

## RAPPORT

# Informationsextrahering från punktmoln – möjligheter framåt



Dokumenttitel: Informationsextrahering från punktmoln – möjligheter framåt  
Författare: Ulf Söderman och Gustav Tolt, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI)

Dokumentdatum: 2016-03-29

Dokumenttyp: Rapport

Publikationsnummer: 2016:069

ISBN: 978-91-7467-952-6

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Joakim Fransson, [joakim.fransson@trafikverket.se](mailto:joakim.fransson@trafikverket.se) Trafikverket

## Innehåll

Sammanfattning .....	4
1 Inledning .....	5
2 Förädling av rådata – behov och möjligheter .....	7
3 Översikt forskningsresultat .....	8
3.1 Extraktion av vägbanan och vägmarkeringar .....	8
3.1.1 Extraktion baserat på laserdata.....	8
3.1.2 Kombination laser+bilder.....	9
3.1.3 Trajektoriedata .....	9
3.2 Extraktion av objekt i vägkorridoren .....	9
3.3 Förändrings-/skillnadsanalys .....	11
3.4 Sammanfattning översikt över FoU .....	12
4 Förslag till fortsatt arbete .....	13
Referenser .....	15

## Sammanfattning

Idag brottas ofta varje enskilt investerings- eller underhållsprojekt med att få tag i korrekt, kvalitetssäkrad och aktuell information om berörda anläggningar. Felaktig eller bristfällig information medför stora merkostnader vid såväl projektering, byggande som underhåll av infrastruktur-anläggningar.

För att förbättra situationen för i första hand vägar och relaterade anläggningsobjekt har en detaljerad kartläggning av det allmänna svenska vägnätet påbörjats. Datainsamlingen sker med mobil laserskanning och 360 graders fotografering vilket genererar enorma mängder lasermät punkter, så kallade punktmoln, samt stora mängder regelbundet exponerade 360 graders bilder.

Användningen av insamlade data är idag tyvärr begränsad till specialprogramvaror för manuell inspektion och mätning av vägavsnitt, trafikplatser och andra företeelser. Eftersom användning är manuell blir arbetet, särskilt i större och mer omfattande projekt, snabbt både tidskrävande, tröttande och kostsamt.

För att både effektivisera användningen och markant öka värdet på investeringen i insamlade data behövs verktyg som stödjer automatiserade och objektiva i analyser och möjliggör vidareförädling av insamlade data till lätthanterliga objektbeskrivningar av relevanta företeelser.

I den här rapporten redovisas en inledande studie med syfte att diskutera och ge förslag på FoU-insatser för att bereda vägen för framtagning och tillhandahållande av objektinformation rörande sådana företeelser och faktiska förhållanden som efterfrågas av infrastrukturprojekten.

Studien har omfattat en översiktlig genomgång av forsknings- och marknadsläget och presenterar här en kort sammanfattning kring metoder och verktyg för förädling av rådata samt diskuterar problem, möjligheter och krav. Vidare presenteras också förslag på fortsatt arbete.

# 1 Inledning

Sveriges vägar och järnvägar är en väsentlig del av det svenska transportsystemets infrastruktur och utgör en betydande nationell tillgång. En central uppgift för trafikverket är att underhålla, driva, förbättra, och ersätta denna tillgång, ofta med begränsade ekonomiska och mänskliga resurser. En kritisk komponent i de projekt som rör transportsystemets infrastruktur, vare sig det är uppgifter som projektering, underhåll, eller byggnation, är tillgången till aktuell och noggrann lägesbunden information om faktiska förhållanden. Informationen måste också vara kvalitetssäkrad och uppfylla föreskrivna krav på homogenitet, spårbarhet och teknisk nytta. Felaktig eller bristfällig information kan medföra stora merkostnader för såväl projektering, byggande som underhåll av infrastruktur-anläggningar.

Idag brottas varje enskilt investerings- eller underhållsprojekt med att få tag i korrekt och aktuell information om berörda anläggningar. För att förbättra situationen för i första hand vägar och relaterade anläggningsobjekt har en detaljerad kartläggning av det allmänna svenska vägnätet påbörjats. Målet är att samla in detaljerad lägesbunden information om vägbana, objekt och anläggningar inom en "korridor" längs hela vägnätet. I en initial fas kommer rådata samlas in och en databas med mätdata att byggas upp och etableras. Därefter planeras verksamheten övergå i en ajourhållningsfas där databasen ajourhålls genom regelbunden uppdatering med kompletterande datainsamlingar. Målsättningen är att det alltid ska finnas aktuell kvalitetssäkrad information om faktiska förhållanden tillgängliga för projekten.

För insamling av rådata används modern mätteknik, mobil laserskanning och 360 graders fotografering. Såväl vägbanan som den nära omgivningen mäts med hög upplösning och noggrannhet. Resultatet är enorma mängder lasermät punkter, så kallade punktmoln, samt regelbundet exponerade bilder med 360 graders täckning. Bilderna och punktmolnen är lägesbestämda med samma koordinatsystem, SWEREF 99 vilket gör det möjligt att lägga samma laser och bilddata med varandra eller med andra lägesbestämda data, t.ex. kartdata från lantmäteriet, utdrag ur NVDB eller andra typer av mätningar i fält. I Figur 1 illustreras ett laserpunktmoln och ett utsnitt av en 360° bild från samma plats.

Användningen av insamlade data är idag tyvärr begränsad till specialprogramvaror. Genom visualisering kan manuell inspektion av vägavsnitt, trafikplatser och andra företeelser genomföras. Verktyg finns också för mätningen av avstånd och för beräkning av areor och volymer. Eftersom användning är manuellt styrd av en operatör vid en arbetsstation blir arbetet, särskilt i större och mer omfattande projekt, snabbt både tidskrävande, tröttnande och kostsamt. Om flera operatörer är inblandade ökar också risken för ojämnheter i slutresultatet som en effekt av olika operatörers subjektiva tolkningar. Sammantaget fördyras och försvåras framtagningen av efterfrågade kvalitetssäkrade och homogena data om faktiska förhållanden.



*Figur 1. Exempel på laserpunktmoln (överst) och utsnitt av en 360° bild (nederst) från mobil datainsamling.*

För att både effektivisera användningen och markant öka värdet på investeringen i insamlade data behövs verktyg som stödjer automatiserade och objektiva i analyser och möjliggör en övergripande vidareförädling av rådata till lätthanterliga objektbeskrivningar av relevanta företeelser. Databasen med rådata bör kompletteras med objektbeskrivningar på en högre abstraktionsnivå avseende företeelser som t.ex. stolpar, vägräcken, vägmarkeringar, räfflor, viltstängsel, refuger, kanter osv. Databasen skulle också kunna innehålla information som ID, företeelsetyp, läge, storlek, datum, kostnad, ansvarig, osv.

Med objektbaserad information öppnas en mängd nya möjligheter med stor nytta för infrastrukturprojekten. Till exempel mer avancerade analyser än bara visuell inspektion och mätning. Objektinformation kan också delas och användas i existerande verksamhetssystem och andra databaser, t.ex. GIS- och BIM-system. Olika rapporter kan automatiskt ställas samman över t.ex. antal, typ och status av företeelser per trafikplats eller vägsträcka, eller för kostnadsberäkningar vid planering av underhåll, eller för samkörning med annan statistik, t.ex. olyckor vilket kan ge ny information i arbetet mot nollvisionen. Samkörning med NVDB (Nationell VägDataBas) blir också möjlig vilket kan underlätta underhåll och kvalitetshöjning av NVDB.

Det här dokumentet syftar till att diskutera och ge förslag på FoU-insatser för att bereda vägen för framtagning och tillhandahållande av objektinformation om

sådana företeelser och faktiska förhållanden som efterfrågas av och stödjer infrastrukturprojekten.

Vi noterar redan här att framtagning av objektinformation kommer genomföras dels under den initiala uppbyggnadsfasen där databasen ska etableras och dels periodiskt återkommande i den efterföljande och mycket längre ajourhållningsfasen som löper över databasens hela livstid. Dessa faser har delvis olika krav på och förutsättningar för de metoder och verktyg som behövs.

Vi har gjort en översiktlig genomgång av forsknings- och marknadsläget och presenterar en kort sammanfattning kring metoder och verktyg för förädling av rådata samt diskuterar problem, möjligheter och krav. Vi presenterar också förslag på fortsatt arbete.

## 2 Förädling av rådata – behov och möjligheter

Förädling av rådata och framtagning av objektinformation kommer ske under två faser:

- i. initial uppbyggnad av databasen med väginfrastrukturinformation
- ii. återkommande ajourhållning av databasen under dess livstid.

Den första fasen är en engångsföreteelse medan den andra omfattar upprepat analysarbete vid varje uppdateringstillfälle. Förutsättningarna och kraven för de metoder och verktyg som behövs är delvis olika.

I den initiala fasen behövs robusta och beräkningseffektiva metoder för att sortera ut, identifiera och lägesbestämma utvalda företeelser i den enorma mängden rådata som samlats in. Detta baserat på endast begränsad information om var företeelserna kan tänkas förekomma. Vissa grundläggande antaganden kan göras om geometrisk storlek, normallägen relativt vägbanan osv, men i övrigt måste metoderna arbeta med en mycket öppen ansats samtidigt som kraven är stora att inte missa eller feltolka företeelser.

I den andra fasen är förutsättningarna delvis annorlunda. Dels kan informationen i den existerande databasen med redan identifierade objekt användas som stöd och dels kan arbetet effektiviseras med hjälp av *förändringsanalys*. Istället för att söka brett efter existerande företeelser kan analysen utgå från och söka efter förändringar relativt tidigare datainsamlingar. Allt analysarbete kan därför fokuseras på områden som uppvisar skillnader mellan tidigare insamlade data och nya data, med eller utan stöd från redan tidigare identifierade objekt. Detta bör kunna effektivisera ajourhållningsarbetet avsevärt jämfört med den initiala uppbyggnaden av databasen.

Dessutom bör objekt-databasen också kunna tillhandahålla information om sammanhang som underlättar analysen. Kunskap om vägsträckornas eller trafikplatsernas art kan användas för att bedöma och avgränsa vilka företeelser som kan respektive inte kan förekomma. Detta bör kunna förbättra automatisk identifiering av företeelser.

Vi bedömer att de delvis olika situationerna i de två faserna kommer att påverka val och prioritering vad gäller utveckling och användning av (semi-)automatiska analysmetoder för förädling rådata till objektinformation. Om t.ex. kostnader för användning av metoderna beaktas finns skäl att överväga om inte metoder och verktyg som stöd till den andra fasen bör prioriteras över metoder och verktyg för den första fasen, om en sådan prioritering nu behöver ske. Detta grundar sig på att den initiala fasen är en engångsföreteelse medan andra fasen omfattar arbete som återupprepas om och om igen vid varje uppdateringstillfälle. Det finns sannolikt mer att vinna på att reducera periodiskt återkommande kostnader än en engångskostnad.

## 3 Översikt forskningsresultat

### 3.1 Extraktion av vägbanan och vägmarkeringar

Flera forskningsprojekt har rapporterats i litteraturen som fokuserar på kartläggning av själva vägbanan. Vanligen börjar analysen med att detektera och avgränsas den hårdgjorda vägytan genom att automatiskt försöka hitta och dra kantlinjer. Sedan analyseras själva vägytan och företeelser som ojämnheter, räfflor, markeringar etc identifieras.

#### 3.1.1 Extraktion baserat på laserdata

De flesta metoderna är baserade på någon typ av segmentering och/eller matematiska skattning för att hitta släta och plana ytor i stora punktmoln. Generella segmenteringsmetoder i 3D-data tenderar dock att vara beräkningsintensiva och tidsödande. Ett vanligt knep för att få ner beräkningstiden är att analysera data i endimensionella profiler tvärs vägbanan, under antagandet att vägbanans geometri kan betraktas som konstant inom ett visst intervall. Genom att anpassa ett plan, eller någon annan geometrisk form som anses beskriva vägbanans tvärsnitt, och sedan detektera var avvikelserna i höjddled blir för stora kan man detektera vägbanans gränser. En sådan ansats bör kunna vara effektiv för stora delar av vägnätet.

En metod som också återkommer i litteraturen bygger på att försöka detektera distinkta företeelser som t.ex. trottoarkanter för att avgränsa vägytan. Detta kan naturligtvis underlätta och snabba upp analysen. Förekomsten av trottoarkanter o dyl är dock i huvudsak begränsad till urban miljö vilket bara utgör en mycket liten del av den totala utsträckningen av det område, det nationella vägnätet, som är av intresse här.

Några exempel på ansatser som bygger på och använder geometriska egenskaper eller mönster hos grupper av laserpunkter, t.ex. släta och plana ytor, trottoarkanter, etc för att hitta och delvis avgränsa vägbanan är Takashi O. and Kiyokazu T. (2006), Jaakkola A. et.al. (2008) Yuan X. et.al., (2010), Zhou L. and Vosselman G. (2012) och Yang B. et. al. (2013).

Intensitetsvärdena hos laserdata kan också användas för avgränsning av vägbanan och dessutom för detektion av vägmarkeringar, Clode S. et.al. (2007), Chen X. et.al. (2009), Yang B. et. al. (2012), Kumar P. et. al. (2013) och (2014). Vägmarkeringarna är normalt kraftigt reflekterande jämfört med själva vägbanan så



skillnaden mellan intensitetsvärden hos laserpunkter på en markering och på vägbanan bredvid är därför normalt stor och tydligt. Ett problem är dock att intensitetsvärdena kan variera kraftigt beroende av mätavstånd, infallsvinkel, materialegenskaper och väderförhållanden vilket gör intensitetsdata besvärligt att använda direkt. De metoder som rapporteras innehåller olika ansatser till förenklade "normaliseringar" av intensitetsdata, t.ex. kompensera för mätavståndet. En fullständig och korrekt normalisering är tyvärr icke trivial då det också skulle kräva ingående kännedom om lasermätssystemets tekniska uppbyggnad, den uppmätta scenens geometri och rådande väderförhållanden (t.ex. fuktförhållanden).

### 3.1.2 Kombination laser+bilder

För att kompensera för begränsningar hos laserdata som t.ex. variationer i punkttäthet har försök gjorts med att använda kombinationer av laserdata och bilder. Yu S. et.al. (2007) integrerar laserdata, video och skannerprofiler för att modellera vägytan och Danescu R. et. al. (2010) använder bilderna som stöd för att hitta vägmarkeringar.

Generellt begränsas alltid användning av bilder i verkliga situation av variationer i ljusförhållanden som i sin tur är en effekt av väder (solsken, växlande molnighet, regn, dimma, ...), tid på dygnet och inte minst skuggor från t.ex. träd, hus och bilar i omgivningen. Så även om FoU avseende detektion och igenkänning av markeringar med stöd av bilder har pågått länge, klart längre än användning av laserdata, så är problemet svårt och utveckling av helt automatiska metoder är fortfarande en forskningsutmaning.

### 3.1.3 Trajektoriedata

Vid sidan av informationen i punktmolnen och i bilderna kan också information om mätinstrumentets läge och förflyttning under mätningen finnas tillgänglig. Den rörelsebana som instrumentet rört sig längs under mätningen, *trajektorian*, beskriver instrumentet position och orientering över tiden. Eftersom instrumenten är fast monterad på ett mätfordon som i sin tur kan antas befinnas sig på vägbanan under datainsamlingen så kan trajektorian användas för att definiera en serie linje- eller ytsegment som med säkerhet ligger på vägytan. Med denna som utgångspunkt kan sedan vidare analyser genomföras för att bestämma vägytan och dess avgränsningar, t.ex. Pu et.al. (2011), Guan et. al. 2014, Xiao et. al. 2015. Detta kräver dock att trajektoriedata finns tillgänglig för det den aktuella sträckan.

## 3.2 Extraktion av objekt i vägkorridoren

FoU-resultat kring detektion och igenkänning av olika typer av distinkta objekt som vägs skyltar, träd, osv, verkar vara det område som tilldrar sig störst intresse just nu. FoU pågår på flera platser och många resultat finns rapporterade. Tyvärr är dock huvuddelen inriktade på analys av data från mobil laserskanning i urban miljö. Av särskilt stort intresse är metoder för att hitta och identifiera stolp-liknande objekt, t.ex. Lehtomäki et. al. (2011), Pu et.al. (2011), Li och Elberink (2013), Yokoyama et. al. (2013), Cabo et. al. (2014), Tombari et. al. (2014) och Rodríguez-Cuenca et. al. (2015). Gemensamt för metoderna är att data bearbetas i olika steg. Först filtreras i sammanhanget ointressanta punkter

bort, typiskt sådana som ligger i relativt plana strukturer såsom markytan och byggnadsväggar. Sedan detekteras stolplika objekt, varefter en närmare analys syftar till att klassificera dessa objekt som hörande till en av flera klasser, t.ex. trädstammar, kraftledningsstolpar eller belysningsstolpar.

Rapporterade prestanda kring 80-90% är vanliga men beror på vilken typ av objekt det är. Bland de mer intressanta artiklarna återfinns Ishikawa et. al. (2013) som rapporterar 96,6% noggrannhet med en maskininlärningsbaserad metod. Genom att presentera ett större antal representativa objekt för systemet så "lärsig" systemet hur objekten ser ut, istället för att en mänsklig operatör måste försöka trimma in parametrar för att få så bra prestanda som möjligt vilket kan vara oerhört svårt och tidskrävande för stora datamängder. Maskininlärnings-tekniker har visat sig vara väldigt effektiva i en rad tillämpningar (inte minst bildbehandlingsrelaterade) och är ofta det bästa sättet att få ett tillförlitligt system. Det svåraste är nämligen inte att hitta objekt, utan att göra det utan att samtidigt få en stor mängd falsklarm, dvs. få med en stor mängd företeelser som felaktigt tolkas som den typ av objekt som eftersöks.

Alla prestandaangivelser ifrån litteraturen måste tas med en nypa salt. Signalbehandlings-metoderna sällan så robusta som skulle önskas utan är ofta skraddarsyddas för ett visst datainsamlingsystem och vissa objektgenskaper. Avviker man från dessa kan prestanda försämrans avsevärt.

Ett nyckelsteg i processen är segmentering, dvs. att gruppera datapunkter i anhopningar motsvarande sammanhängande objekt eller delar av objekt. Det handlar först och främst om att isolera enskilda objekt i vägkorridoren för att kunna analysera dessa vidare och ev. spara i en databas. Det kan även handla om att isolera själva stolpen från ev. skyltar och belysning på denna, t.ex. för att kunna särskilja mellan olika sorters stolpar. Beroende på vilka typer av objekt det är frågan om, och vad som kan anses vara kännetecknande för dessa, kan olika metoder komma ifråga. En av de mer lovande bygger på så kallade Constrained Planar Cuts, Schoeler et. al. (2015), en metod som inte använder någon bakgrundskunskap om de förväntade objekten i scenen men har ändå visat sig prestera i nivå med träningsbaserade och mer domänspecialiserade metoder.

När det gäller igenkänning av olika typer av vägskyltar har bildbaserade tekniker idag kommit långt. Rent principiellt är problemet relativt enkelt – det finns idag kommersiella system för svåra problem som att skilja mellan ansikten, handstilar, regnbågshinnor, etc – men det som kan försvåra är att datainsamlingen i vägkarteringsfallet sker i en icke-kontrollerad miljö och som nämnts tidigare påverkas av väderförhållanden, skuggor, skyl, etc. En helt laserdatabaserad process kan detektera typer av skyltar utifrån deras form, men för att sedan särskilja skyltar med sinsemellan samma form krävs idag i praktiken ett bildbaserat tillvägagångssätt. Variationer i laserintensitet kan visserligen uppträda mellan t.ex. svarta siffror och gul bakgrund men det är svårt – för att inte säga omöjligt – att idag få goda prestanda genom den informationen (se diskussion om laserintensitetsvariationer ovan). Markeringar och företeelser är dessutom ofta utformade för att ge god läsbarhet eller kontrast för det mänskliga ögat och det är långt ifrån säkert att en laser i ett våglängdsband utanför det synliga området registrerar dessa skillnader.

### 3.3 Förändrings-/skillnadsanalys

Förändringsdetektion handlar om att hitta företeelser som tillkommit, försvunnit, flyttats eller förändrats sedan förra mätningen. Området har varit populärt bland forskare i flera decennier, särskilt inom fjärranalys, robotiksammanhang och för militära tillämpningar. Högupplöst mobil laserskanning ger möjlighet till detektion av små geometriska förändringar, i storleksordningen dm och i vissa fall ännu mindre.

Gränsen för hur små förändringar som går att upptäcka påverkas av ett antal faktorer: systemets mätnoggrannhet och skanningsmönster, punkttätheten samt den geometriska överensstämmelsen mellan den aktuella mätningen och den föregående.

Om de båda datainsamlingarna har genomförts under mycket likartade förutsättningar (samma system, samma sensorposition, samma upplösning) kan det räcka långt att detektera punkter i det ena datasetet som inte har någon motsvarighet i det andra, genom olika avståndsmått (punkt-till-punkt och punkt-till-plan är de vanligaste).

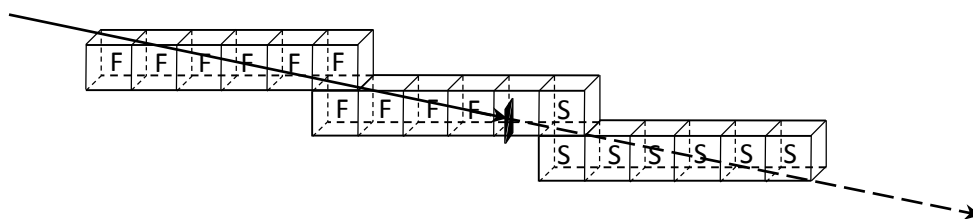
I praktiken är problemet mer komplex. I vägkarteringsfallet är det mycket osannolikt att återkommande datainsamlingar alltid kommer ske med samma system, i samma hastighet och längs samma trajektorier. En utmaning för forskningen idag är därför i att utveckla metoder och verktyg för jämförelse av punktmoln som inte grundar sig på enkla avståndsberäkningar. Ett vanligt tillvägagångssätt är att bygga en 3D-karta av små volymselement (voxlar<sup>1</sup>) och analysera statistiska skillnader mellan dataseten utifrån denna, se t.ex. Xiao et. al., 2013 och Hebel et. al., 2014. Med hjälp av en sådan 3D-karta kan man explicit skilja mellan *fri rymd* (där laserljuset har passerat) och *skymda områden* (dit laserljuset inte kunnat nå pga en framförvarande yta). Det gör i sin tur att man kan skilja mellan *verkliga* förändringar, som inträffat i områden där vi vet att systemet hade möjlighet att observera och som därför är säkra, och *möjliga* förändringar, som motsvarar företeelser som ligger i ett område som tidigare var skymt och som därför inte alls behöver motsvara en verklig förändring.

På motsvarande sätt kan man markera företeelser i den gamla mätningen som pga. skyl inte gick att observera i den nya och som därför kan markeras som ej bekräftat och som därför kanske behöver kontrolleras i fält. I Figur 2 nedan illustreras en delmängd av 3D-karta med voxlar och en vektor som indikerar laserljusets utbredning till träff på en yta och tänkt fortsatt utbredning om ytan ej funnits, voxlar med fri rymd markeras med F och voxlar med skymda områden med S.

En algoritm för förändringsdetektion kommer sannolikt att kunna utgöra ett mycket värdefullt stöd till fortsatt analys. Genom att utnyttja den redan etablerade databasen över objekt kan avvikelser från denna upptäckas, t.ex. stolpar som börjat luta, skyltar som deformerats, räcken som skadats, vägmarkeringar som försvunnit eller vegetation som växt upp och skymmer vissa företeelser.

---

<sup>1</sup> voxel = volume element, jmf. pixel = picture element



Figur 2. En delmängd av en så kallad 3D-karta med voxlar (F=fri rymd och S=skymd) och en vektor som indikerar laserljusets utbredning.

### 3.4 Sammanfattning översikt över FoU

Forskningsresultat avseende informationsextraktion baserat på data från mobil laserskanning och fotografering kan sammanfattas som:

- Omoget område, såtillvida att många olika angreppssätt prövas och inget tycks vara det dominerande.
- Många metoder bygger på antaganden om hur objekten ser ut riskerar att inte uppfyllas om datainsamlingen sker på ett annat sätt.
- Det saknas ett stort, varierat, öppet dataset som kan användas för att mäta och jämföra prestanda med. Det vanligaste är att algoritmer testas på egenhändigt valda urbana scener vars relevans för Trafikverket är högst oklar.
- Analys sker i flera steg – t.ex. filtrering, detektion, segmentering, klassificering. Även om de rapporterade klassificeringsprestanda för en metod inte är alltför imponerande kan ändå vissa tidigare steg i kedjan vara användbara, t.ex. för att skapa hypoteser och dela upp data i segment som en operatör sedan klassificerar.
- Många algoritmer inbegriper flera olika parametrar som kan varieras. Det kan medföra att algoritmen måste trimmas in när man byter miljö eller insamlingsystem.
- I många publikationer om igenkänning av objekt görs inte särskilt många antaganden om vilka objekt som bör finnas var, dels eftersom sådana är svåra att göra i en gyttrig, urban miljö och dels eftersom forskarna vill visa att deras algoritm förutsättningslöst klarar att extrahera objekt. I Trafikverkets fall bör dock sannolikt flera antaganden kunna göras som riktar in analysen på vissa delar av det insamlade datasetet och som därigenom bidrar till att höja prestanda.
- Vi har inte hittat några artiklar som fokuserar på beräkningstider för bearbetning av enorma mängder vägkarteringsdata och som sätter detta i relation till ett rent manuellt arbete för att uppskatta vilken tidsbesparing

olika typer av analys kan medföra. Det är inte oväntat eftersom forskningen för tillfället fokuserar på att utveckla analysmetoder som fungerar.

- Det är också ont om artiklar och resultat som behandlar metoder och verktyg för att uppdatera en existerande databas med tidigare identifierade och kartlagda objekt givet på nya data från samma område. Det vi stött på och som ligger närmast handlar om förändringsanalys för data från mobil datainsamling. Vi har inte hittat någon som går vidare med analysen och även uppdaterar en tidigare kartläggning.

## 4 Förslag till fortsatt arbete

Vi har ovan berört behovet av aktuell och noggrann lägesbunden information om faktiska förhållanden för väginfrastrukturprojekten samt nämnt den påbörjade kartläggningen av vägnätet. Vi har också pekat på och diskuterat behovet av metoder och verktyg för vidareförädling av insamlade data för att effektivisera användningen och markant öka värdet på den investeringen som en datainsamling innebär. En litteraturgenomgång av nuläget inom internationell forskning och utveckling avseende avancerad analys av data från mobil laserskanning har också presenterats.

Vi föreslår här att det inledande studiearbetet fortsätter. Arbetet föreslås i ett första steg omfatta i) en fortsatt teoretisk utredningsorienterad del samt ii) en praktisk del. Syftet är att bereda väg för utveckling av metoder och verktyg för vidareförädling av insamlade data som stödjer framtagning och tillhandahållande av objektinformation om sådana företeelser och faktiska förhållanden som efterfrågas av infrastrukturprojekten.

Med stöd av resultatet från föreslaget arbete kan ett andra steg beredas där det faktiska utvecklingsarbetet av metoder och verktyg kan komma igång.

Den översiktliga litteraturgenomgången ovan visar att majoriteten av internationell FoU är inriktade mot utveckling av metoder och verktyg för extraktion av olika typer av objekt i insamlade data. Några enstaka verktyg har också redan dykt upp på marknaden. Hur mogna dessa är för att stödja kvalificerad automatisk förädling av rådata är inte känt så det skulle behöva undersökas närmare.

Vidare står det också klart att internationell FoU inte i någon större utsträckning berör metoder och verktyg för effektiv ajourhållning av tidigare identifierade objekt, t.ex. anpassad förändringsanalys följt av områdesfokuserad analys för objektextraktion. Mot bakgrund av detta och det som tidigare nämnts om prioritering av utveckling och användning av metoder och verktyg som stöd för de två faserna har vi här lagt tyngdpunkten i det föreslagna arbetet på sådant som primärt stödjer ajourhållningsfasen.

Den teoretiska delen av fortsatt arbete förslås innehålla

- Fortsatt fördjupad litteraturstudie med inriktning mot att i första hand extrahera data för mark och vägbana samt förändringsanalys.
- Studie av möjligheter att använda andra nationellt tillgängliga data som för analys och vidareförädling av insamlade vägdata, t.ex. Lantmäteriets ortofoton, Fastighetskartan, nationell höjdmodell, NVDB, kommande

fotogrammetrisk nationell ytmodell osv. Detta arbete bör omfatta analys och vidareförädling av rådata i båda faserna.

- Fortsatt studie kring möjliga metoder och verktyg för ajourhållning av objekt databasen. Till exempel frågeställningar som; vilka metoder finns, för- och nackdelar? Krav och förutsättningar? Hur hantera och skilja naturliga förändringar i t.ex. vegetation från förändringar orsakade av byggnation och underhåll eller annat? Hur bör/kan upptäckta kandidater till förändringar rapporteras och hanteras?

Den praktiska delen av fortsatt arbete föreslås omfatta

- Analysarbete (manuellt) med verkliga data och studie av hur olika företeelser uppträder i data. Frågeställningar att beakta är bl. a. Hur väl kan företeelserna observeras och mätas? Vilken kvalitet håller data och vad innebär det för analysarbetet? Hur påverkar skuggor och skyl som delvis skymmer företeelserna analysarbetet?
- Prov och utvärdering av några existerande verktyg. Fokus på vilka resultat som kan erhållas med automatiska funktioner i verktygen, t.ex. typ av resultat och kvalitet på resultaten. Även särskilda problem bör studeras. Exempel på verktyg som kan provas är
  - VRMesh (survey/studio) från VirtualGrid Inc, USA. ([www.vrmesh.com](http://www.vrmesh.com)). Detta är en traditionell PC-mjukvara för arbete med data från bla mobil laserskanning. Den innehåller funktioner för hantering av data, avancerade analyser (klassificering, extraktion av företeelser) och 3D-modellering (CAD modeller).
  - GeoSignum On-line tjänst från GeoSignum, Holland. ([www.geosignum.nl](http://www.geosignum.nl)). Detta är en internet-baserad tjänst där rådata skickas via nätet till bolagets server och resultatet sedan tankas efter färdig bearbetning. Det är tveksamt om detta är en praktisk användbar lösning med tanke på bl a mängden data som är aktuell samt eventuella säkerhetsaspekter med att tillgängliggöra detaljerad information om nationell infrastruktur på internet. Det är dock både intressant och väsentligt att få kunskap om vilket typ av resultat och kvalitet som kan uppnås med existerande automatiska metoder idag.

Vi föreslår att arbetet bör omfatta minst 2-3 personmånader<sup>2</sup> arbetstid samt innehålla kostnadstäckning för alla extra (direkta) kostnader i samband genomförande av praktiska prov, t.ex. för anskaffning mjukvaror, avgifter för databearbetning, anskaffning av testdata, osv.

Det är förslaget baserar sig på resultat från det inledande studiearbetet. Vi vill dock poängtera betydelsen av att omfattning och inriktning av fortsatt arbete dialogiseras med Trafikverket.

---

<sup>2</sup> en personmånad antas motsvarar ca 165h arbetstid

## Referenser

- Cabo, C., Ordoñez, C., García-Cortés S., Martínez, J., 2014. An algorithm for automatic detection of pole-like street furniture objects from Mobile Laser Scanner point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 87 (2014), pp. 47–56.
- Chen, X., Stroila, M., and Wang, R., 2009. Next generation map marking: geo-referenced ground-level LiDAR point clouds for automatic retro-reflective road feature extraction, 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information System, Seattle, WA, U.S.A., 4-6 November 2009.
- Clode, S., Rottensteiner, F., Kootsookos, P., and Zelniker, E., 2007. Detection and vectorization of roads from LiDAR data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 73, no. 5, pp. 517-535.
- Danescu, R. and Nedeveschi, S., 2010. Detection and classification of painted road objects for intersection assistance applications, *Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation System*, Funchal, Portugal, 19-22 September 2010, pp. 433-438
- Elberink, S.J.O., Vosselman, G., 2009. 3D information extraction from laser point clouds covering complex road junctions. *The Photogrammetric Record* 24 (125), 23–36 (ISSN 0031868X).
- Guan, H., Li, J., Yu, Y., Wang, C., Chapman, M., Yang, B., 2014, Using mobile laser scanning data for automated extraction of road markings, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* vol. 87, pp. 93–107
- Hebel, M., Hammer, M., Gordon, M. and Arens, M., 2014. Automatic change detection using mobile laser scanning. *SPIE 9250, Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications VIII; and Military Applications in Hyperspectral Imaging and High Spatial Resolution Sensing II*
- Ishikawa, K., Tonomura, F., Amano, Y. and Hashizume, T., 2013. Recognition of Road Objects from 3D Mobile Mapping Data, *International Journal of CAD/CAM* Vol. 13, No. 2, pp. 4148.
- Jaakkola, A., Hyyppä, J., Hyyppä, H., Kukko, A., 2008. Retrieval algorithms for road surface modelling using laser based mobile mapping. *Sensors* 8 (9), 5238–5249 (ISSN 1424-8220).
- Kumar, P., McElhinney, C. P., Lewis, P. and McCarthy, T., 2014. Automated road markings extraction from mobile laser scanning data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32, pp. 125–137.
- Kumar, P., McElhinney, C. P., Lewis, P. and McCarthy, T., 2013. An automated algorithm for extracting road edges from terrestrial mobile LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 85, pp. 44–55.
- Lehtomäki, M., Jaakkola, A., Hyyppä, J., Kukko, A. and Kaartinen, H., 2011. Performance Analysis of a Pole and Tree Trunk Detection Method for Mobile Laser Scanning Data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W12, 2011.
- Li, D. and Oude Elberink, S., 2013. Optimizing Detection of Road Furniture (Pole-like Objects) in Mobile laser Scanner Data, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W2.

- Schoeler, M., Papon, J. and Wörgötter, F., 2015. Constrained Planar Cuts - Object Partitioning for Point Clouds, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 5207-5215
- Takashi, O. and Kiyokazu, T., 2006. Lane recognition using on-vehicle LiDAR, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo, Japan, 13-15 June 2006, pp. 540-545.
- Pu, S., Rutzinger, M., Vosselman, G., and Elberink, S. O., 2011. Recognizing basic structure from mobile laser scanning data for road inventory studies, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, pp. s28-s39.
- Rodríguez-Cuenca, B., García-Cortés, S., Ordóñez, C. and Alonso, M. C., 2015. Automatic Detection and Classification of Pole-Like Objects in Urban Point Cloud Data Using an Anomaly Detection Algorithm, *Remote Sensing*, 2015, 7, pp. 12680-12703.
- Tombari, F., Fioraio, N., Cavallari, T., Salti, S., Petrelli, A. Di Stefano, L., 2014. Automatic detection of pole-like structures in 3D urban environments, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), September 14-18, 2014, Chicago, IL, USA.
- Vosselman, G., 2009. Advanced point cloud processing. In: Proceedings of the Photogrammetric Week, 7-11 September, Stuttgart, pp. 137-146.
- Xiao, W., Vallet, B. and Paparoditis, N., 2013, Change Detection in 3D Point Clouds Acquired by a Mobile Mapping System, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W2, 2013
- Xiao, W., Vallet, B., Brédif M and Paparoditis, N., 2015, Street environment change detection from mobile laser scanning point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* vol. 107, pp. 38-49
- Yang, B., Fang, L., Li, Q., and Li, J., 2012. Automated extraction of road markings from mobile LiDAR point clouds, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 78, no. 4, pp.331-338.
- Yang B., Fang, L., and Li, J., 2013. Semi-automated extraction and delineation of 3D roads of street scene from mobile laser scanning point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 79, pp. 80-93.
- Yokoyama, H., Date, H., Kanai, S. and Takeda, H., 2013. Detection and Classification of Pole-like Objects from Mobile Laser Scanning Data of Urban Environments, *International Journal of CAD/CAM*, Vol. 13, No. 2, pp. 31-40.
- Yu, S., Sukumar, S. R., Koschan, A. F., Page, D. L., and Abidi, M. A., 2007. 3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach. *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 45, pp. 808-818.
- Yuan, X., Zhao, C., and Zhang, H., 2010, Road detection and corner extraction using high definition LiDAR, *Information Technology Journal*, vol. 9, pp. 1022-1030
- Zhou, L. and Vosselman, G., 2012. Mapping curbstones in airborne and mobile laser scanning data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 18, pp. 293-304





**TRAFIKVERKET**

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Rödavägen 1.  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 0243- 750 90

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)