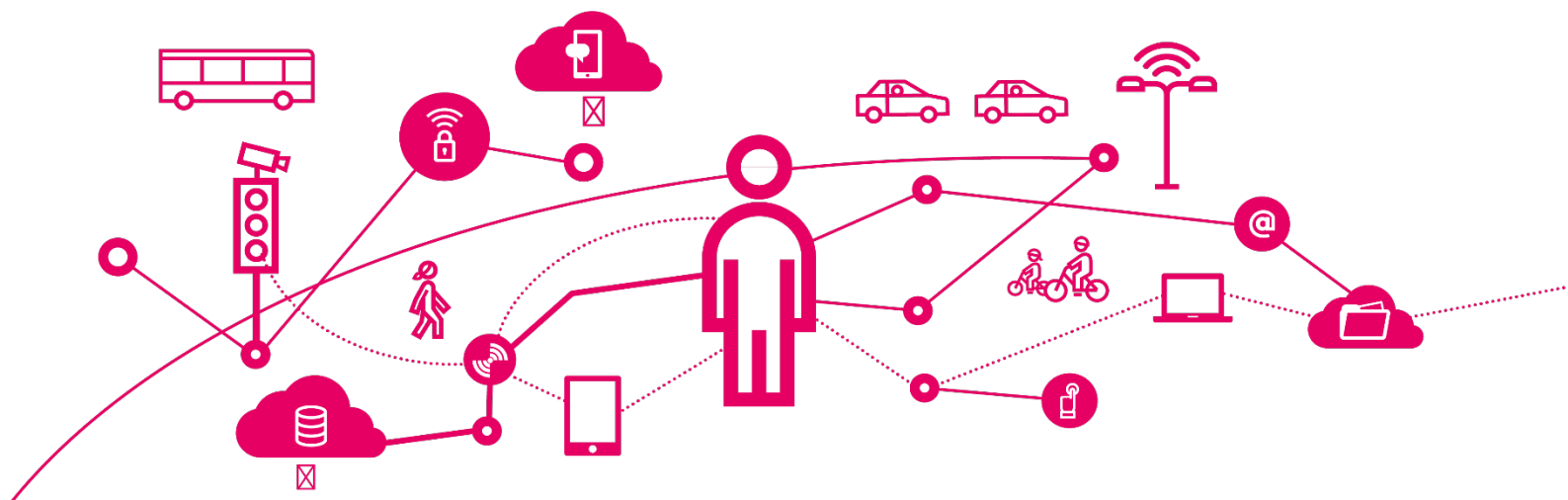


Smart trafikstyrning

**Resultat och rekommendation för
uppskalning:**
Delprojekten
Multifunktionssensor/ovanmarkdetektering och
Trafikdata i realtid



Projektet Smart trafikstyrning

Dnr: KS 2018/000120

Datum: 2020-12-18

Kontaktperson: Petra Robin, stadsledningskontoret

Sammanfattning

Projektet har genomfört ett test av tre olika multifunktionssensorer – lösningar som bygger på videokameror med funktioner för bildigenkänning baserade på AI – i korsningen Sankt Eriksgatan-Fleminggatan. Syftet har varit att samlat in trafikdata i nära realtid för både styrning av trafiksignaler, planering och analys samt delning till stadens tjänsteplattform.

Syftet har varit att ta ett steg mot ett breddinförande av multifunktionssensorer och en ökad användning av realtidsdata. Detta har vi gjort genom att utvärdera lösningars funktionalitet, utreda nödvändiga anpassningar av befintliga verksamhetssystem, undersöka juridiska och regulatoriska förutsättningar för användning av kamerabaserad teknik, testa stadens interna tekniska förutsättningar för en säker och effektiv användning av nya IoT-lösningar, samt möjliggöra leverans av realtidsdata från sensorerna till stadens centrala IoT-plattform eller till Dataportalen via stadens tjänsteplattform.

Vad gäller signalstyrning tyder testet på att man kan uppnå god prestanda och tillförlitlighet, men lösningarna i testet har inte nått hela vägen fram och mer utveckling och test krävs. Trafikräkningen har inte heller nått hela vägen för alla trafikslag. Här ser projektet goda resultat för bilar och gående, men sämre för cyklar och tunga motorfordon.

Vad gäller data för delning så har testet visat att det går att bygga den här sortens lösningar med höga krav på säkerhet och åtkomstkontroll inom stadens IT-miljö.

Det finns dock aspekter som bör utredas och utvecklas vidare, bland annat metoder och algoritmer för signalstyrning samt behov av kompletterande sensortekniker för svårare väderförhållanden. Vi ser även stora möjligheter att förbättra resultaten från trafikräkningen ytterligare genom att anpassa kameraplacering, använda fler sensorer samt vidareutveckla algoritmerna för klassificering.

Nästa steg bör vara fortsatta tester, snarare än ett breddinförande. Vi rekommenderar att arbetar vidare med multifunktionssensorer och fokuserar på signalstyrning och trafikräkning, samt metodik för uppföljning och utvärdering i nästa steg.

Innehåll

Sammanfattning	2
Inledning	4
Vad är en multifunktionssensor?	4
Bakgrund till projekten	4
Syfte och mål.....	5
Upphandling av multifunktionssensorer	8
Kamerabevakningstillstånd.....	11
Skyltning	12
Bevakning i realtid	12
Inspelning och lagring av bilder	13
Maskning	13
Genomförande av testet	15
Montering i korsningen	15
Struktur och projektledning under testet.....	17
Informationsklassningar	20
Risikanalyser	21
Mappning av testets ingående delar mot målarkitekturen	22
Metod för utvärdering	24
Utvärdering av trafikräkning och trafikstyrning	24
Resultat	26
Sammanfattade resultat	26
Kameraplaceringen är avgörande	27
Påverkan från väder och ljus.....	28
Leverantörernas deltagande vid utvärderingen	29
Signalstyrning	30
Trafikräkning och klassificering	32
Data för delning	38
Rekommendation för nästa steg.....	44

Inledning

Denna rapport beskriver arbetet i delprojektet Ovanmarkdetektering/Multifunktionssensor (fortsättningsvis kallat multifunktionssensorer) och Trafikdata i realtid, som ingick i projektet Smart trafikstyrning. Smart trafikstyrning var ett samarbete mellan stadsledningskontoret och trafikkontoret som genomfördes 2018-2020 inom ramen för stadens program för en smart och uppkopplad stad.

Rapporten beskriver genomförande och resultat från det test av multifunktionssensorer och bakomliggande teknik som genomfördes inom delprojektet.

Lärdomar och reflektioner från varje steg i arbetet beskrivs i respektive avsnitt. Avsnitten redovisar de konkreta resultaten som framkommit i testet. I sista avsnittet presenteras en samlad rekommendation för trafikkontorets nästa steg i arbetet med multifunktionssensorer.

Vad är en multifunktionssensor?

Det finns flera olika definitioner av vad en multifunktionssensor faktiskt är. Vanligtvis avses dock lösningar som ingår i en av följande kategorier:

- En enhet bestående av flera sensortyper som genererar flera olika typer av rådata. Detta kan exempelvis vara en temperaturmätare kombinerad med en lufttrycksmätare.
- En sensor som genererar rådata som kan tolkas och användas på flera olika sätt. Detta är vanligtvis en videokamera med en AI-enhet för bildanalys som genererar olika typer av data från kamerabilden.

Projektet har varit inriktat på den senare kategorin av lösningar.

Bakgrund till projekten

De detektorer som företrädesvis används för trafikstyrning i Stockholm är induktionsslingor nedfrästa i körbanan. Slingorna reagerar på förändringar i magnetfält när fordon passerar över dem och skickar en analog signal till korsningens styrapparat.

Induktionsslingorna har hög tillförlitlighet så länge de fungerar, men går sönder av vägsitage (främst från tunga fordon) och sågas ofta av vid vägarbeten. Underhåll av induktionsslingor är kostsamt för trafikkontoret och medför även samhällskostnader i form av

trafikstörningar eftersom man måste spärra av körfältet för att kunna utföra reparationer.

Trafikkontoret har tidigare testat olika typer av alternativa lösningar för att ersätta induktionsslingorna, bland annat optiska kameror, radar och IR-sensorer. Vissa korsningar i staden styrs redan idag med bland annat IR-sensorer. Trafikkontorets tidigare erfarenheter av radar är att de fungerar mindre bra i innerstaden pga ekon från husfasader. Både IR-sensorer och radar är begränsade i vilken övrig data som lösningarna kan generera. En utgångspunkt för projekten var att ta dessa erfarenheter vidare för att utreda vad som var möjligt att uppnå med andra tekniska lösningar.

Trafikkontoret har sedan länge använt olika former av kamerabaserade lösningar för trafikflödesmätningar i analysysfte. Det fanns ett intresse att testa om samma lösningar kunde användas för trafikstyrning och samtidigt generera trafikdata för analys och planering.

Utöver dessa två verksamhetsbehov finns de nyttor som kan skapas genom att dela data från multifunktionssensorer i en smart och uppkopplad stad. I ett informationsdrivet samhälle kan stora nyttor skapas genom att samla in, kombinera och analysera olika former av data. För att få tillgång till ett brett spektrum av data kan flera olika datakällor användas, både data som köps från privata aktörer och den data som redan finns i stadens olika verksamhetssystem. Egna sensorer utgör en av flera datakällor. En fördel med egna sensorer är att staden äger sin egen rådata och kan använda den efter egna behov och önskemål, samt sälja datan vidare eller dela den som öppen data.

Genom att dela data från multifunktionssensorer mellan stadens verksamheter kan staden hålla nere antalet sensorer i gatumiljön och samtidigt skapa synergier mellan olika verksamheter och behov. Delning av data från multifunktionssensorer skapar även förutsättningar för utvecklingen av nya tjänster baserade på den data som genereras.

Syfte och mål

Projektens ursprungliga syfte var att samla kunskap om tillgängliga tekniska lösningar för att sedan göra ett breddinförande genom en upphandling. Det blev dock tydligt att det krävdes praktiska tester av sensorteknik och bakomliggande system innan ett breddinförande är aktuellt. Syftet justerades till att genom

upphandling och test ta ett steg mot ett breddinförande av multisensorer och en ökad användning av realtidsdata.

Teknik	Multifunktionssensor		
Funktion	Signalstyrning	Data för trafikmätning	Data för delning
Behov	• Hög (95%) detekteringsgrad på minst 30 m • Detektering av flera trafikantgrupper • Ökad driftsäkerhet • Minskad underhållsbehov • Flexibel placering	• Antal passager • Klassificering • Tidsstämpel • Trafikanttyp • Rörelsemönster • Position • Hastighet • mm	• Behov från fler verksamheter • Videoström för delning • Delning av data till central IoT-plattform

Figur 1: Projektet hade tre övergripande funktionskrav på multifunktionssensorn: signalstyrning, data för trafikmätning samt data för delning.

De mål som ställdes upp för testet av multifunktionssensorer vid projektstart var att utveckla och testa en eller flera lösningar för drift i stadsmiljö med följande funktioner:

- En detekteringsgrad för styrning av trafiksignaler som ligger i paritet med de befintliga induktionsslingorna.
- Förmåga att generera data om olika trafikslag för trafikkontorets analys och planering.
- Förmåga att dela data som kan användas i olika syften och av flera olika verksamheter – såväl inom som utanför Stockholms stad. Ursprungligen fanns även delning av själva videoströmmen till exempelvis polisen med som ett mål, men under processen med ansökan om kamerabevakningstillstånd valdes denna funktion bort eftersom projektet bedömde att detta skulle försvåra/försena erhållande av tillstånd.

Ett mål med projektet var som sagt att öka förståelsen för teknikens begränsningar. Detta tillgodosågs på två vis:

- Projektet upphandlade flera leverantörer som gavs samma uppgifter och samma förutsättningar, för att kunna utvärdera hur olika lösningar presterade och för att få flera perspektiv på de tekniska och verksamhetsmässiga utmaningarna i testet.
- Ett eventuellt breddinförande i staden måste vara ekonomiskt försvarbart och det fanns en önskan om att hålla antalet sensorer så lågt som möjligt. Därför var ett mål att utreda hur långt man kan komma med enbart en sensor som ska uppfylla flera verksamhetsmål. Projektet valde därför en sensorplacering som täckte ett stort område innehållande flera zoner för detektering och räkning.

Vad gäller den trafikdata som multifunktionssensorerna genererar har testet haft som mål att utreda hur insamling, analys och delning av data, såväl historisk som realtidsdata, bör se ut för att bäst möta behoven i en smart och uppkopplad stad. Ytterligare ett projektmål var att ta fram grundläggande förutsättningar för att dela och öppna data till verksamheter och aktörer utanför trafikkontoret.

Upphandling av multifunktionssensorer

Projektets upphandling föregicks av behovsinventering, omvärldsanalys och marknadsanalys som involverade hela projektgruppen. Resultaten dokumenterades i en anskaffningsstrategi som godkändes av projektets operativa styrgrupp före upphandlingen.

Som en del av marknadsanalysen genomförde projektet en leverantörsdialog där projektgruppen träffade nio olika leverantörer under december 2018 för att presentera projektet, stadens strategi för Stockholm som en smart och uppkopplad stad och trafikkontorets behov samt att höra hur leverantörernas lösningar fungerade. Leverantörsdialogen bekräftade vår uppfattning att det fanns flera olika tekniska lösningar baserade på multifunktionssensorer med förmåga att detektera fordon och skicka signal till styrapparat, samt förmåga att samla in trafikdata och skicka denna vidare till en central plattform eller andra verksamhetssystem. De lösningar som uppvisade störst potential utifrån de tre huvudsakliga funktioner som efterfrågades var alla baserade på videokameror tillsammans med AI-enheter för bildanalys. Utifrån leverantörmötena kunde projektgruppen kategorisera de olika lösningarna som presenterats och besluta inriktning på upphandlingen.

Upphandlingen delades upp i två kategorier:

1. Helhetslösning: I denna kategori står leverantören för både sensor och edge computing-enhet (dator med funktion för bildigenkänning), samt ev. tillhörande mjukvara och tjänster som krävs för att säkerställa leverans. Sensor och edge computing-enhet kan vara integrerade, eller separata.
2. Edge computing-enhet för videoanalys: I detta fall används en videoström från befintlig kamera som tillhandahålls av trafikkontoret. Leverantören står för edge computing-enheten och ev. tillhörande mjukvara och tjänster som krävs för att säkerställa leverans.

Upphandlingen genomfördes under våren 2019, med tilldelningsbeslut i juni 2019. Förfrågningsunderlag mm finns diariefört hos trafikkontoret (T2019-01180).

Projektet övervägde flera olika upphandlingsformer där vi kunde främja innovation men samtidigt leda leverantörerna i den riktning staden och trafikkontoret önskade. Innovationshöjden i denna upphandling bestod i:

- Vi upphandlade inte bara hårdvara, utan leverantörernas medverkan i ett utvecklingsprojekt. Både leverantörernas hårdvara och stadens infrastruktur och bakomliggande system skulle testas och utvecklas, vilket ställde höga krav på leverantörernas engagemang och samarbetsförmåga. I anbudan ingick ett genomförandeförslag samt en beskrivning av de personer som ingick i leverantörens projektgrupp.
- Vi upphandlade flera leverantörer för att ingå i projektet, vilket gjorde det möjligt för oss att dels ha både gemensamma möten och individuella träffar för att diskutera olika frågor, dels jämföra leverantörernas resultat med varandra. Upphandlingen genomfördes enligt ett förenklat förfarande, baserat på den tid och budget som fanns för projektet samt på vår uppskattning av marknadspris för den här sortens lösningar. Vi valde bort förhandlat förfarande på grund av den begränsade tiden. Vi satte taket vid upphandlingsgränsen för förenklat förfarande (två miljoner kronor) och tog in så många leverantörer som fick utrymme inom den budgeten, efter en rangordning där vi räknade fram jämförelsepris utifrån anbudspris och avdrag för mervärden.

Vi fick in totalt fem anbud. De tre vinnande anbudan inkom från Qamcom Research and Technology AB, MarshallAI (Kradient Intelligence Oy) samt Viscando AB.

De lärdomar som projektgruppen har dragit av upphandlingen är:

- Det har varit en styrka att en så bred mix av personligheter och kunskaper har varit representerade i projektgruppen. Verksamhetsresurserna från trafikkontoret har kompletterats med en drivande projektledning från programmet.
- Det kan vara utmanande i ett sådant projekt att bibehålla ett lärande och utforskande förhållningssätt och samtidigt vara en tydlig beställare gentemot upphandlade leverantörer, särskilt när projektet drabbades av förseningar.
- Vi hade behövt en tydligare idé kring hur vissa av upphandlingskraven skulle utvärderas.
- Både vi och leverantörerna gick in i samarbetet med olika förväntningar. Marknadsdialogen gav oss bilden att leverantörernas lösningar var mer ”färdiga” än de visade sig vara, exempelvis rörande verktyg för annotering och uppföljning. På motsvarande vis trodde leverantörerna att mer av stadens infrastruktur skulle finnas på plats vid projektstart, samt att vi

skulle ha ett kamerabevakningstillstånd. Vi hade kunnat vara ännu tydligare i upphandlingen vad deltagandet i detta utvecklingsprojekt innebar och att vi arbetade mot ett rörligt mål – många förutsättningar fanns inte på plats när vi började.

- Projektets utforskande karaktär har främjat en öppen och transparent dialog med leverantörerna under hela genomförandet, vilket har varit mycket givande. Många av de lärdomar som kommit fram i projektet är ett resultat av just dessa öppna diskussioner. Detta tycker vi är viktigt att ta med i nästa steg – se till att avtal med leverantörer av multifunktionssensorer ger utrymme för anpassning och utveckling.

Kamerabevakningstillstånd

I 3 § Kamerabevakningslagen (2018:1200) anges vad avses med tillståndspliktig kamerabevakning:

Med kamerabevakning avses

1. att en tv-kamera, ett annat optisk-elektroniskt instrument eller en därmed jämförbar utrustning, utan att manövreras på platsen, används på ett sätt som innebär varaktig eller regelbundet upprepad personbevakning, [...]

Kamerabevakningslagen är tillämplig om en kamera används på ett sätt som innebär *varaktig* eller *regelbundet upprepad* personbevakning. Projektet har haft löpande kontakt med Datainspektionen och har utifrån detta gjort följande bedömningar:

- Vad som är att avse som varaktig eller regelbundet upprepad måste avgöras från fall till fall. Det går inte att fastslå en viss tidsperiod eller ett antal tillfällen.
- Kriteriet för vad som är varaktig eller regelbundet upprepad personbevakning kan uppfyllas redan vid korta tillfällen i en vältrafikerad korsning, eftersom det rör sig mycket människor där.
- Att vid något tillfälle testa kameran under en kort period för att se att tekniken fungerar bör dock inte vara att anse som varaktig eller regelbundet upprepad personbevakning.

Projektet har gjort bedömningen att kamerorna kan slås på vid ett fåtal kortare tillfällen under en installationsperiod, utan att det krävs ett kameratillstånd. För driftsättning av lösningarna däremot behövs ett kamerabevakningstillstånd trots att syftet med multifunktionssensorerna inte är att behandla eller lagra personuppgifter – själva bildbehandlingen i sig räcker för att användningen ska vara tillståndspliktig. Denna bedömning bygger på de juridiska rådgivares genomgång av lagtexten, propositionen och förarbetet för lagen samt på samtal med jurister på Datainspektionen.

Projektet ansökte om kamerabevakningstillstånd i mars 2019 och tillståndet beviljades i slutet på april 2020 (dnr DI-2019-4132) med särskilda villkor om skyltning, bevakning i realtid, inspelning/lagring av bilder samt maskning av kamerabilden så att upptagningsområdet begränsas till enbart det som behövs för ändamålet.

Skyltning

15 § Kamerabevakningslagen (2018:1200) anger att upplysning om kamerabevakning ska lämnas genom tydlig skyltning eller på något annat verksamt sätt. Vårt kamerabevakningstillstånd innehåller villkor om att upplysningsplikten ska uppfyllas genom tydlig skyltning i anslutning till bevakat område.

Inför driftsättning monterades därför skyltar på fyra platser i korsningen, enligt figuren nedan:



Figur 2: Skyltarnas utformning och placering

Förutom att informera om testet så innehöll skyltarna information om smart stad-programmets hemsida och Tyck till-appen samt kontaktuppgifter till trafikkontorets dataskyddsombud.

Bevakning i realtid

Kamerabevakningstillståndets villkor om bevakning i realtid innebär att videoströmmen endast får användas för att verifiera att utrustningen är påslagen och fungerar, att kontrollera att kamerorna är riktade korrekt samt för att rita ut och korrigera de zoner där trafiken registreras. Denna typ av användning får inte ske under längre tid än vad som är nödvändigt för ändamålet.

Detta stämmer överens med den beskrivning av planerad användning som projektet lämnat in till Datainspektionen. Villkoret innebär ingen begränsning för leverantörernas möjlighet att göra anpassningar/utveckling i testet.

Inspelning och lagring av bilder

Enligt kamerabevakningstillståndet får inspelning och lagring endast ske i syfte att verifiera kvaliteten på trafikdatan som genereras. Inspelning och lagring får endast ske vid max tre tillfällen och som längst 24 timmar per tillfälle. Villkoret innebär även att det inspelade materialet ska raderas omedelbart efter att syftet med bildinspelningen är uppnått.

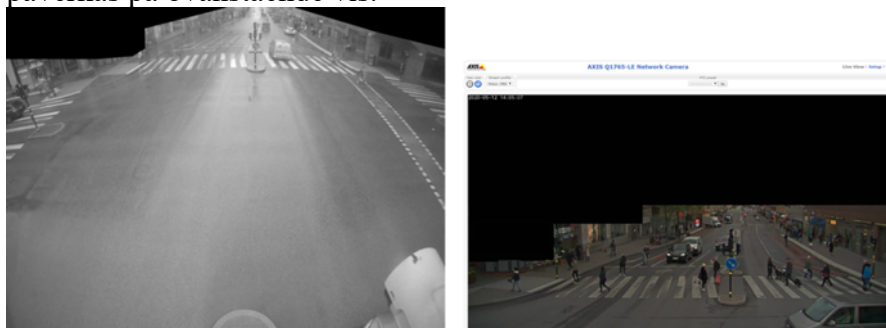
Detta villkor begränsar möjligheterna till iterativ utveckling och anpassning av lösningarna. Leverantörerna behöver inspelat videomaterial från korsningen för att annotera och ta fram en ”ground truth” eller referenspunkt för trafikräkning och klassificering. Projektet behöver tillgång till inspelat videomaterial för vår uppföljning. Ett mindre restriktivt villkor gällande inspelning och lagring av videomaterial hade underlättat arbetet för leverantörerna. För framtida multifunktionssensorprojekt kan det vara värdefullt med en närmare dialog med Datainspektion kring behovet av tillgång till videomaterial i olika stadier av införandet av den här sortens tillämpningar, samt i ett tidigt skede ta in leverantörens behov – när vi sökte kamerabevakningstillstånd i projektet hade vi inte full kunskap om hur leverantörerna avsåg att arbeta eller vilket behov av inspelat material de skulle komma att ha. När en sådan här lösning är i drift och man har verifierat att den fungerar så behövs inte inspelat videomaterial i samma utsträckning, men just vid utveckling/anpassning och utvärdering så är videomaterial en förutsättning för effektivt arbete.

Maskning

Kamerabevakningstillståndets villkor om maskning innebär att kamerorna måste riktas eller maskas så att fönster på byggnader ovanför gatunivå och uteserveringen vid entrén till Västermalmsgallerian inte bevakas.

Axiskameran har funktion för maskning och vi ställde krav på motsvarande funktion vid upphandlingen av multifunktionssensorerna. En oförutsedd effekt av maskningen var dock att funktionen för att övervaka bildkvaliteten påverkades för en av leverantörerna. Funktionen är baserad på kontinuerlig jämförelse av statiska områden i bilden. I det här fallet hade man valt att jämföra förlängningen av linjerna i fönsterraderna på den högra fasaden – dels för att övervaka hur tydligt de syns, dels för att upptäcka om kameran är ur position. Vi kan utgå från att maskning av allt utom själva trafiksituationen kommer att ingå som villkor även i kommande kamerabevakningstillstånd. Detta bör man informera om vid kommande upphandlingar av

multifunktionssensorer, för att undvika att lösningarnas funktion påverkas på ovanstående vis.



Figur 3: Maskning av kamerabilder i Viscandos sensor och i Axis-kameran.

Genomförande av testet

Montering i korsningen

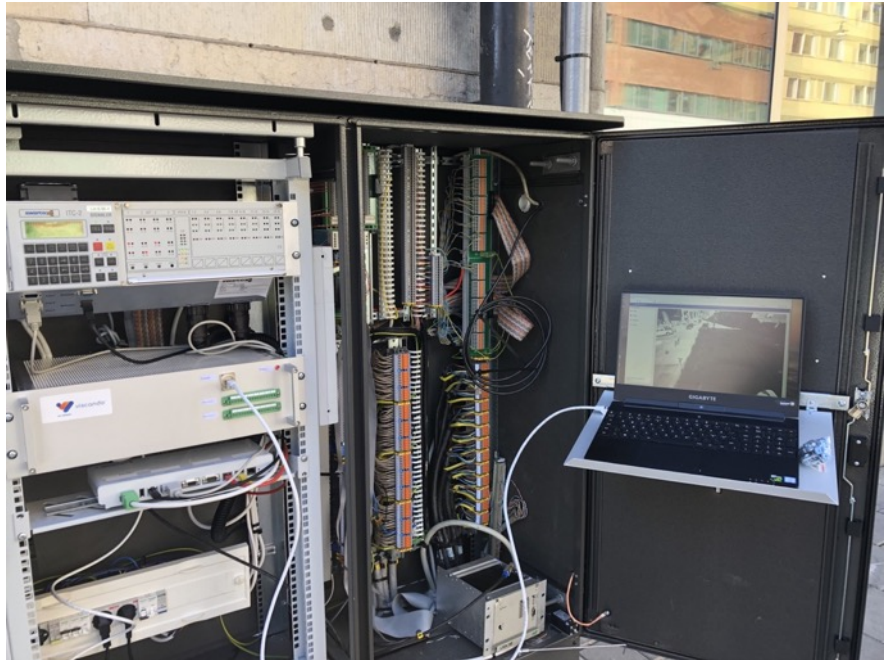
Kamerakomponenterna av multifunktionssensorerna monterades på en förlängd stolpe i mitten av vägen i korsningen Sankt Eriksgatan-Fleminggatan, riktade norrut längs Sankt Eriksgatan. Sensorerna monterades på 5,5 meters höjd. Detta är den maximala höjden som gick att uppnå med en förlängningsarm på befintlig signalstolpe utan att förstärka stolpens fundament, vilket vi ville undvika eftersom det skulle kräva en speciallösning då tunnelbanan går precis under gatan och det inte är möjligt att gräva särskilt djupt.

Edge-utrustningen som inte är integrerad med sensorerna monterades i närliggande styrschåp, där strömförsörjning och anslutning till nätverk var förberett. Sensorerna i stolpen anslöts till utrustningen i styrschåpet med ethernetkabel, vilken även försåg sensorerna med ström via PoE (Power over Ethernet).

Viscando använde sin egen Otus3D stereoskopiska kamera. MarshallAI och Qamcom använde den kamera vi valt för testet, AXIS Q1765-LE Network Camera, med en upplösning om 1920x1080 bildpunkter, 30/25 fps. Denna kamera valdes för att den vid tillfället var en av trafikkontorets standardkameror för trafikinstallationer.



Figur 4: Viscando Otus3D överst och under Axis Q1765-LE Network Camera.



Figur 5: Montering i styrskåp

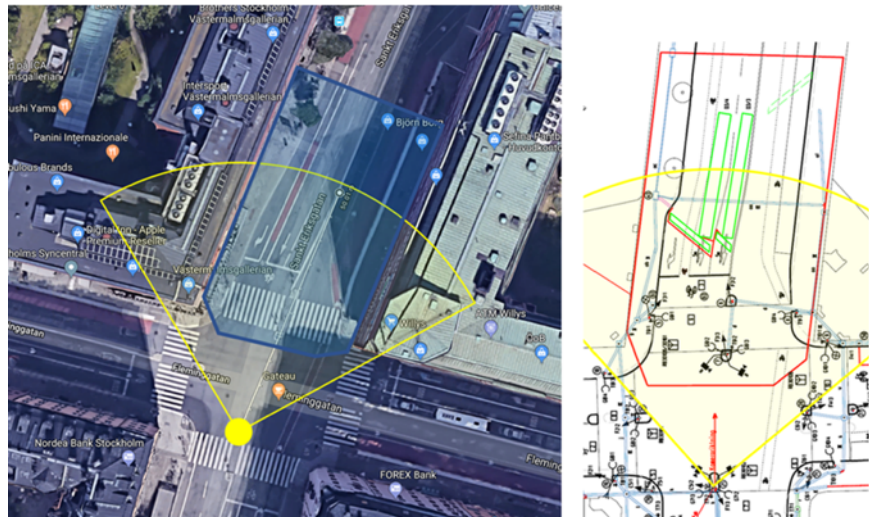
I upphandlingen ställdes krav på hårdvarans utformning och fysiska dimensioner, men det visade sig i realiteten ändå att det var utmanande att få plats med tre leverantörers hårdvara i styrskåpet. Det blev både trångt och varmt i styrskåpet, och all testutrustning på platsen försvårar underhåll och felsökning av övrig styrutrustning för trafikkontorets driftentreprenörer. Detta gav inte upphov till några incidenter under projektet men bör ändå noteras för framtida test.

Det uppstod en viss förvirring kring ansvarsfördelningen leverantör-projektet-trafikkontorets entreprenör vad gäller monteringen av utrustningen. Vår plan var att entreprenören skulle montera hårdvaran i styrskåpet, men det slutade med att projektet gjorde det tillsammans med resurser från trafikkontoret. En lärdom från detta är att montering och konfigurering av den här sortens utrustning går utanför de vanliga leveranserna för trafikkontorets driftentreprenörer, vilket innebär att projektet måste bemannas för att lösa uppgiften.

Vid installation av leverantörernas edge-utrustning uppstod problem med jordpunkter vilket resulterade i att två portar i en switch brann upp. Den här gången gick det bra, ingen övrig utrustning påverkades, men frågan om ansvar vid denna typ av pilotinstallation är intressant. Situationen hade kanske kunnat undvikas om projektet

hade haft tillgång till en testmiljö som replikerade förutsättningarna i korsningen.

För en utförlig beskrivning av den tekniska utrustning och infrastruktur som ingår i testet, se bilaga *Teknik och infrastruktur Multifunktionssensor*.



Figur 6: Området för testet, korsningen Flemingsgatan-Sankt Eriksgatan

Struktur och projektledning under testet

Inför upphandlingen hade vi en tydlig plan för hur testet skulle genomföras. Vi satte upp ett antal milstolpar för oss och leverantörerna att arbeta mot och uppnå stegvisa förbättringar i lösningarna som testas. Detta gav en bra struktur för att hålla kontroll över utvecklingstestet och kunna utvärdera de ingående delarna.

Milstolpe	Datum	Beskrivning
M1	12 aug 2019	Hårdvara finns tillgänglig för montering och installation
M2	1 dec 2019	Lösningen i drift: • Detektering igång (inklusive fungerande kommunikation med styrapparat) • Klassificering igång Delrapport 1 från leverantör: • Redovisning av erfarenheter från installation och driftsättning • Avstämning mot de funktionella kraven • Riskbedömning avseende informationssäkerhet för den tekniska

		lösningen, inklusive plan för åtgärder av identifierade risker.
M3	1 feb 2020	Leverans av insamlad data enligt funktionella krav till trafikkontoret för kvalitetskontroll
M4	1 mar 2020	Funktion för att leverera kvalitetssäkrad trafikdata enligt funktionella krav i realtid är utvecklad och tillgänglig
M5	1 apr 2020	Samtliga krav uppfyllda Delrapport 2 från leverantör: • Analys av lösningens funktion under icke optimala förhållanden (snö, mörker, låg sol etc.) • Analys av datakvalitet och påverkande faktorer
M6	1 jun 2020	Samtliga mervärden som leverantören åtagit sig i sitt anbud är uppfyllda Delrapport 3 från leverantör: • Avstämning mot mervärden enligt åtagande – övrig mätdata och analyser som gagnar den smart och uppkopplade staden
M7	1 aug 2020	Slutrapport från leverantör: • Samlad redovisning av funktioner, drift och erfarenheter från projektet • Rekommendationer för Beställarens fortsatta utveckling och förslag på uppskalning
M8	31 aug 2020	Hårdvara återhämtad

Figur 7: Ursprungliga milstolpar

Projektet drabbades dock av två betydande förseningar – den första var att driftstarten försköts i väntan på kamerabevakningstillstånd och den andra var att leverans av sensordata i realtid försenades till följd av förseningar i upphandlingen av den centrala IoT-plattformen.

Dessa faktorer, tillsammans med de utmaningar kring bland annat användarkonton, serverbehörigheter och brandväggsöppningar som uppstod till följd av stadens migration till en ny it-leverantör, gjorde att vi tvingades ändra projektets tidplan och milstolpar i flera steg.

Smart trafikstyrning
19 (46)

Milstolpe	Datum	Beskrivning
M1	12 aug 2019	Hårdvara finns tillgänglig för montering och installation
M2	1 dec 2019	Lösningen monterad och testad: • Detektering (inklusive fungerande kommunikation med styrapparat) • Klassificering Delrapport 1 från leverantör: • Redovisning av erfarenheter från installation och driftsättning • Avstämning mot de funktionella kraven • Riskbedömning avseende informationssäkerhet för den tekniska lösningen, inklusive plan för åtgärder av identifierade risker.
	18 maj 2020	Lösningen i drift
M3	1 juni 2020	Leverans av insamlad data enligt funktionella krav till trafikkontoret för kvalitetskontroll • Granskning av större volymer trafikdata • Första kontroll av signalstyrning
M4	1 mar 2020	Funktion för att leverera kvalitetssäkrad trafikdata enligt funktionella krav i realtid är utvecklad och tillgänglig Ströks, ersattes med överenskommelser om anrop till mottagande-API i stadens tjänsteplattform under hösten 2020
M5 och M6	24 aug 2020	Delrapport 2 från leverantör: • Analys av lösningens funktion under icke optimala förhållanden (snö, mörker, låg sol etc.) • Analys av datakvalitet och påverkande faktorer • Avstämning mot mervärden enligt åtagande – övrig mätdata och analyser som gagnar den smart och uppkopplade staden
M7	20 nov 2020	Samtliga funktionella krav uppfyllda Samtliga mervärden som leverantören åtagit sig i sitt anbud är uppfyllda Trafikdata levereras via API till stadens dataportal

		Slutrapport från leverantör: • Samlad redovisning av funktioner, drift och erfarenheter från projektet • Rekommendationer för Beställarens fortsatta utveckling och förslag på uppskalning
M8	20 apr 2021	Projektet avslutas Hårdvara återhämtad

Figur 8: Anpassade milstolpar

Våra lärdomar från planeringen och ledningen av det här testet är att det arbetssättet med milstolpar för uppfyllnad av de olika funktionella kraven har varit värdefullt trots att det har varit ett långt projekt och ett delvis rörligt mål – strukturen har ändå fungerat väl. Kombinationen av krångel med leverantörernas användarkonton och servrar och den försenade driftstarten tog tillfälligt luften ur projektet och påverkade leverantörernas entusiasm. Dock hittade vi tillbaka till ett positivt arbetsklimat på slutet, där alla gjorde sitt yttersta inför sista utvärderingen.

Informationsklassningar

Informationsklassningen skedde i två steg:

- A. Tidigt i projektet, före upphandling
- B. Före driftsättning

Till stöd vid informationsklassningarna användes stadens processer och Sveriges kommuner och regioners, SKR, verktyg Klassa.

Då lösningarna bestod av dels en IoT-del i Edge (dvs ute i den fysiska korsningen), samt Machine Learning-logik (även den i korsningen), dels mer klassiska servrar i stadens it-miljö samt att trafikdata som genererades skulle vara delad och öppen, ställdes många nya krav på informationsklassningen. Klassa-verktyget i sin dåvarande utformning var mer lämpat åt klassiska verksamhetssystem. Under projektets gång genomförde SKR ett arbete för att anpassa Klassa efter IoT-lösningar, men den versionen av Klassa hann vi aldrig använda.

Lösningen hanterar en live-videoström från en korsning med en stor mängd fotgängare, cyklister och bilister. Därför klassas videoströmmen som att den kan innehålla känsliga personuppgifter, vilket ger värdet 3 för konfidentialitet i Klassa. Denna hårda klassning fick sätta prägeln på hela projektets it-lösning på så sätt att vi hade höga krav på hur och vilka som skulle kunna logga in i

lösningen och då kunna se videoströmmen. Vidare så byggde vi ett starkt skalskydd med säkrade brandväggar och nedlåst kommunikation. Ingen del av Edge hade kontakt med internet. Videomaterialet har inte fått lämna stadens it-miljö. Inloggning har skett via stadens inloggningslösning med BankID eller tjänstekort. Då själva Edge-maskinerna inte var placerade i en serverhall utan i gatan så satte vi upp säkrade ”hopp-serverar” som bara kunde användas via stadens Citrix-lösning efter lyckad inloggning med BankID eller tjänstekort. Det krävdes också ett speciellt serveradministrationskonto för att kunna logga in på dessa hoppserverar.

Risikanalyser

Risikanalysen skedde även den i två steg, en tidigt i projektet och ytterligare en serie riskanalyser där vi genomförde enskilda riskanalys-workshops med respektive leverantör inför driftstart.

Då lösningen skulle vara säker nog att hantera personuppgifter i den utsträckning sådana förekommer i videoströmmen fick vi ut en lång checklista från risikanalysen. Denna lista delades in i olika ansvarsområden och betades sedan metodiskt av. Projektet hade säkerhetsresurser som stöd i detta arbete. Många av de punkter som fanns med i checklistan var ej applicerbara på den lösning som vi tog fram, vår inställning var dock att hellre täppa till och skruva åt än att släppa igenom något.

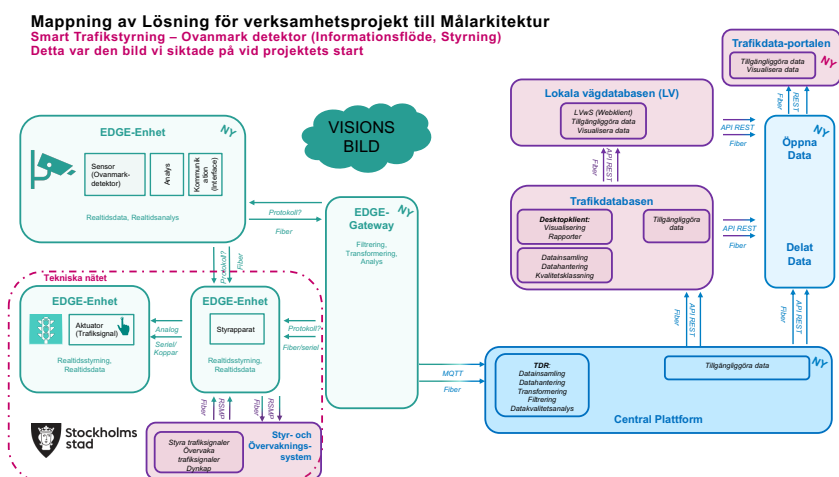
Några saker som vi stötte på var t.ex. att när man beställde en server i staden så var den som standard inte krypterad. Det var även svårt att få tillgång till certifikat för multifaktorsinloggning mellan ”hopp-servern” och Edge-utrustning. Projekt tog stöd av säkerhetsexperter för att se över hela lösningen. Den bedömning projektet gjorde var att det var tillräckligt att kräva BankID/tjänstekort som inloggning, se till att all kommunikation från Edge var krypterad samt att inte släppa ut videoströmmen utanför stadens it-miljö.

Vårt kamerabevakningstillstånd gav oss rätt att under tre separata dygn spela in videomaterial från multifunktionssensorerna för att använda vid utveckling av lösningen samt för utvärdering. Projektet upprättade loggfiler för när och vem som fysiskt tittade på videoströmmen och när inspelning skedde. Dessa loggar har kontrollerats under projektets gång.

Mapping av testets ingående delar mot målarkitekturen

I testerna arbetade vi hela tiden utifrån en målarkitektur som beskriver den övergripande tekniska designen för hela den tänkta lösningen. Detta har varit värdefullt för att kunna resonera och diskutera med alla berörda personer om var i lösningen olika förmågor hör hemma och hur nya systemkomponenter är tänkta att interagera med befintliga verksamhetssystem.

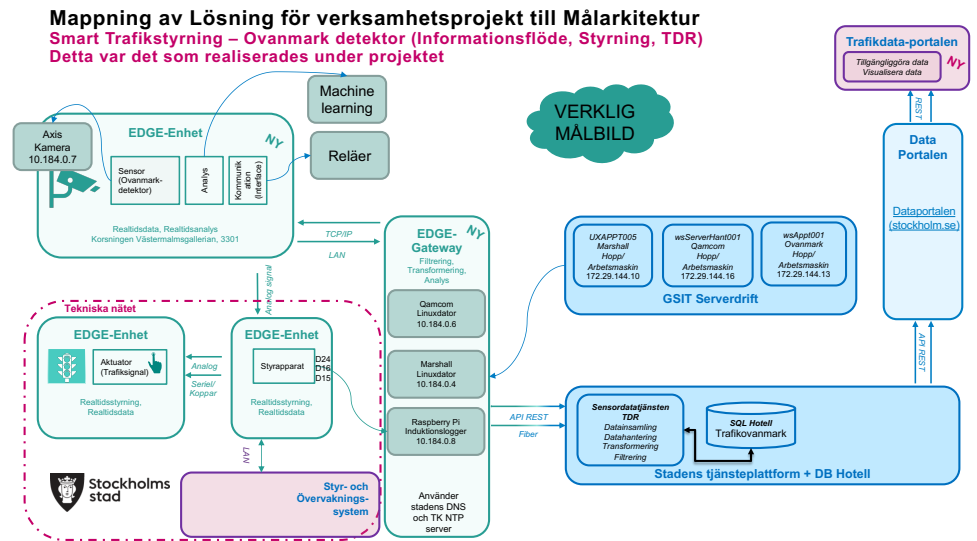
Figuren nedan visar den målbild som projektet tog fram till sommaren 2019. Två av våra leverantörer, MarshallAI och Qamcom, skulle dela på en Axis-kamera och Viscando, den tredje leverantören, skulle sätta upp sin egen stereoskopiska 3D-kamera.



Figur 9: Planerad målbild för testet

Alla leverantörer skulle dessutom ha edge-utrustning i form av en Machine Learning-accelerator samt en mindre Linuxdator monterad i trafikskåpet i korsningen. Leverantörernas ML/AI lösningar skulle tolka och behandla kamerasignalen från multifunktionssensorn och skicka vidare resultatet till IoT-plattformen. Från IoT-plattformen skulle sedan realtids trafikdata flöda vidare i aggregerad form till trafikkontorets verksamhetssystem Trafikdatabasen (TD) via en tjänst, TDR (Trafikdata realtid), som skulle byggas i IoT-plattformen. Realtidsdatan skulle även tillgängliggöras via Öppen och delad data (ÖDIS).

Förutsättningarna för vårt test ändrades dock genom förseningar i införandet av den centrala IoT-plattformen, samt att det inte fanns kalendertid i mottagande TD-system för att ta emot denna nya trafikdata (då hela projektet skjutits i tid på grund av lång väntan på kamerabevakningstillstånd).



Figur 10: Verklig målbild för testet utifrån anpassningar under 2019-2020

Den slutgiltiga bilden av vad vi verkligen byggde och levererade i projektet visas i figur 9 ovan. Vi behöll strukturen från målarkitekturen men tog in stadens tjänsteplattform istället för IoT-plattformen. Ute i Edge byggde vi en lösning baserad på Raspberry Pi som kunde ansluta till styrapparaten i korsningen för att skapa loggfiler från de induktionsslingor som vi använde som referens mot våra leverantörer vid utvärdering av funktion för signalstyrning. I den slutliga lösningen behövdes även en ”hopp-server” per leverantör. Dessa var servrar inom GSIT som leverantörerna använde för att nå sin Edge-utrustning, samt för att själv kunna anpassa och utveckla sina lösningar.

Metod för utvärdering

Den 12 oktober 2020 genomförde projektet ett kontrolldygn inför den sista utvärderingen. Syftet var att kontrollera att all utrustning fungerade, att ge leverantörerna ett dygns videomaterial för annotering och trimning av lösningarna, samt att validera projektets interna metodik för uppföljning.

Utvärdering av trafikräkning och trafikstyrning

I anslutning till milstolpen om fullständig kravuppfyllnad kom vi tillsammans med leverantörerna överens om ett dygn då funktioner för trafikräkning och trafikstyrning skulle utvärderas. Detta dygn bestämdes till den 16 november.

För projektets utvärdering av lösningarnas funktion har vi använt de loggfiler som leverantörernas lösning genererar utöver den strömmade datan till tjänsteportalen. Varje leverantör levererar en loggfil för trafikräkning och en för trafikstyrning för hela dygnet. Utöver detta har vi även tillgång till inspelat videomaterial från Axiskameran under utvärderingsdygnet.

Den lärdom vi drar av själva formen för utvärderingen är att manuell granskning av videomaterial tar mycket tid i anspråk. Det hade varit lättare om vi kunde arbeta direkt i leverantörernas lösningar för att se detekteringszonerna och klassificeringen ”live” för att göra vår uppföljning. Utifrån leverantörmötena som föregick upphandlingen trodde vi nog att sådana verktyg skulle finnas redo. Samtidigt kan det behövas strukturerade metoder för uppföljning som är oberoende av leverantörer.

Signalstyrning

För utvärdering av signalstyrning har vi använt en egenutvecklad hård- och mjukvarulösning baserad på enkortsdatorn Raspberry PI för att generera loggfiler från induktionsslingorna i korsningen. Loggfilerna visar när induktionsslingorna detekterar ett fordon och detta sparas då med tidkoder i loggfilen. Denna loggfil kan sedan jämföras med leverantörernas trafikstyrningsloggar. Vi har även utnyttjat den funktion för plot-diagram som finns i Qamcoms lösning för att visualisera timme för timme hur leverantörernas loggar matchar induktionsloggen. Plotten ritar grafiskt ut beläggningstiderna för de olika filerna i gatan från induktionsloggen och leverantörernas egna loggar. Utöver detta har vi använt ett specialutvecklat verktyg för plot-diagram, men med skalan satt på 1

sekund, för att granska om detektering sker tidigt eller sent eller kanske inte alls. Dessa plottar motsvarar den visualisering som är möjlig att ta fram i Omnia, men är mer lättanvänd. För att komplettera detta har vi även granskat videomaterial för att se hur loggarna motsvarar verkligheten i korsningen.



Figur 11: De linjer som användes för vår manuella räkning av klasser/passager vid uppföljningen

Trafikräkning

För utvärdering av trafikräkningen har vi gjort stickprov. Vi har granskat videomaterial och gjort en manuell räkning med hjälp av en Excelmall. För de vanligast förekommande klasserna och zonerna har vi räknat upp till 200 passager, för övriga har vi räknat passager under 15 minuters-perioder. Vi har sedan jämfört våra resultat mot leverantörernas loggar för samma tidsperioder.

Data för delning

För uppföljning av leverantörernas leverans av data till tjänsteplattformen så har tjänsten Sensordata använts, där API-anrop har gjorts per leverantör för att granska inrapporterad data. Genom detta har vi kunnat konstatera att trafikdatan kommer in i tjänsten rad för rad i nära realtid enligt krav.

Resultat

Sammanfattade resultat

Signalstyrning:

- Vid goda ljus- och väderförhållanden är det möjligt att uppnå en god prestanda och tillförlitlighet i detektionen av större objekt (motocyklar och större) för signalstyrning. Det krävs dock vidare utveckling och utvärdering innan de här lösningarna kan ersätta dagens induktionsslingor.
- Detektering för signalstyrning är en ”lättare” uppgift sett till bildigenkänning än klassificering av olika fordonsslag. Däremot tillkommer tekniska utmaningar med att översätta detekteringen till en signal som styrapparaten kan läsa.
 - I vårt test har vi jämfört signalerna från multifunktionssensorerna med induktionsslingans signaler, vilket innebär att dessa signaler behöver matcha varandra tidsmässigt.
 - Induktionsslingan i vår korsning är inte en optimal ground truth för denna typ av utvärdering. Cyklar triggas ibland induktionsslingan och vi har sett flera exempel på överhörning mellan körfälten när bussar passerar.

Trafikräkning:

- Leverantörernas lösningar fungerar väl under goda ljus- och väderförhållanden och det finns stora möjligheter att förbättra resultaten ytterligare genom att anpassa kameraplaceringen, använda flera sensorer samt vidareutveckla algoritmerna för bildigenkänning.
- Testet har visat att det går att klassificera bilar och gående som korsar övergångsstället med god tillförlitlighet vid gynnsamma väder- och ljusförhållanden.
- För mindre objekt, som cyklar och fotgängare på trottoarerna, fungerar lösningarna generellt sämre.
 - Här finns dock utvecklingspotential vad gäller de algoritmer som används för klassificeringen.
 - En annan kameraplacering, där man kan se cyklarna snett från sidan, hade underlättat klassificeringen. Mycket tyder på att en annan kameraplacering hade gett bättre resultat.
 - För fotgängare på trottoarerna skulle kameran behöva komma närmare räknezonen för bättre resultat.

Data för delning:

- Testet har visat att det går att bygga den här sortens lösningar inom stadens IT-miljö, från montering i korsningen och i styrskåp, via nätverk levererat av Sankt Erik kommunikation, till servrar inom stadens it-miljö och inloggning via ID-portalerna, till en API-tjänst inom tjänsteplattformen/Dataportalen där den trafikdata som genereras publiceras som öppna data. Det har dock krävts en relativt stor arbetsinsats för att få helheten på plats – stadens processer för beställningar av användarkonton, servrar, brandväggsöppningar mm är mer anpassade för traditionella verksamhetssystem än IoT-tillämpningar.
- Multifunktionssensorerna har levererat trafikdata till Sensordatatjänsten enligt uppsatta mål.
 - Multifunktionssensorerna genererar trafikdata enligt den datamodell som togs fram inom projektet. Sensordatatjänsten kan dela datan enligt denna modell, eller översätta den till NGSI Fiware-datamodellen TrafficFlowObserved

Kameraplaceringen är avgörande

Kamerornas placering innebär att hela gatan inklusive trottoarerna på Sankt Eriksgatan norrut finns med i upptagningsområdet. Ett av målen med testet var att fånga upp hela gatans flöden, inklusive trottoarerna. Men placeringen innebär även att de detekteringszoner och räknelinjer vi vill undersöka börjar ca 30 meter ifrån kameran, vilket är förhållandevis långt och innebär att mindre objekt som fotgängare och cyklar blir svårare att identifiera. Generellt är en kameraplacering där man kommer närmare detekteringszonerna att föredras, men i vårt fall skulle det i så fall innebära att vi förlorar möjligheten att se båda trottoarerna.



Figur 12: Avstånd från Axiskameran till trottoarkanter och stopplinje.

Det är också lättare att klassificera objekt om kameran är placerad snett framifrån än rakt framifrån. Att täcka hela vårt intresseområde

från sidan i det här testet hade dock krävt en högre kameraplacering än vad som var möjligt.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att en högre och närmare kameraplacering som ”tittar” snett från sidan har flera fördelar:

- Objekt blir ”större” och lättare att identifiera
- Ju högre upp man kommer desto mindre blir risken att fordon i upptagningsområdet skymmer varandra
- En brantare betraktningvinkel ger lägre risk att kameran bländas av bilars strålkastare eller lågt stående sol
- Det är lättare att klassificera objekt om man ser dem snett från sidan, snarare än rakt framifrån.
- En brantare vinkel på linsen gör att snö, regn och kondens rinner av snabbare. Detta kan till viss del kompenseras med linsskydd/huva

Punkterna ovan hade kunnat tillgodoses i vårt test med en annan kameraplacering, men då hade vi inte kunnat täcka in alla de flöden som ingick i testet med en kamera. Två eller flera kameror hade varit nödvändiga.

Påverkan från väder och ljus

Under testet har våra leverantörer utvärderat effekterna av olika väder- och ljusförhållanden. De viktigaste lärdomarna sammanfattas nedan:

- Bilars strålkastare påverkar på kvällen. Korsningen är så pass väl upplyst att mörker i sig inte är ett problem. Däremot uppstår ibland situationer där bilars strålkastare blir väldigt dominerande i kamerabilden i förhållande till de objekt som ska detekteras och klassificeras. Detta är inte ett stort problem för detekteringen (man kan fortfarande avgöra att det finns *något* i detekteringszonen), men klassificeringen blir mer utmanande. Detta kan till viss del hanteras genom att justera lösningarna och kamerainställningar, men det bästa sättet att eliminera dessa störningar är att anpassa kameraplaceringen så att kameran kommer högre upp i förhållande till bilarna.
- Regn och snö på linsen påverkar prestandan. Axiskameran har ett linsskydd som till viss del avhjälper detta, men ett större skydd eller något slags tak för kameran skulle kunna underlätta.
- Regnväder orsakar även reflektioner från strålkastare på den våta asfalten. Detta kan hanteras i nuvarande lösningar, men ytterligare justeringar kan ge ännu bättre prestanda.
- Lågt stående sol har inte varit ett problem i vårt test, men har ändå lyfts som en potentiell utmaning vid en uppskalning. Om man monterar kameran så att lågt stående sol lyser rakt in i

kameran så kommer ingen lösning att fungera. Detta kan avhjälpas genom att se till att man har tillräckligt brant betraktningsvinkel på kameran, eller kompletterande sensorer som är riktade åt olika håll och kan täcka upp för varandra.

- Lösningarna är inte särskilt känsliga mot den sorts dimma som vanligen förekommer i staden. I en riktigt tjock dimma där ett mänskligt öga inte kan särskilja föremål på 30 meter kommer inte kamerabaserade lösningar heller fungera, men i "vanlig" dimma förväntas prestandan vara fortsatt hög.

Flera faktorer samtidigt, exempelvis mörker och dåligt väder med reflektioner i gatan och regndroppar på linsen, medför kombinationer av flera små försämringar i prestanda som tillsammans kan påverka funktionen märkbart (framförallt klassificering och räkning).



Figur 13: En kombination av påverkande faktorer vid dåligt ljus och väder leder till kraftigt försämrad bildkvalitet

Leverantörernas deltagande vid utvärderingen

I den sista utvärderingen den 16 november 2020 deltog MarshallAI och Qamcom.

Under våren 2020 pausade Viscando sitt deltagande i projektet till följd av permitteringar på grund av Covid-19. Under hösten 2020 hade Viscando svårt att delta fullt ut igen som planerat, och vi kom därför gemensamt överens om att avsluta Viscandos medverkan i projektet i förtid. Viscando levererade dock loggar för den 12 oktober, vilket utgjorde underlag för vår utvärdering av deras lösning. Viscando har räknat samma snitt som vid M2 i december 2019, vilket endast är en del av de snitt som projektet efterfrågat. I

avsnittet om trafikstyrning redovisas därför Viscandos siffror som detekteringsgrad i procent jämfört med projektets kontrollräkning från 12 oktober.

Signalstyrning

Detektering för signalstyrning är en ”lättare” uppgift sett till bildigenkänning än klassificering av olika fordonsslag. Däremot tillkommer tekniska utmaningar med att översätta detekteringen till en signal som styrapparaten kan läsa. I vårt test har vi jämfört signalerna från multifunktionssensorerna med induktionsslingans signaler, vilket innebär att dessa signaler behöver matcha varandra tidsmässigt.

Utifrån det här testet kan vi dra slutsatsen att AI-baserade system med en kamera kan ersätta induktionsslingor för detektering och signalstyrning om man kan acceptera försämrad prestanda vid utmanande väderförhållanden, då styrapparaten kan falla tillbaka till tidsstyrd signalreglering. För att gardera sig mot alla tänkbara väderförhållanden behöver sannolikt en kombination av sensorlösningar användas.

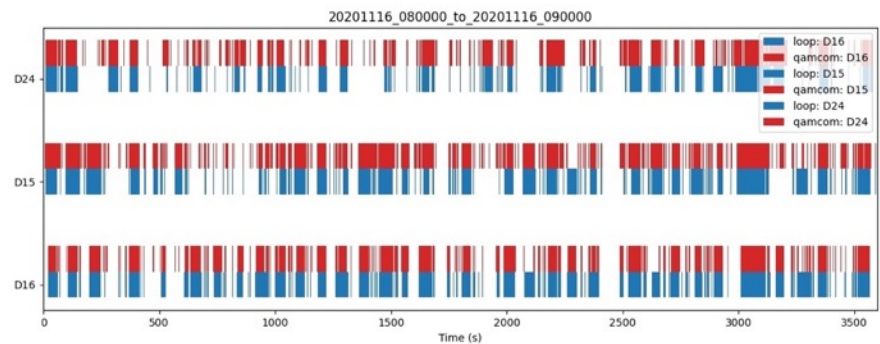
- Vid goda ljus- och väderförhållanden är det möjligt att uppnå en mycket god prestanda och tillförlitlighet i detektionen av större objekt (motorcyklar och större) för signalstyrning.
- Prestanda vid dåligt väder har inte kunnat utvärderas på grund av den försenade driftsättningen – vi har helt enkelt inte haft något kraftigt regn eller snöfall under testperioden. Vi kan dock anta att prestandan i kamerabaserade lösningar sjunker vid sämre väder eftersom kraftigt regn, snöfall och dimma utgör fysiska hinder som blockerar kamerans vy. Detta behöver utredas vidare och funktioner för att automatiskt larma när externa faktorer gör att lösningarnas detekteringsförmåga understiger acceptabla nivåer behöver verifieras.
- Signalstyrning baserad på detektering av mindre objekt (cyklar och fotgängare) har inte testats. Det bör dock gå att optimera systemen för även denna tillämpning. I just det här testet är kameraplaceringen begränsande vad gäller detektering av cyklar.

Granskning av loggar

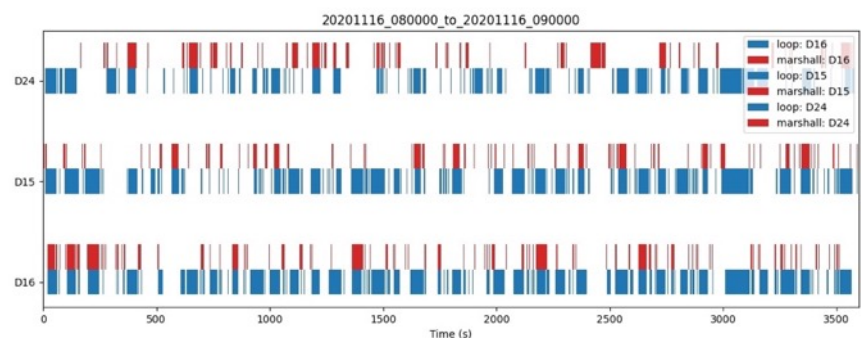
Båda leverantörer har svårt att hålla en konstant beläggningssignal, t.ex. 40 sekunder vid rött. Troligen pga att de utgått från räkningslogiken, där varje fordon ska räknas för sig. I trafikstyrning så behöver man mer tänka ”händelse”, dvs ett fordon sätter signalen HÖG, resterande fordon inom samma zon förlänger bara beläggningstiden. I det här testet hade det varit bättre med en

händelsebaserad logik, då vi försökt efterlikna induktionsslingans signaler.

Nedan ges exempel från trafiksignalloggarna för Qamcom respektive MarshallAI, visualiserat med Qamcoms verktyg.



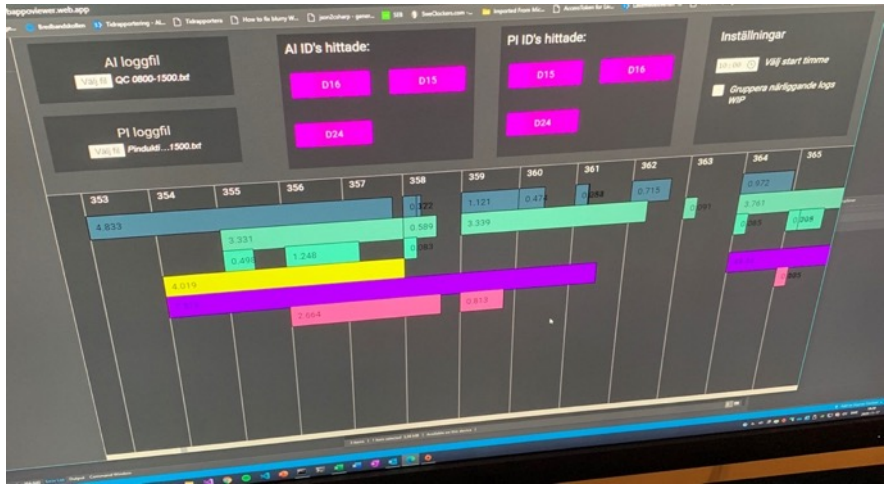
Figur 14: Plotdiagram, Qamcom och induktionsslingan, tidperioden 08.00-09.00 den 16 november 2020.



Figur 15: Plotdiagram, MarshallAI och induktionsslingan, tidperioden 08.00-09.00 den 16 november 2020.

MarshallAI missar en hel del signaler helt och hållet och många är skjutna både fram och bak i tiden (2-3 sekunder). De har inte trimmat systemet för att matcha induktionsloggarna och det syns i resultatet.

Qamcom har arbetat aktivt med att ta in loggarna för induktionsslingorna och se till att deras trafikstyrningssignaler matchar dessa. Detta har lyckats bra, den granskning vi gjorde av loggarna visar på ca 90 procents matchning mot induktionsslingan. Utifrån våra diskussioner om dessa resultat bedömer vi att det sannolikt går att trimma systemet ytterligare för att hamna nära 100 procent.



Figur 16: Det egenutvecklade utvärderingsverktyget bekräftar bilden som framkommer i Qamcoms plottar.

Vi har även granskat loggarna med ett för projektet särskilt framtaget verktyg som visualiserar loggarna på samma vis som inspelning i Omnia, men mer lättarbetad. Verktöget visar händelser på sekundnivå och har använts för att bekräfta bilden vi får från Qamcoms plotdiagram och genom att titta på loggfilerna tillsammans med videomaterialet.

Ytterligare en lärdom är att induktionsslingan inte är en optimal ground truth för denna typ av utvärdering. Leverantörerna har under arbetets gång uppmärksammat oss på att cyklar ibland triggar induktionsslingan, vilket vi har kunnat bekräfta vid vår granskning. Vi kan också se flera exempel på överhörning mellan körfälten när bussar passerar.

Trafikräkning och klassificering

Det är svårare att med hög tillförlitlighet skilja på olika objekt i en videoström än att bara identifiera att det finns ”något” i bilden. Trafikräkning och klassificering av olika typer av väganvändare för analys- och uppföljningssyften ställer därför högre krav på bildigenkänningen än detektering för signalstyrning.

Testet har gett goda resultat avseende registrering, klassificering och räkning. Leverantörernas lösningar fungerar väl under goda ljus- och väderförhållanden och det finns stora möjligheter att förbättra resultaten ytterligare genom att anpassa kameraplaceringen, använda flera sensorer samt vidareutveckla algoritmerna för bildigenkänning.

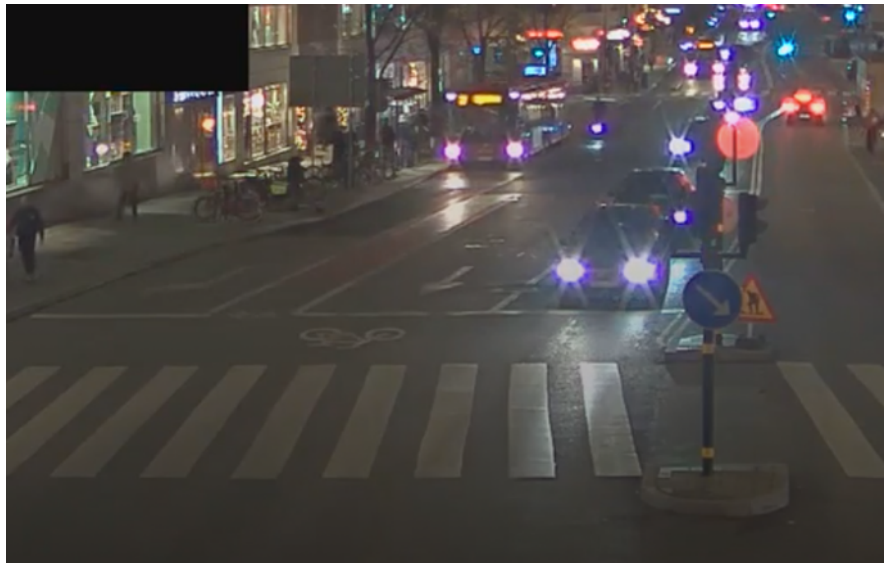
- Testet har visat att det går att klassificera stora objekt med god tillförlitlighet vid gynnsamma väder- och ljusförhållanden.

- För mindre objekt, som cyklar och fotgängare på trottoarerna, fungerar lösningarna sämre. Här finns dock utvecklingspotential vad gäller de algoritmer som används för klassificeringen.
- I mörker sjunker detekteringsgraden, särskilt för cyklar och fotgängare som blir svåra att se och identifiera bland andra objekt och ljuskällor i kamerabilden.
- En annan kameraplacering, där man kan se cyklarna snett från sidan, hade underlättat klassificeringen.
- En annan kameraplacering, där man kommer närmare fotgängarna, hade underlättat klassificeringen.
- Lösningarnas prestanda vid dåligt väder/svåra förhållanden har inte kunnat utvärderas, eftersom vi inte haft något extremt väder under testperioden. Det kan dock antas att prestandan sjunker vid dåligt väder såsom kraftigt regn, snöfall eller dimma, särskilt eftersom kameran är placerad relativt långt ifrån de objekt som ska identifieras och klassificeras. För att uppnå hög prestanda vid alla väderförhållanden kan en kombination av flera kameror och/eller kompletterande sensortekniker bli nödvändig. Detta kräver dock vidare utredning.
- För att kunna göra bättre analys av rörelsemönster och beteenden i korsningen krävs ett större upptagningsområde. Detta förutsätter i sin tur en flerkameralösning med olika vinklar och/eller fler sensorer.

Motorfordon

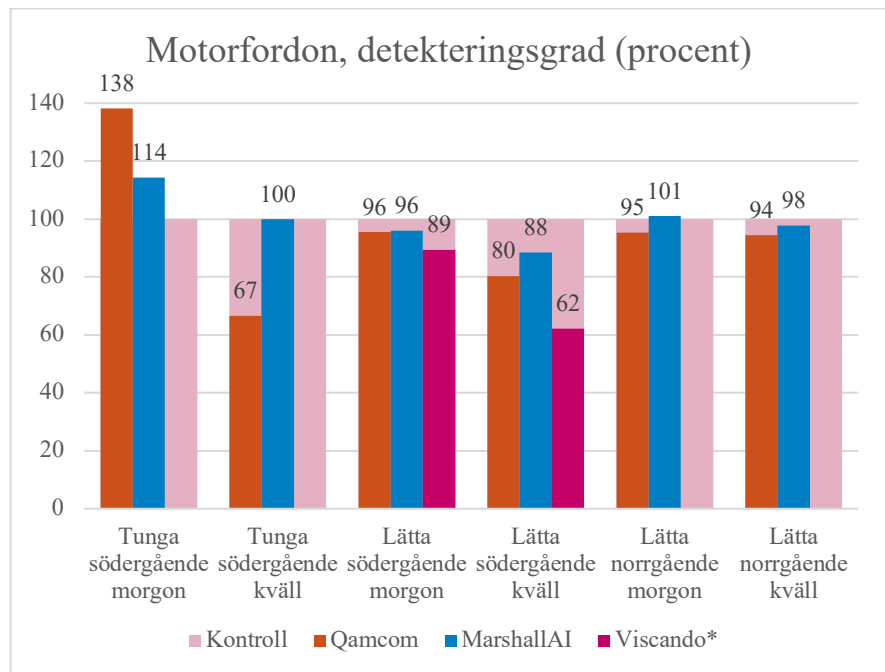
Qamcom och MarshallAI har genomgående goda resultat avseende räkning av bilar.

Värt att notera är att alla leverantörerna tappar i tillförlitlighet för lätta motorfordon södergående under kvällsperioden. Detta kan vara ett resultat av att flera försvårande omständigheter kombineras: mörker, reflektioner från bilarnas strålkastare tillsammans med ett delvis skymt körfält.



Figur 17: Signalstolpen skymmer delar av körfältet närmast mitten av vägen, vilket försvårar detektering.

Vår kontrollräkning av fordon inkluderar både bussar och tunga lastbilar. MarshallAI överräknar under morgonperioden, men har ett mycket gott resultat under kvällsperioden. Qamcom överräknar på morgonen och underräknar på kvällen. Det bör dock påpekas att det statistiska underlaget för tunga fordon i vår utvärdering är väldigt begränsat, vilket medför att enstaka avvikelser i räkningen får stor procentuell påverkan. Det finns även en potentiell felkälla i att vi i vår kontroll klassificerat vissa fordon annorlunda än leverantörerna (lätt respektive tung lastbil är ibland svårt att särskilja bara på utseende), vilket ytterligare förskjuter resultatet.



Figur 18: Resultat, räkning av motorfordon för morgon- och kvällsperioder, redovisat som procent jämfört med projektets manuella kontrollräkning.

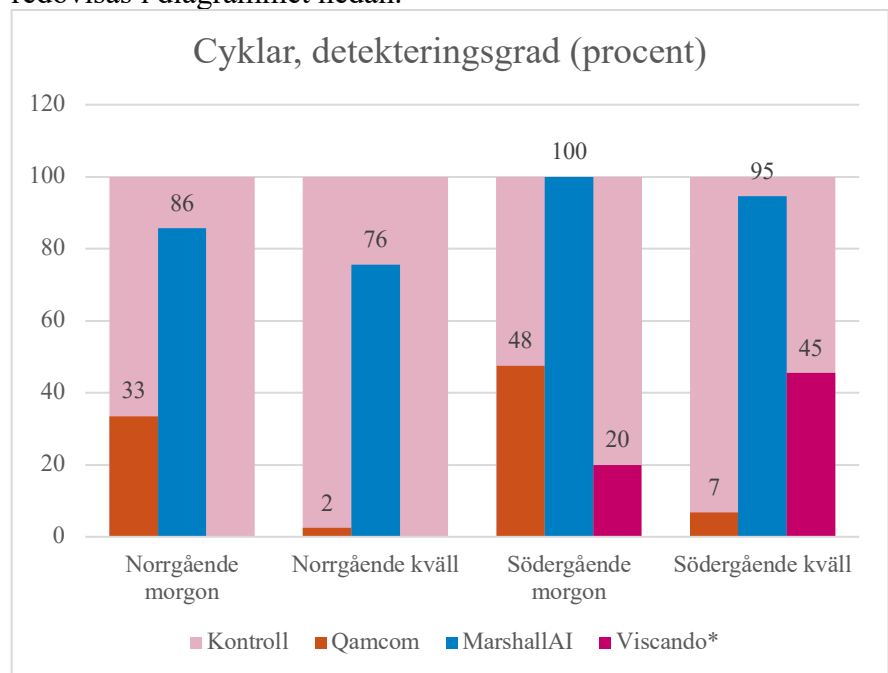
Cyklar

Räkning av cyklar har generellt varit en stor utmaning för multifunktionssensorleverantörerna i projektet. Kamerans placering gör att cyklarna måste detekteras rakt framifrån för södergående cyklar, eller rakt bakifrån för norrgående. Detta gör att objekten som ska klassificeras och räknas har en förhållandevis smal profil, som dessutom ofta skymms av bussar, bilar eller andra cyklar. Cyklarna ska dessutom särskiljas från sparkcyklar, mopeder och motorcyklar. Detta är särskilt utmanande på kvällen, när man på avstånd endast ser en lykta – objektet måste komma nära kameran innan ett mänskligt öga kan uppfatta vad det är för objekt.



Figur 19: Fyra cyklister, varav två saknar framlykta.

Med det sagt har MarshallAI uppnått goda resultat i cykelräkningen, särskilt för södergående cyklar. Resultaten från vår kontrollräkning redovisas i diagrammet nedan.



Figur 20: Resultat, räkning av cyklar för morgon- och kvällsperioder, redovisat som procent jämfört med projektets manuella kontrollräkning.

Fotgängare

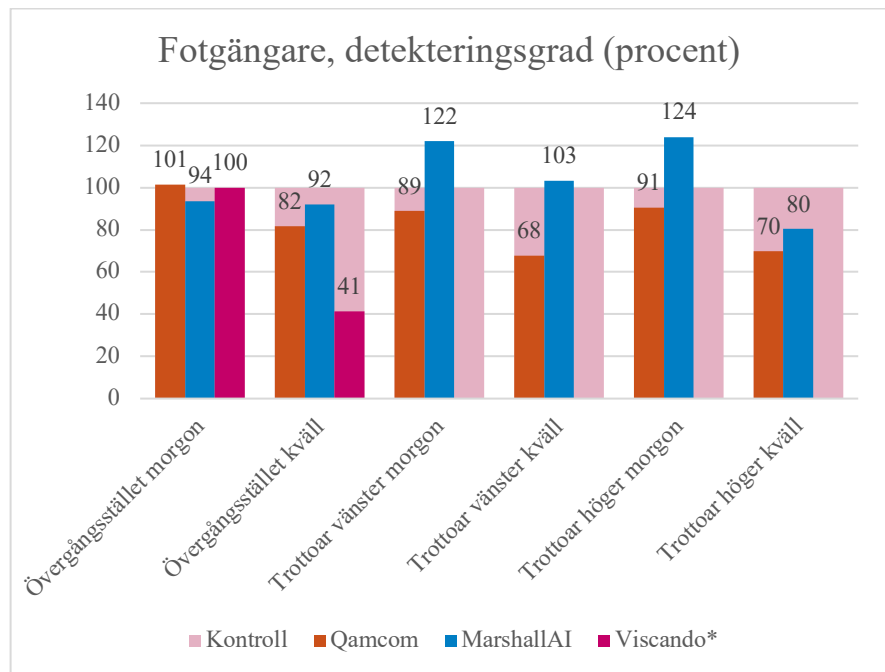
Alla leverantörer kan räkna och klassificera fotgängare vid övergångsstället med hög tillförlitlighet under dagsljus. Tillförlitligheten var något lägre under den granskade kvällsperioden.

Räkning och klassificering på de båda trottoarerna är mer utmanande. Områdena är längre bort från kameran, människor går ibland nära varandra och det uppstår reflektioner i glasväggar och skyltfönster på platsen som kan uppfattas som människor. Längs den högra trottoaren finns dessutom flera dörrar mot tunnelbana och affärer där fotgängare går in och ut. Beroende på var man väljer att räkna kan man få fler eller färre passager. En liknande situation uppstår när fotgängare ”genar” över gatan från övergångsstället i båda riktningarna – om man väljer ett för snävt streck för att räkna passager så missar man många fotgängare. Men om man å andra sidan vill täcka en stor yta av trottoaren så blir nuvarande kameraplacering begränsande, man kommer helt enkelt för långt bort från området man vill räkna i. Därför är den sämre tillförlitligheten på räkningen vid trottoarerna, särskilt på höger sida, inte oväntad.



Figur 21: Höger trottoar, detaljbild

Diagrammet nedan visar en sammanställning av leverantörernas resultat avseende räkning av fotgängare för morgon- och kvällsperioder.



Figur 22: Resultat, räkning av fotgängare för morgon- och kvällsperioder, redovisat som procent jämfört med projektets manuella kontrollräkning.

Data för delning

Sensordatatjänsten – Trafik data i realtid (TDR) realiserad i stadens tjänsteplattform

Då i IoT-plattformen inte fanns på plats inom projektiden kontaktade vi teamet som sköter utvecklingen för stadens tjänste- och integrationsplattform och beskrev våra behov. Utifrån den kalendertid som fanns kvar i projektet beslöts att de skulle bygga en enkel tjänst åt oss som ett vanligt REST/WebAPI som använde ”fråga-svar”-mönstret. Denna tjänst är inte hela Trafikdata realtidfunktionen utan består av tre funktioner:

- Mottagande funktion, hit skickar leverantörerna in SensorData i vårt dataformat, Multifunktionssensordataformatet (MFS). API-nyckel krävs för att anropa denna funktion.
- Uppläsningfunktion med olika filter som läser upp datan i multifunktionssensorformatet/JSON.
- Uppläsningfunktion med olika filter som läser upp datan i NGSI2 Traffic Flow Observed formatet/JSON.

Vi undersökte även projektet City As A Platform (CaaP) IoT plattform som ett alternativ för TDR/sensordatatjänsten. Vi träffade CaaP-teamet och gjorde bedömningen att det inte fanns tillräckligt mycket klart i den plattformen och att vi efter projektet inte skulle

kunna återanvända de delar som vi i så fall behövde utveckla tillsammans. Detta tillsammans med brist på t.ex. utvecklingsresurser i CaaP-teamet gjorde att stadens integrations- och tjänsteplattform framstod som den bästa och mest framkomliga vägen för oss.

Vi testade även att lägga upp ett nytt dataset för vår trafikdata i den tillfälliga dataportal CKAN som projektet ÖDIS, Ökad användningen av data i Stockholmsregionen hade satt upp, men det visade sig att den mängd data som genererades, ca 50 000 data-rader per dygn och leverantör, var för mycket för ÖDIS-dataportalen att hantera. ÖDIS portalen skördar nu istället datan från Dataportalen.

Projektet hade sedan tidigare tagit fram ett eget dataformat/modell som vi kallat "Multifunktionssensordataformatet". Denna datamodell togs fram i samråd med leverantörer, trafikkontoret, programmets arkitekt och andra intressenter. Från första början använda vi denna datamodell för att skapa en kommaseparerad fil från sensorn för att sedan gå över till att använda Sensordatatjänsten.

Multifunktionssensordataformatet är beskrivet i dokumentet ***"Datamodell Multifunktionssensor.docx"***

Vi tog även fram en modell för hur den aggregerade datan skulle se ut när trafikkontorets TD-system skulle konsumera denna data. Detta arbete gjorde projektet i samråd trafikkontoret och med Norconsult Astando (trafikkontorets upphandlade leverantör av TD-systemet) och Trafikkontoret.

I Edge samlas data i realtid in och denna ligger till underlag för trafikstyrning samtidigt som trafikdata i realtid skickas via Sensordatatjänsten till tjänsteplattformen i nära realtid. Den data som samlas i tjänsteplattformen tillgängliggörs sedan via stadens Dataportal och kan ses och läsas här: [Dataportalen \(stockholm.se\)](https://dataportalen.stockholm.se)

Tekniska lärdomar från genomförandet

Testet har visat att det går att bygga den här sortens lösningar inom stadens it-miljö, från montering i korsningen och i styrsåp, via nätverk levererat av Sankt Erik kommunikation, till servrar och inloggning via ID-portal, till en API-tjänst i tjänsteplattformen och sedan till Dataportalen där den trafikdata som genereras publiceras som öppna data.

Det kändes dock många gånger som vårt projekt bröt ny mark då det inte var ett klassiskt verksamhetssystem som skulle införas och testas. Blandning av sensorer i gaturummet och Linuxdatorer i korsningen med kommunikation via virtuellt nät till GSIT-serverar som skulle användas av personer utan svenska personnummer genererade så många missförstånd och svåra beställningar att vi har gjort ett helt eget dokument med alla detaljer kring den snirkliga vägen framåt, se **"Bilaga multi - säkerhet och infra.docx"**. Några av de centrala lärdomarna är dock:

- Tänk igenom hela lösningen på förhand, för att minimera antalet beställningar av konton, serverar, brandväggsöppningar mm.
- Då staden i dagsläget saknar lösningar för certifikatbaserad inloggning på enheter utanför GSIT är det bra att ha vår utrustning på ett enskilt nätverk.
- Reglerna kring hantering av serveradmin-konton ändrades under projektets gång, vilket innebär merarbete för oss. Glöm inte att beställa serveradmin-konton när det vanliga kontot beställs, annars kan man inte logga in på några serverar.
- Det saknades fungerande processer för uppföljning av projektets supportärenden. Konsulter får inte vara behöriga beställare, vilket skapar ett hårt tryck på den i verksamheten som är behörig för att följa upp alla beställningar på konton, maskiner och brandväggar. I en uppskalning med fler personer och fler sensorer inblandade kan detta bli ohållbart.

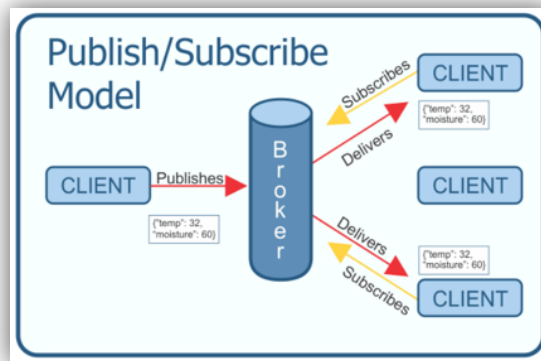
Sensordatatjänsten för realtidsdata i IoT-plattformen

Nedan följer en sammanställning över vad som skiljer den sensordatatjänst baserad på WebApi-teknik som projektet byggde i tjänsteplattformen mot den planerade tjänsten som skulle byggas med MQTT-teknik i IoT-plattformen:

MQTT :

- Ger möjlighet att skicka ut realtidsdata till många klienter med liten overhead
- Är bara en kö, ingen historik finns lagrad i en ren MQTT implementation
- Fungerar enligt Publisher -> Subscriber mönstret, där data "flödar" till prenumeranterna.
- Själva uppkopplingen hålls öppen, så att datan kan flöda snabbare utan overhead
- För att starta flödet så registrerar MQTT klienterna sig som prenumeranter på de kanaler de önskar data från. När ny data kommer in, så skickas den automatiskt ut till alla MQTT klienter
- MQTT är inte ett rikt funktions-API, hög prestanda är det som premieras

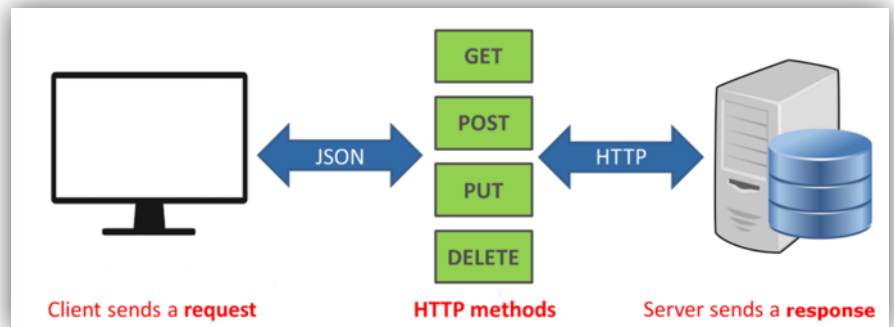
- Används för realtidsdata där prestanda, låg overhead och låg strömförbrukning är viktig (t.ex. batterimata sensor).
- Använder JSON som meddelandeformat
- När ständes IoT plattform är på plats, kan man sätta upp Sensordatatjänsten där i stället – kanske som en MQTT/REST-hybrid



Figur 23: Översiktsbild publish-subscribe-mönstret

WebAPI:

- Datan måste mellanlagras på något sätt. T.ex. i en databas, detta gör att man bara kommer ”nära realtid” med data ut till klienterna
- Kan innehålla historisk och bearbetad data från t.ex. sin databas
- Högre overhead då varje anrop skapar en ny anslutning mellan klient och server
- Kan erbjuda en mängd funktioner över samma tjänst/endpoint
- En standard REST API funktion följer mönstret fråga-svar. Där klienten måste fråga om kontinuerligt för att få ny data
- För att starta ”flödet” så frågar klienten om data för en viss tidsperiod, klienten får sedan komma ihåg den ”senaste tiden” och ställa en ny fråga för att få mer data
- Används där man behöver förädla/ta hand om datan innan den sparas eller skickas ut till klienter. Klassiskt verksamhets-API
- Använder JSON som meddelandeformat
- Nuvarande Sensordatatjänst är byggd så här – i Stadens tjänstehotell / databashotell

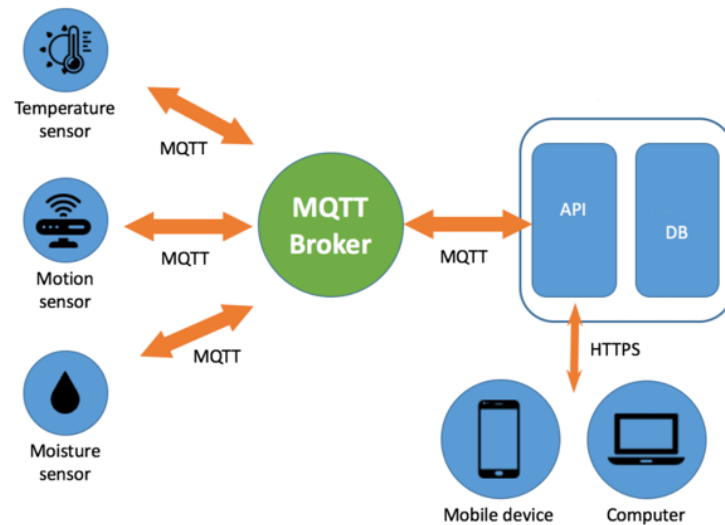


Figur 24: Klassiskt flöde för web API/API:er

Hybrid-lösning:

- Vanligen så vill man ha en kombination av MQTT och REST-baserat API
- Man vill erbjuda MQTT för realtidsflöden och för att sensorer snabbt ska kunna lämna sin data
- Ofta så vill man behandla och förädla datan innan man skickar den till ett verksamhetssystem, det gör man bäst med ett klassiskt REST / WebApi
- Många gånger vill man ha kvar en viss historik. Det kan man lösa genom att bygga en MQTT Lyssnare/Klient som prenumererar på datan och "mellanlagrar" den under tiden som denna klient sparar ner datan i en databas
- Många av de stora MQTT Brokers-servrarna har tilläggsfunktioner för att t.ex. "minnas sina klienter" och även för att spara en kortare historik
- Man vill ofta kunna bygga realtidsflöden, där man bygger logik som lyssnar på flera MQTT realtidsströmmar och sedan skickar vidare ett förädlad resultat till t.ex. en ny MQTT Broker/Kö
- MQTT är en etablerad standard vilket gör att man kan sätta upp flöden utan att bry sig om innehållet
- MQTT är helt sessionslöst, dess primära uppgift är att sprida data snabbt
- REST kan arbeta med sessioner, vilket man ofta gör i verksamhetssystem där det ofta är en hel process som ska behandlas med olika IT-funktioner innan resultatet är klar.

I de allra flesta fall så är en hybrid av MQTT och klassiska API:er så som Web API att föredra för att få bäst verksamhetsnytta, se figur nedan:



Figur 25: hybrid-lösning

En framtida TDR-lösning kan kombinera verksamhetslogik med sensordatatjänsten i en hybridlösning

- Dagens Trafikdatasystem (TD) kan inte ta emot realtidsdata, så en kombination av MQTT-kö och verksamhets-API för logik kommer att behövas. Logiken kan byggas i flera lager där man t.ex. kanske gör ett REST-API som mellanlagrar och aggregerar datan innan TD konsumerar den.
- Man kan även tänka sig att dagens TD återför en ”kvalitetsprofil” till MQTT-servern för TDR, så att man kan lägga in ett mått på hur tillförlitlig den insamlade datan är statistiskt.
- När Trafikkontoret infört ett nytt styr- och övervakningssystem för trafiksignalanläggningar så vill man antagligen skicka in behandlad realtidsdata dit. Då kan man tänka sig en MQTT-tjänst som delar upp realtidsdatan i olika klasser/köer och kanske gör enklare filter/beräkning på den, innan den visas upp i det nya systemet
- Tredjepartskonsumenter så som app- och tjänsteutvecklare är säkert intresserade av en realtidsbild av trafiken för en mängd olika applikationer beroende på vilken data som tillgängliggörs

Rekommendation för nästa steg

Testet har generellt gett bra resultat, men vår bild är att tekniken fortfarande är omogen och det finns flera verksamhetsaspekter kvar att utreda kring användningen av multifunktionssensorer, samt utveckling för att nå tillräcklig kvalitet i detektering och räkning. Nästa steg för trafikkontoret bör vara fortsatta tester och lärande i större skala, snarare än ett breddinförande av multifunktionssensorer. Exempelvis vore det värdefullt att testa kompletterande sensortekniker i samma korsning som nuvarande test genomförts i, för att jämföra resultaten. Trafikkontoret bör även fortsätta utreda multifunktionssensorers potential för nya former av trafikstyrning.

En eventuell kommande upphandling bör ha ett tydligt utvecklingsperspektiv istället för att upphandla en leverantör med en specifik sensorlösning. Nedan sammanfattas projektets viktigaste medskick inför nästa steg i trafikkontorets arbete med multifunktionssensorer:

- **Organisation och bemanning:** Hitta former för att arbeta vidare med test av multifunktionssensorer på trafikkontoret, med stöd av stadsledningskontoret. Trafikkontoret bör tillsammans med exempelvis Multisensorprojektet som bedrivs från stadsledningskontorets innovationskansli fortsätta testa och utreda multifunktionssensorers potential. Det finns ett fortsatt behov av centralt stöd från stadsledningskontoret för att skapa effektiva rutiner och processer kring IoT-tillämpningar, delade sensorer och bakomliggande system.
- **Samordning:** Undersök möjligheterna att samordna arbetet med andra pågående initiativ, exempelvis Nordic Way 3.
- **Behov:** Fokusera på verksamhetsnytta – utgå från intressanta och relevanta verksamhetsfrågor och gör det inte ”för lätt”. Se till att flera perspektiv och behov inom organisationen fångas upp i arbetet, tänk på multifunktionssensorer generellt. Med det sagt bör man ändå prioritera vilket/vilka behov som är centrala vid tekniska vägval och placering av sensorer, för att se till att man utnyttjar sensorernas potential fullt ut. Exempelvis bör man avgöra om ett test i första hand ska fokusera på trafikstyrning och i andra hand generera trafikdata för planering och analys, eller vice versa. Detta för att vår erfarenhet pekar på att man inte alltid kan uppnå båda målen fullt ut med en lösning.
- **Upphandling:** Fokusera på verksamhetsbehoven och låt anbudena beskriva hur de ska realiseras. Var så tydlig som möjligt i

beskrivningar av stadens infrastruktur, för att undvika missförstånd senare.

- **Kamerabevakningstillstånd:** var ute i god tid med ansökan! Det senaste beskedet (november 2020) är att handläggningstiden för närvarande är ca sex månader. Ta även höjd i ansökan för att leverantören kan komma att behöva arbeta iterativt med justering och utveckling, vilket kräver tillgång till videomaterial. Fortsätt samarbetet med SKR:s projekt för att ta stödja en snabbare handläggning av kamerabevakningstillstånd.
- **Genomförande:** Arbetet bör bedrivas strukturerat och metodiskt, vilket kräver att trafikkontorets resurser kan avsätta arbetstid för detta. Fokusera på att få till ett bra samarbete med leverantören. Det här testet har visat att tre leverantörer i samma projekt visserligen genererar mycket kunskap, men riskerar att bli tungrovt och kräver en större arbetsinsats av projektet. Vi rekommenderar därför att trafikkontoret i nästa steg fokuserar på enbart en leverantör åt gången.
- **Utvärdering:** Det räcker inte att läsa ett produktblad eller lyssna på en leverantörs presentation för att bilda sig en korrekt uppfattning av olika lösningars prestanda. Därför behöver fortsatta tester genomföras metodiskt. Vid fortsatta test, utforma en tydlig modell för utvärdering och uppföljning av olika lösningars prestanda kopplat till trafikstyrning och trafikräkning. Detta för att åstadkomma en jämförbarhet mellan olika sensortyper och leverantörer samt mellan olika projekt inom trafikkontoret.
- **Analys och träning inom stadens IT-miljö:** Vid ett flertal tillfällen så hade det varit praktiskt om leverantörerna kunna träna sina AI-modeller på hårdvara inom stadens it-miljö, eftersom kamerabevakningstillståndet var begränsande vad gäller hantering av videomaterial. Detta hade krävt en dedikerad hårdvara/server med tillägg för AI-träning (t.ex. ett Geforce 2080/3080-kort). Denna hårdvara finns inte i stadens befintliga it-leverans.
- **Frågor kopplade till drift av den här sortens lösningar:** I vårt test hade alla leverantörer hela sin utrustning i korsningens styrskaåp, vilket blev både trångt och varmt. Med facit i hand så hade det gått bra att ha hårdvaran en bit bort, då latensen via LAN/fiber är försumbar i sammanhanget. Vid en uppskalning finns det flera argument mot en lösning där all hårdvara monteras i korsningen:
 - Otydlighet i ansvar för hårdvaran. SLA-nivåer, failover på maskiner, nät och el-kraft är lättare att kontrollera i ett riktigt serverrum. Ett serverrum har även aktiv kylning.

- Stöldrisk om ryktet sprids att attraktiv hårdvara finns inlåsta i trafikskåpen som inte är svåra att bryta upp
- Montering i serverrum möjliggör större och kraftigare hårdvara som kan styra och räkna flera korsningar/sensorer
- Trängseln och värmen i skåpen blir en felkälla både för de nya systemen, men även för de som redan är monterade, exempelvis styrapparaten. I vårt test närmade vi oss gränsen för hur mycket utrustning som går att montera i ett skåp.
- Hårdvaran blir väsentligt billigare om man kan ta bort de krav på IP-klassning och robusthet som krävs vid montering utomhus eller i trafikskåp.