kriteriet projektet tittar på är täckningsgrad av vägnätet. Andra, noggrannhet och robusthet vid detektion av skyltar. Tredje hur lösningen kan påverka arbetssätt genom att titta på hur man tidigare jobbat med underhåll vad det gäller skyltar och beteenden i fordonsflottan.

Lösningen som detta projekt har jobbat med är i framkant i arbetet med att göra våra städer smartare, både i form av att optimera mobilitet i staden och som en viktig del i den digitala övergången som städer och företag står inför. För att göra det mesta av projektet är konsortiet inställda på att dela med sig av sina insikter och lärdomar från resan i att skapa mer hållbara och smarta städer.

3.2 Risker

En av riskerna som identifierades tidigt i projektet och som har varit i fokus stor del av tiden är arbetet med personuppgifter kopplat till framför allt dataskyddsförordningen. Stockholms stad har under projektet drivit arbetet i vilket ett av de viktigaste stegen var att genomföra en informationsklassning. Arbetet resulterade även i att Univrses utnämndes till personuppgiftsansvariga och Stockholms stad tillpersonuppgiftsbiträde. Under utredningsperioden genomförde Stockholms stad inte någon datainsamling.

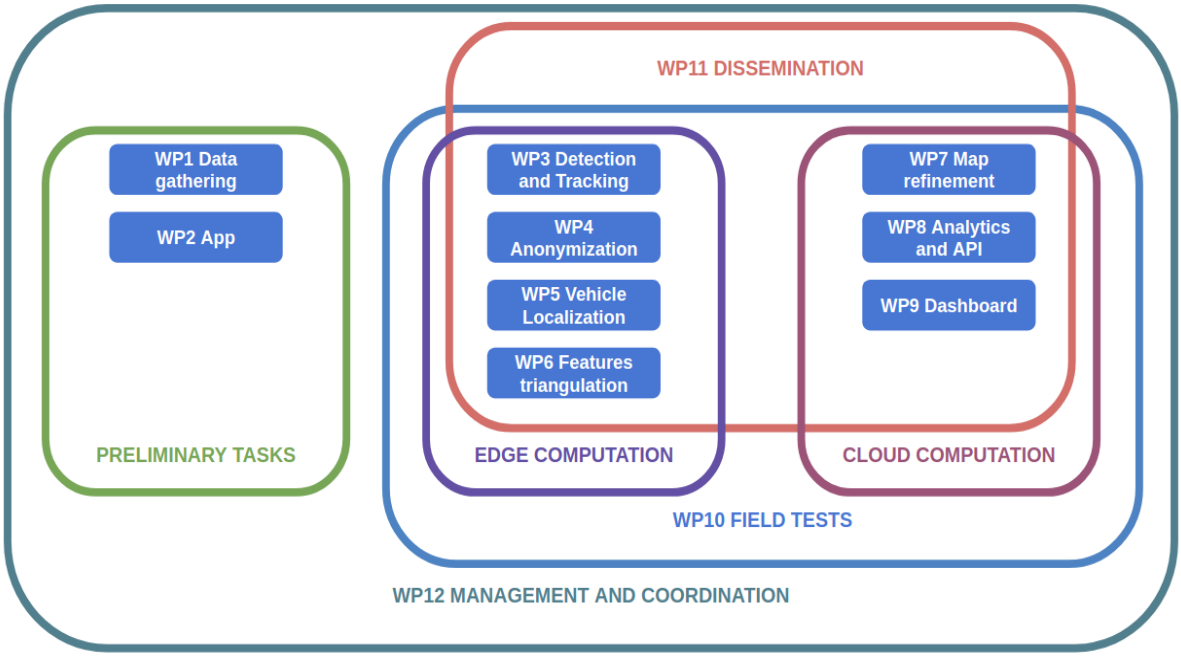
Under projekttiden har det i vissa fall bedömts vara svårt att samla in data genom att ha en synlig mobiltelefon monterad i vindrutan med avseende på risk för stöld och hot.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med projektet Sthlm Virtual City är att realisera de högt uppsatta mål konsortiet satt, Syftet med de valda målen är att dels bidra till framtida forskning, bidra i arbetet med digital tvilling samt att lösa faktiska problem i samhället.

4.1 Tillvägagångssätt och implementation

Sthlm Virtual City har varit strukturerat i form av tre övergripande arbetspaket:



- “Preliminary Tasks” - I detta arbetspaket arbetade konsortiet främst med förberedande arbete, skapade den grund som behövdes för det framtida arbetet med lösningen
- “Edge Computation” - Detta arbetspaket innehöll allt arbete kring appen och det som sker i telefonen
- “Cloud Computation” - Detta arbetspaket representerar det som händer på molnsidan

Utöver detta finns tre arbetspaket som har sträckt sig över alla delar av projektet och det är:

- Dissemination av resultat och design
- Fälttest av lösningen för att validera tekniken
- Projektledning och koordinering av projektet

.

De tekniska arbetspaketen utfördes iterativt där krav, utveckling, integrering och validering med test pågick i sekventiella faser där man även tog in resultat och feedback från föregående fas.

I listan nedan är varje arbetspaket listat med namn, nummer och vilka bidrag de olika parterna har i det specifika arbetspaketet i form av antal personmånader (PM), syfte och kort beskrivning.

- **WP1 - Datasamling** (Taxi Stockholm 4PM, Univrses 2PM - Jan 2020, May 2020)
  Syfte: Organisering och projektledning kring insamling av data och annotering.
  Beskrivning: Insamling av data med förekomst av relevanta objekt i olika förhållanden och på olika typer av platser. Projektledning i förhållande till fordonsflottan, anonymisering av valda data samt annotering.

- **WP2 - App** (Univrses 1PM - Feb 2020)
  Syfte: Förbättra app för större antal insamlingsenheter
  Beskrivning: Förbättring av Univrses app, 3DAI™ City med användarvänlig design, med möjlighet till insamling av data. Kravet var att appen skulle samla data utan att påverka eller distrahera föraren.

- **WP3 - Detektion** (Univrses 6PM - Jun-Dec 2020)
  Syfte: Utveckla och implementera effektivt sätt att detektera objekt
  Beskrivning: Driftsättning, träning och testning av djupinlärningsmodell för objektdetektion.

- **WP4 - Anonymisering** (Univrses 1PM - Jan 2020)
  Syfte: Driftsättning av anonymiserings-nätverk.
  Beskrivning: Uppsättning av pipeline för korrekt och tillförlitlig anonymisering. Inom detta arbetspaket har även riskbedömning och informationssäkerhetsklassning utförts.

- **WP5 - Lokalisering** (Univrses 6PM - Jun-Dec 2020)
  Syfte: Driftsättning av Visuell Odometri och GNSS lokaliserings algoritmer
  Beskrivning: Adaption, integrering och fusion av visuell odometri och GNSS-avläsningar för att både kunna skapa en korrekt lokalisering av insamlingsenheten och, tack vare det, högre positionsnoggrannhet av objekten som detekteras.

- **WP6 - Triangulering av objekt** (Univrses 6PM - Jan-Jun 2021)
  Syfte: Kunna bestämma position av objekt i 3D
  Beskrivning: Utveckling och driftsättning av 3D-objektkartläggning i stadens “digitala tvilling”. Algoritmen inkluderar aggregering och matchning av objekt, detta resulterar både i en robustare lösning samt objekt med högre noggrannhet.

- **WP7 - Förfining av kartobjekt** (Univrses 2PM - Jun-Aug 2021)
  Syfte: Sammanslagning av detektioner och förfining i global karta
  Beskrivning: Design, implementation och driftsättning av algoritmer för att slå samman olika detektioner av samma objekt över tid. Data som samlas in kan sedan matchas mot Stockholm stads databas.

- **WP8 - Analys och API** (Univrses 1PM - Sept 2021)
  Syfte: Analys av objekt över tid

Beskrivning: Utveckling av funktioner för att kunna strukturera och skapa utdrag av den data som samlas in. Detta för att kunna analysera hur data förändras över tid eller andra frågeställningar som kan vara av intresse. Utöver det implementering av ett API för att tillgängliggöra data.

- **WP9 - Dashboard** (Univrses 1PM - Oct 2021)
  Syfte: UI/UX-design av dashboard som utformas efter feedback
  Beskrivning: Design av användargränssnitt med utgångspunkt i användarens behov samt efter hur arbetsprocessen ser ut.

- **WP10 - Fälttest** (Stockholm Stad 2PM, Taxi Stockholm 4PM, Univrses 1PM - Jan-Feb 2021, Maj-Juni 2021, Sept-Nov 2021)
  Syfte: Organisering av ett stadsövergripande fälttest
  Beskrivning: Driftsättning i form av fälttest där data samlas över hela staden.

- **WP11 - Dissemination** (Stockholm Stad 2PM, Taxi Stockholm 1PM, Univrses 2PM - hela projektet)
  Syfte: Akademisk och forskningsmässig disseminering.
  Beskrivning: Presentation och publicering av framsteg samt utvärdering av resultat. Detta genom presentationer på stora internationella konferenser. Deltagande i olika workshops med relevanta sektorer till exempel mobilitetssektorn och med representanter för den offentliga sektorn. Projektet har aktivt arbetat med att skapa medvetenhet i relevanta forum och sektorer för att sprida erfarenheter och resultat.

- **WP12 - Projektledning och koordinering** (Univrses 6PM, Stockholm Stad 2PM, Taxi Stockholm 3PM - Hela projekttiden)
  Syfte: Se till att konsortiet arbetar effektivt och mot samma mål.
  Beskrivning: Konsortiet kommer att identifiera specifika roller och framför allt ha fokus på dessa aspekter och roller:
    1. Projekt och kvalitet: Koordinering och kommunikation med Vinnova och Drive Sweden i form av administrativa frågor, finansiella rapporter, resurser och kostnadskontroll.
    2. Teknik och utveckling: Teknisk koordinering av de olika arbetspaket som projektet består av. Riskminimering och efterföljande av tidplanen för projektet.
    3. Integritet och dataskydd: Se till att projektet tar ställning till risker, skapar konsekvensbedömning detta i form av ett processarbete för att säkerställa efterföljande av regler och krav. (i form av tex. GDPR).
    4. Innovation: Säkerställa att projektet arbetar effektivt med IP. Se till att det inte publiceras något som inte bör publiceras, tex. i de rapporter och presentationer som skapas av projektet.

5 Mål

Målet med Sthlm Virtual City-projektet är att tillgodose behovet av aktuell, relevant och behandlingsbar information. Konsortiet, som består av Stockholms stad, Univrses AB och Taxi Stockholm, hade som mål att utrusta en flotta med taxibilar från Taxi Stockholm och ett antal fordon från Stockholms stad med mobiltelefoner. Telefonerna installerades med Univrses app, 3DAI™ City. Denna programvara, ursprungligen utvecklad för att ge autonoma bilarförmågan att känna till sin omgivning, består av datorsyn och AI-komponenter. Programvaran bearbetar bilder från mobilkameran för att upptäcka och kartlägga urbana funktioner. Stockholms stad har kunnat testa att använda sig av dessa data för att förvalta infrastrukturen i Stockholm på ett smartare sätt. Konsortiet bygger ett banbrytande system som kan uppdatera en digital tvilling i Stockholm i realtid.

Inom Sthlm Virtual City-projektet definierades fyra tydliga mål. Dessa mål valdes ut eftersom de inkluderar nya vetenskapliga rön och kommer att möjliggöra framtida forskning. Att uppnå dem kommer också att leverera lösningar på praktiska problem.

- Kartläggning av trafikskyltar i realtid
- Kartläggning av fordonsflottan i realtid och geofencing
- Trafikflöde i realtid och insikter om överbelastning
- Fotgängare i realtid och publikfördelning

6 Resultat och måluppfyllelse

Resultatet redovisas utifrån de tre kriterier som satts upp i projektet:

- Täckningsgrad av vägnätet
- Noggrannhet och robusthet vid detektion av skyltar
- Analys av hur lösningen kan påverka arbetssätt kopplat till exempelvis städers underhåll samt beteenden i fordonsflottan.

Resultatet omfattar även teknik och metodik för klassificering av beläggningskvalitet på gator och parkvägar, vilket bidrar till en aktuell och objektiv bedömning av underhållsbehov.

Alla mål med projektet är uppnådda och all funktionalitet testades och verifierades under projekttiden. Utöver detta har nya användningsområden identifierats som potentiell vidareutveckling för produkten.

6.1 Täckningsgrad av vägnätet

Inledningsvis användes fem fordon från Taxi Stockholm. Detta utökades under projektets gång till 20 fordon från Taxi Stockholm samt fem fordon från Stockholms stad.

Fördelen i att kombinera olika flottor är att fordonen från Taxi Stockholm kör sina sträckor utan att ta hänsyn till täckningsgrad. Det gör att Stockholm stads flotta, som har uppdraget att inspektera gator, kan välja sina rutter med hänsyn till vad Taxi Stockholm redan har samlat in och vilka luckor som finns i datamängden. Istället för att fordonen från Stockholms stad ska inspektera alla vägar så kan de fokusera på en delmängd. Stockholms stad har även med vissa fordon haft möjlighet att täcka in vissa delar av parkvägnätet. Stockholms stad uppskattar att användning av en lösning som 3DAI™ City kan reducera antal kilometer för manuella inspektioner med upp till 80 %.

När mönster från hur en taxiflotta rör sig i staden studeras möjliggörs olika beräkningar som är av intresse, exempelvis hur lång tid en taxiflotta av en viss storlek behöver för att täcka en viss andel av alla vägsegment minst en gång. Det är sedan möjligt att analysera detta kopplat till olika tidsperioder och liknande för att få en uppfattning om täckningsgraden även i form av hur ofta ett fordon i flottan passerar ett vägsegment. Eftersom man vet när ett fordon passerade och detekterade en skylt eller en vägskada kan man också se förändringen över tid. På det sättet kan staden fånga upp när stadsmiljön förändras och dessutom på ett bättre sätt prioritera att besöka platser som är av intresse.

6.2 Noggrannhet och robusthet vid detektion av skyltar

Ett av måtten för att värdera resultatet från projektet är att titta på hur noggrant systemet är i att bestämma positionen av en trafikskylt när den har detekterats. För att kunna göra det har positionen av den klustrade skylten i dashboarden (med andra ord den ikonen som är synlig i dashboarden, som är resultatet av flera observationer som vägts samman) jämförts meddata som samlas in med avancerad utrustning (Prior Measurement (PM)). De olika typer av PM som använts beskrivs nedan:

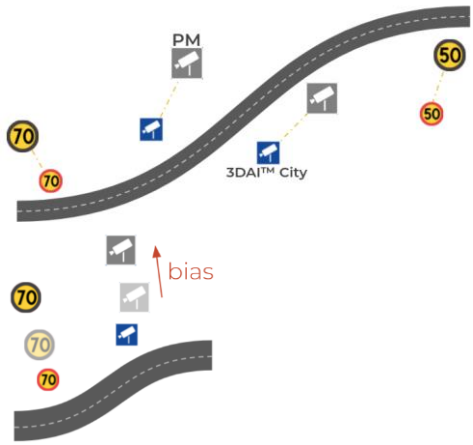
PM RTK dynamisk insamling: En antenn placerades på ett fordon och samtidigt spelades en video in på de sträckorna som noggranhetsberäkningarna skulle göras. Kamerans förhållande till antennen mättes och på sträckan gjordes en semi-manuell annotering av alla synliga skyltar i videon. Från videosekvensen kunde skyltarnas position trainguleras för att få dess globala koordinater (latitud och longitud). Tyvärr är det möjligt att dessa mått inte motsvarar den exakta positionen eftersom:

- Noggrannheten av Leica systemet gick ner när fordonet rörde på sig
- De parametrar som mättes hade viss osäkerhet (extrinsic/intrinsic)

PM RTK statisk insamling: Genom att placera en antenn bredvid en skylt mättes skyltens position in, detta ger en position som endast har osäkerhet på några få centimeter. Om det var höga hus eller mycket vegetation så gick noggrannheten ner (ca 1-2 meter osäkerhet) men dessa mått togs bort ur analysen. Att samla in den här typen av data tar mycket tid och är inte alltid möjlig så endast ett mindre antal skyltar är insamlade med denna metod.

Resultatet av jämförelsen är uppdelat i två olika metoder för jämförelse:

Absolut avstånd (figuren till höger): vi undersöker det geodetiska avståndet mellan den data som samlats in med högre noggrannhet (prior measurements (PM))och deras motsvarighet av de detekterade skyltarna. Detta mått, även om det ger ett direkt mått av systemets noggrannhet, är känsligt för olika lokala GNSS mätningar har en viss påverkan som ger en förskjutning (bias) och som påverkar också mätningarna med bättre utrustning (PM).



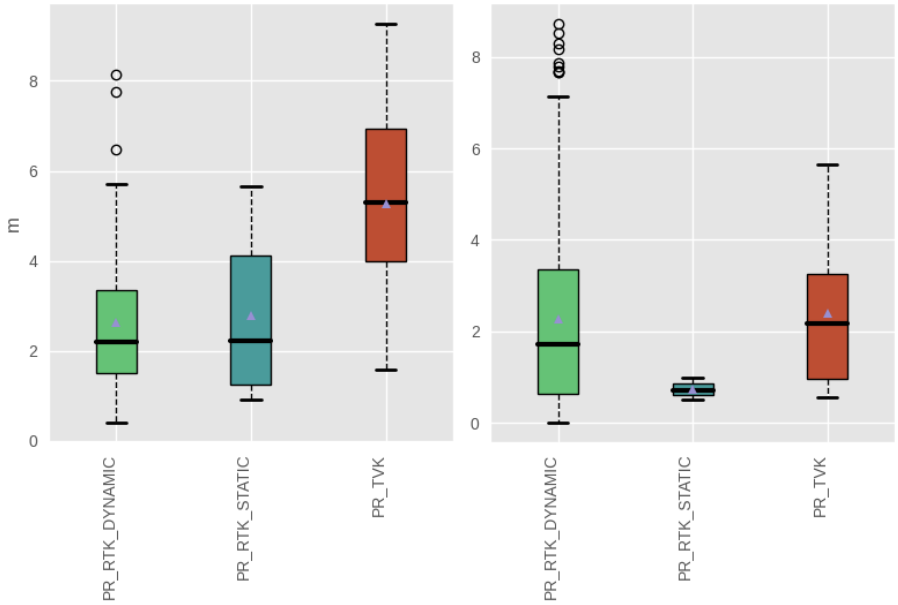
Relativt avstånd (figuren till höger): I detta fall tittar vi på den relativa skillnaden mellan de olika geodetiska avstånden om man dels jämför två av de mått av utrustningen med högre noggrannhet (PM) och deras motsvarande skyltar. Vi beräknade de relativa skillnaderna av alla olika kombinationer som var mindre än 500 meter ifrån varandra. Detta mått är mer robust mot lokala påverkan (bias) och visar hur väl systemet kan avbilda den lokala strukturen och inbördes förhållanden.

Det andra måttet (den relativa noggrannhet) är extra användbar när de relativa avstånden mellan objekt i en karta är viktigt, till exempel hur långt det är mellan två skyltar där hastigheten ändras.

I figuren nedan visar vi lådagram (boxplots) för de två typer av avstånd jämfört med de mått som samlats in med mer avancerad utrustning (PM). Medianen är tagen från distributionen som statistisk indikator på hur väl systemet presterar och är dessutom mer robust mot extremvärden.

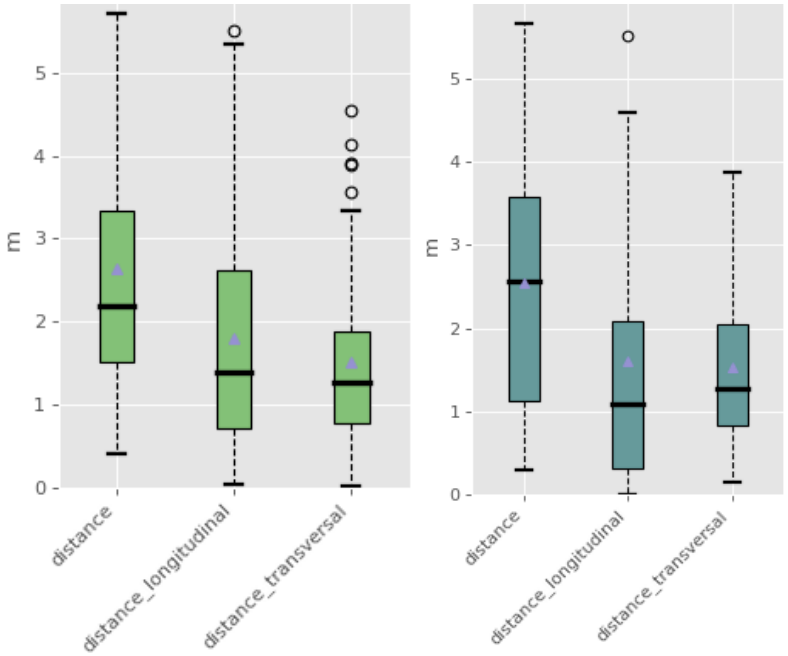
De två olika mått vi har samlat in med högre noggrannhet (PM) är PR_RTK_DYNAMIC och PR_RTK_STATIC. Systemet har en median relativt fel av cirka 2.2 m för absolut avstånd och 1.5

m för relativt avstånd. Det är viktigt att nämna att vissa skyltar i utvärderingen har endast setts ett fåtal gånger (3 eller färre), vilket bidrar till ett högre fel, det finns också en viss osäkerhet i prior måtten.



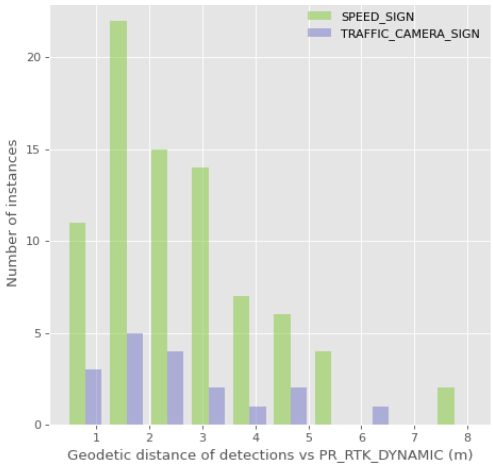
Avstånd detekterade skyltar till PM

För det absoluta felet visas också distributionerna i längs med körriktning (longitudinal) och vinkelrätt mot vägen (transversal). Notera att 3DAI™ City når ca. 1.5 m transversal noggrannhet, trots GPS bias.



Avstånd I körriktning och vinkelrätt mellan 3DAI™ City detektioner och PR_RTK_DYNAMIC(grön) och PR_RTK_STATIC(blå) .

För att ge en helhetsbild visas här också hela distributionen av de absoluta avstånden för PR_RTK_DYNAMIC grupperade mellan hastighetsskyltar och kameraövervakningskyltar. Detta för att visa hur systemet är oberoende av typ av skylt. Majoriteten av skyltarna är detekterade med under 2 m noggrannhet.



Absoluta avstånd PR_RTK_DYNAMIC grupperat per skylttyp

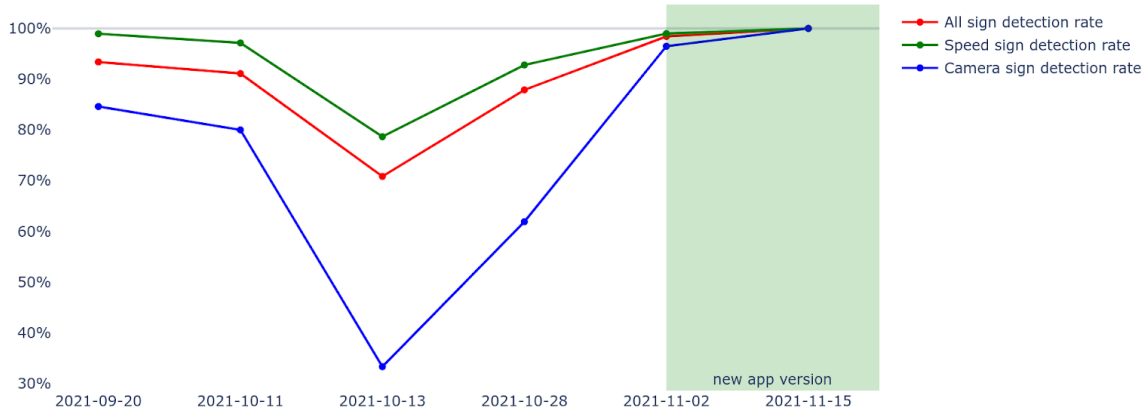
Antal detektionen av möjliga

I denna sektion tittar vi på individuella körningar med känt antal möjliga skyltar att detektera. Anledningen är att visa robusthet för detektioner och pålitlighet av systemet, 3DAI™ City, i form av antal detektioner som systemet gör korrekt genom de olika körningarna. Vi visar detta genom en procentsats av korrekt/felaktigt klassificerade skyltar. Vi analyserar även fall där systemet inte uppfört sig som väntat.

Falska negativa (skylt inte detekterad)

Följande metod användes för att identifiera missade detektioner, alltså, en missad skylt är när: Vi kan se skylten i en bild men inte har detekterat den eller när vi inte har detekterat någon skylt i närheten av en prior. För denna del av utvärderingen användes PR_RTK_DYNAMIC eftersom detta dataset innehåller fler skyltar.

Nedan visas ett diagram över detektions-graden för olika typer av skyltar, i detta fall från olika körningar som representeras av olika datum. Noterbart är att det blev ett signifikant förbättrat resultat i och med en förbättring av appen som gjordes tillgänglig i november, den nya appen visar 98.92% tillförlitlighet (4 missade, 370 detekterade).



När vi analyserade de fall där vi inte detekterade kunde detta konstateras;

- Det var svåra ljusförhållanden
- Det var smuts på framrutan
- Stora reflektioner i bilden

Exempel på svåra väderförhållanden

- Förarbeteende med skarpa svängar och u-svängar precis innan en skylt (blå linje är bilens färdväg illustrerat).

Exempel på svåra situationer på grund av Förarbeteende

Falska positiva (skyltar detekterade där det inte finns en skylt)

För att kunna bedöma antal falskt detekterade skyltar tittade vi i konfirmationsbilder som samlades in i samband med en detektion för att se om skylten i fråga syns i bilden. Endast 2 av 752 detektioner i de olika körningar som utvärderats har klassats som falska positiva, det motsvarar FP% av0.27%. Båda skyltar som var falska positiva var vägarbetsskyltar, där en annan varningsskylt detekterats felaktigt. Dessa typer av fall är intressanta när modellerna ska förbättras för att ytterligare robustifiera resultatet.

Falska positiva detektioner, denna skylt detekterades och klassificerades som en vägarbetesskylt

Orientering av skyltar

Orientering av en skylt som representeras av en vinkel (eller en pil för användare i dashboarden) är väldigt användbar för att systemet ska förstå från vilken körriktning som skylten är synlig. Det är därför viktigt att systemet förstår vilken vinkel som en viss skylt är synlig från.

I denna sektion utvärderar vi om den detekterade orienteringen stämmer med riktningen skylten har i bilder. I undersökningen hittades 3 observationer som hade felaktig orientering, alla hörde till samma skylt, detta leder till en korrekthet på 99.60%.

6.3 Analys av hur lösningen kan påverka arbetssätt kopplat till exempelvis städers underhåll samt beteenden i fordonsflottan

Vägskador
I Stockholm finns det ca 3500 km väg med kommunalt väghållarskap. Varje år repareras mellan 5000 och 8000 vägskador.

Staden får information om vägskador från medborgare som använder en app som tillhandahålls från staden. 90 procent av alla rapporter är om potthål och 10 procent är om sprickor. Medborgrarrapporter kommer i större utsträckning in från vissa personer och med tyngdpunkt i vissa områden av staden.
När det kommer till visuella inspektioner kan bedömningarna skilja mycket mellan olika personer. I en större stad som Stockholm är förändringstakten hög, det byggs mycket nytt och det pågår många vägarbeten som påverkar vägytan. Med dessa förhållanden är det svårt att motivera en scanning av vägnätet på traditionellt sätt med dyr mätutrustning och personer som gör bedömningar eftersom detta blir kostsamt och dessutom inte då kan uppdateras så ofta.

Med detta som bakgrund motiveras användning av system som 3DAI™ City. Områden där3DAI™ City kan optimera den dagliga verksamheten kopplad till vägskador inkluderar:

- Minska behovet av manuella inspektioner genom att kunna visa på snabba förändringar
- Ge en överskådlig och objektiv bild av skadenivåer i staden som kan ligga till grund för beläggningsprogram
- Lokalisera skador med högre precision än vad som är standard idag, med rapporter från appen

Trafikskyltar
I Stockholm uppskattas antalet skyltar till mellan 3 och 5 miljoner och varje år mottar staden kring 8000 rapporter från medborgare om skador. Uppskattningsvis åker stadens personal ut två gånger i veckan för att inspektera skyltar manuellt. Det finns indikationer på att det kan ta upp till 10 år innan en skadad eller försvunnen skylt upptäcks.

Dagens process för att hitta skadade eller försvunna skyltar liknar den som beskrivits tidigare för vägskador. Staden får medborgarrapporter via appen men det finns i dagsläget ingen översikt över alla skyltar och heller inte deras status.

3DAI™ City skulle kunna förbättra arbetssättet genom att:

- Minska behovet av manuella inspektioner
- Skapa en databas över var skyltarna finns
- Kontrollera att entreprenörer satt upp skyltar på rätt plats och med rätt värde i förhållande till det som föreskrivs

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Genom den utveckling som skett i och med projektet har alla tre projektparter fått nya insikter men också kunnat dra nytta av

		varandras kunskaper vilket ökat kunskapen ytterligare.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Tekniken som används i detta projekt är direkt överförbar till andra användarfall. I och med att man använder kameran som en sensor är det möjligt att detektera fler objekt som är synliga.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	I och med detta projekt har Univrses kunnat lansera 3DAI™ City, en produkt som riktar sig till städer och fordonsflottor för att ge insikter om staden och framkomligheten.
Introduceras på marknaden	X	(se tidigare punkt)
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

Det finns koppling mellan detta projekt och andra projekt som har gett ytterligare fördelar i form av delad kunskap, ett exempel är Stockholm Digital Parking där man kunde kombinera informationssäkerhetsklassningsmöten men också lära sig av varandra eftersom projekten var i olika faser.

7.2 Spridning av resultat

Under projektets gång har produkten och projektresultatet presenterats. Uppdateringar av framstegen har skett via presentationer i olika sammanhang, exempelvis Smart City Expo i Barcelona och Drive Sweden Lunch and Learn. Det har även skett olika former av demonstrationer, dock har de fått anpassas efter rådande omständigheter på grund av Covid 19. Projektinformation och uppdateringar har också spridits via sociala medier andra plattformar från de olika projektparterna, tex. LinkedIn, Instagram, och webbplatser.

Det har också funnits internationella kopplingar med organisationer som står inför samma utmaningar.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Stockholms stad har ett uttalat mål att arbeta aktivt med AI. Projektet Sthlm Virtual City har varit och är en mycket värdefull del i det arbetet. Projektet har och kommer framgent att ge nya insikter om AI och har dessutom höjt kunskapsnivån avsevärt kring AI inom organisationen, vilket sammantaget bidrar till möjliggörandet av ökad digitalisering av verksamheten. Det är också värt att lyfta fram att det har varit mycket inspirerande att arbeta tillsammans med flera olika typer av organisationer i ett gemensamt projekt, vilket har bidragit till nya insikter och varit en framgångsfaktor.
Stockholms stad kommer fortsatt att ha tillgång till de insamlade data om beläggningskvalitet och vägskyltars positioner som Stockholms stad har samlat in inom projektet och med denna information kunna formulera framtida behov.

Stockholms stad avser att fortsätta det påbörjade arbetet med att analysera det insamlade materialet och även göra jämförelser med andra insamlingsmetoder. Dessutom är det ett viktigt underlag i arbetet med att utveckla interna arbetsprocesser angående beläggningskvalitet och skyltning.

Projektet har även innefattat diskussioner och workshops för att utvärdera nyttan i att samla data, sett från Taxi Stockholms perspektiv. Det arbetet kommer att fortsätta under 2022.

Univrses kommer att bygga vidare på den produkten som Sthlm Virtual City varit en stor del i att bidra till, dels i forskningsform men också i kommersiella samarbeten.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Konsortiet är bestående av tre parter, Stockholm stad, Taxi Stockholm och Univrses. Taxi Stockholm har en fordonsflotta som, kombinerat med de fordonen som Stockholm haft ute, har gett en fin täckning av staden där informationen varit till stor nytta i utvecklingen av produkten. Stockholm stad har också bidragit med expertkunskap i att åka ut i fält och se vad som är intressant för staden att få reda på. Univrses har bidragit med den tekniska kunskapen och har under projektets gång tagit fram en produkt, där mycket av kunskapsdelningen från övriga projektparter vägts in. Alla parter har bidragit med sin unika kunskap och på så sätt skapat en helhet som enkelt kan skalas upp och spridas till andra organisationer.
Kontaktpersoner:

Univrses AB
Johanna Thorn (johanna.thorn@univrses.com)

Stockholm Stad
Maria Roslund (maria.roslund@stockholm.se)

Taxi Stockholm
Carl Vad-Shutt (carl.vad-schutt@taxistockholm.se)