



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för datavetenskap och samhällsbyggnad

Automatiska metoder för igenkänning, klassificering och extrahering av objekt från punktmoln insamlade med mobil laserskanning

En litteraturstudie

Carl Ljunggren
Emil Lundgren

2019

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp
Lantmäteriteknik
Lantmätarprogrammet, teknisk inriktning

Handledare: Yuriy Reshetyuk, Thomas Norlin
Examinator: Stig-Göran Mårtensson
Bitr. examinator: Marianne Berg

Förord

Efter tre lärorika år avslutas nu våra studier och vi blir färdiga lantmätare. Den här uppsatsen markerar ett slut för studierna och en början för det kommande arbetet i branschen.

Vi vill passa på att tacka våra handledare Yuriy Reshetyuk (HiG) och Thomas Norlin (Trafikverket) för allt stöd ni givit oss i det här arbetet. Vi vill även tacka de personer som valde att ställa upp på intervjuer och svara på våra frågor. Det har varit till stor hjälp!

Gävle, Maj 2019

Carl Ljunggren & Emil Lundgren

Sammanfattning

Digitalisering är för tillfället ett stort diskussionsämne och i de flesta delarna av världen pågår det en övergång från analoga till digitala data. Digitala data är mer flexibelt och kan innehålla mycket högre detaljnivå än vad som är praktiskt möjligt med analoga data. Digitala data är dock fortfarande i sin vagga och det krävs mycket mer arbete för att effektivisera och optimera insamlingen och bearbetningen av den. Denna litteraturstudie undersöker mobil laserskanning (MLS) och dess databearbetning för att hitta var teknikens framkant ligger gällande automation samt hur detta reflekterar sig mot laserskanningsbranschen. I litteraturstudien har ett stort antal artiklar hanterats och sällats, vilket i slutändan resulterade i 25 artiklar som redovisas i resultatet. Utöver litteraturstudien har det även utförts ett mindre antal intervjuer och utskickade enkäter, detta i syftet att dra paralleller mellan teorin i artiklarna och det praktiska utförandet i Sverige. Resultatet går igenom de olika artiklarnas metoder, redovisar vad som är speciellt med dem, samt redovisar likheter mellan dem. I diskussionen jämförs artiklarna vi läst mot hur laserskanningsbranschen för närvarande ser ut i Sverige, och varför vi tror att de inte alltid speglar varandra. Slutsatserna vi drar är att de nya metoderna vi läst om är lovande och att automation är på framfart. Tyvärr finns det ett glapp mellan dessa metoder och de tillämpade metoderna på grund av hur mycket testning och mjukvaruutveckling som krävs för att föra in nya metoder på marknaden. Beställarna är heller inte alltid motiverade till att prova nya och obeprövade metoder då det kan innebära förhöjda kostnader i de fall då den använda metoden inte fungerar, eller annan att komplikation uppstår.

Nyckelord: Mobil Laserskanning, Automatiska Metoder, Databearbetning.

Abstract

Digitalisation is currently a big point of discussion and in most parts of the world there is a transition from analog to digital data happening. Digital data is more flexible and can contain a much higher level of detail than what is practically possible when using analog data. Digital data is however still in its cradle and there is much more to be done to streamline and optimize the collection and processing of it. This literature study investigates mobile laser scanning (MLS) and its data processing to find its newest techniques and methods in regards to automation, and also how this reflects in the market for laser scanning. In the literature study a large number of articles have been sifted through, which in the end resulted in 25 articles which are presented in the results. Besides the literature study, a small number of interviews and questionnaires were sent out and performed, this was to compare the theories of the articles to the practical implementation in Sweden. The results handle the articles' different methods, present what is unique to the articles, and what their similarities are. In the discussion the articles are compared to what the market for laser scanning currently looks like, and why it might be that they don't always reflect each other. The conclusions drawn are that the new methods we've read about are promising and that automation is seeing great progress. Sadly, there is a gap between these new methods and the applied methods due to the fact that much testing and software development is needed to bring new methods into the market. The clients are also not always eager to try new and relatively untested methods because of the risk of an increased cost due to malfunction or other complications that might occur.

Keywords: Mobile Laser Scanning, Automatic Methods, Data Processing

Innehållsförteckning

Förord	i
Sammanfattning	iii
Abstract	iv
Innehållsförteckning	vi
1 Introduktion	1
1.1 Syfte och mål	2
1.2 Nyttan med denna studie	3
1.3 Avgränsningar	3
1.4 Tidigare studier	3
1.5 Hållbarhet	4
2 Metod	5
2.1 En 4-steps urvalsprocess	5
2.1.1 Steg 1, Inledande sökning	5
2.1.2 Steg 2, Initialt urval	6
2.1.3 Steg 3, Ämneskontroll	6
2.1.4 Steg 4, Slutgiltigt urval	6
2.2 Ämnesgrupper	7
2.3 Intervju	7
2.3.1 Halvstrukturerad Intervju	7
2.3.2 Enkätintervju	8
3 Resultat	9
3.1 Insamling och reducering av data	9
3.2 Voxelisering	10
3.3 Convolutional Neural Network	11
3.4 “3D till 2D tekniker”	15
3.5 Klustring	16
3.6 Stolpliknande objekt	17
3.7 Objekttyper som behandlas	22
3.8 Sammanställning av studier	22
3.9 Intervjuresultat och enkätsvar	23
4 Diskussion	25
5 Slutsats	28
6 Referenser	29
Appendix A: Frågeformulär	A1
Appendix B: Sammanställning av artiklar och förkortningslista	B1

1 Introduktion

Dagens samhälle växer och behovet av noggrann digital dokumentering av städer har ökat. Denna dokumentering är viktig för utvecklingen av städer och infrastruktur, inte bara för att planeringen av nybyggnation ska kunna ske på ett så effektivt sätt som möjligt utan dokumenteringen ligger även som grund för utvecklingen av framtidens smarta städer. Begreppet smarta städer är något av ett samlingsbegrepp som talar för hur informationsteknik (IT) och kommunikationsteknik kan användas för att öka en stads effektivitet samt livskvaliteten för dess innevånare (Gascó-Hernandez, 2018). För att kunna utveckla smarta städer med hög grad av automatiserade tjänster behöver allt vara dokumenterat digitalt. Digitaliseringen medför sedan nyttor som förenklat underhåll och förvaltning samt underlättar framfarten av ny teknik, som självkörande bilar.

Det finns dock fler aspekter på behovet av noggrann dokumentering. Enligt Statistiska Centralbyrån (2015) sker en stor urbanisering i Sverige. För ca 200 år sedan bodde 90% av befolkningen på landet i Sverige. År 2015 när nya mätningar gjordes visade resultaten på att 85% av Sveriges befolkning nu bor i tätorter. Statistiken tyder på att vi i framtiden kommer se en ökande andel av vår befolkning som flyttar in till städerna vilket i sig ställer högre krav på underhåll, dimensionering och planering av stadens vägnät, avlopp, vattenbehov och liknande tjänster. Ett exempel på en åtgärd som utförts i ledet för att parera effekterna av urbaniseringen är utbyggnaden samt uppgraderingen av Henriksdals reningsverk i Stockholm där syftet förutom att öka kapaciteten även är att på något sätt minska mängden läkemedelsrester i vattnet (Wallberg, Wallman, Thorén, Nilsson & Christiansson, 2016).

Samhället förlitar sig till stor del på att vägar är säkra och framkomliga. Nuvarande metoder för att underhålla dessa vägar är huvudsakligen manuella och använder sig av visuell inspektion. Mittbarriärer, lyktstolpar och skyltar är några av objekten som finns längs med hela Sveriges vägnät. Vägnätet består av 98 500 km statliga vägar och 42 300 km kommunala vägar (Trafikverket, 2018). På grund av den stora mängden kan inte Sveriges vägar underhållas effektivt med endast manuella metoder. För att effektivisera och öka hur ofta underhåll kan ske bör det då användas mer automatiska metoder som minskar mängden arbetstimmar och resursåtgången (Wang, Lindenbergh & Menenti, 2017).

Laserskanning används idag som en effektiv metod för att kartlägga i 3D. Tekniken används i dagsläget för att dokumentera saker som kulturminnen, byggnader, industrier, vägar och järnvägar. Den här studien utförs på initiativ av Trafikverket och författarna vid Högskolan i Gävle och kommer att fokusera på kartläggningen av vägar och vägobjekt. Det finns idag stora mängder data i form av punktmoln som samlats in längs våra vägar med mobila laserskanningssystem (MLS) på uppdrag av Trafikverket. Att behandla denna data med manuella metoder för segmentering, klassning och extrahering av objekt är inte tidsmässigt eller ekonomiskt försvarbart så behovet av automatiska metoder för att göra detta anses stort.

I dagsläget finns det mycket forskning kring automatiska metoder för att behandla 3D laserdata men inget som sammanställer och jämför de olika teknikerna som föreslås. Den här studien kommer att fokusera på hanteringen av data som är insamlat via laserskanning, specifikt mobil laserskanning.

1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att med hjälp av en litteraturstudie samt intervjuer med människor som är aktiva i branschen undersöka var världens mätbransch ligger gällande automatiska metoder för att behandla punktmoln. Oavsett om dessa människor är aktiva inom mjukvaruutveckling, hårdvaruutveckling eller användare så ämnar denna studie till att skapa en större förståelse för vad som är möjligt att åstadkomma med dagens teknik när det kommer till automatisk igenkänning, segmentering, klassificering och extrahering av objekt vid vägsida ur punktmoln. Studien kommer att fokusera på data insamlat av främst mobila laserskanningssystem och ämnar även till att undersöka om de metoder som föreslås av framstående forskare kan på ett effektivt sätt användas i dagsläget.

I studien kommer fyra frågeställningar besvaras:

- Var ligger den tekniska framkanten gällande automatiska metoder för igenkänning, klassificering och extrahering av vägobjekt från punktmoln?
- Vilka typer av vägobjekt kan kännas igen?
- Vilken grad av automation kan uppnås?
- Hur utförs jobbet i Sverige just nu?

1.2 Nyttan med denna studie

Genom att öka förståelsen för vad som är möjligt att åstadkomma med dagens teknik kan beställare av ovan nämnda dokumenterande tjänster få en bättre förståelse för vilka krav som rimligen kan ställas på leverantörer vid framtida upphandlingar. Även företag som ägnar sig åt teknikutveckling inom ramen för smarta städer och smarta fordon har stor nytta av att veta vart den tekniska framkanten i området ligger. Då detta till stor del ligger till grund för deras arbete.

Enligt den nationella geodatastrategin (Lantmäteriet, 2016) är geodata i 3D en självklarhet i framtiden då utvecklingen av smarta städer, smart logistik, självkörande bilar, "internet of things" och liknande lösningar är saker som sker i rask takt. Eftersom tekniker som laserskanning är väldigt effektiva när det kommer till insamlandet av data och idag används i stor utsträckning så kommer automatisk behandling av dessa data ha stor betydelse inför framtiden. Förhoppningsvis kommer det här arbetet leda till utökad förståelse och tillämpning av laserdata. Förståelsen och tillämpningen kan då i sin tur hjälpa Lantmäteriets strävan mot geodata i 3D.

1.3 Avgränsningar

Studien har riktat sig mot forskning som är baserat på laserdata uppfångat av mobila laserskanningssystem. Efterbehandlingen och 3D-Modelleringen av dessa igenkända/extraherade och klassade objekt är något som ligger utanför denna studie. Studien kommer att inrikta sig på vägar och vägobjekt som räcken, refuger, lyktstolpar och skyltar. Eftersom den utförs tillsammans med Trafikverket valdes de objekt som är av intresse för deras tillämpningar. På grund av att utförandet av studien är begränsat till en period av 10 veckor har mängden artiklar som ingår begränsas till 40 stycken i initialt skede. Det finns mer litteratur som skulle kunna anses som relevant men det lämnas till senare forskning.

1.4 Tidigare studier

I detta avsnitt presenteras de tidigare arbeten som utförts inom undersökningen av automatiska metoder. Vanligtvis kan redovisningen av tidigare studier vara ett av de mer betonade avsnitten i en avhandling, men på grund av hur nytt ämnet är finns det inte många rapporter som försökt sammanställa nuvarande metoder. Under informationssökningen till denna litteraturstudie hittades en artikel som undersökte nutida metoder. Utöver denna artikel hittades även en rapport från Trafikverket som hanterade laserskannade punktmoln och dess möjligheter.

Che, Jeung & Olsen (2019) utförde under 2018 en undersökning av alla aspekter gällande bearbetning av punktmolnsdata från MLS. Deras litteraturstudie var väldigt utförlig och involverade mer än 150 artiklar.

Litteraturstudien är uppdelad i 6 huvudämnen, till exempel klassificering och igenkänning där igenkänning var det mest omfattande kapitlet. I varje enskilt kapitel beskriver de ämnets olika delar samt dessa delars svårigheter. I samband med de olika delarna presenterar de också de artiklar som hanterar den typen av datahantering. Slutsatserna som författarna drar från sin rapport är att många nya tekniker för databearbetning utvecklas just nu och många av dem redovisar en imponerande effektivitet. De nämner även att semi-automatiska metoder just nu verkar vara mer pålitliga och användbara än helt automatiska metoder.

Vad är det då som skiljer deras litteraturstudie från denna? För det första är det avgränsningarna; Che et al. (2019) har ett väldigt stort omfång gällande artiklar. De har ett större spann gällande hur gammal en artikel får vara, ämnesområdet är större i och med att de inte endast fokuserar på automatiseringen, och de har inte någon tillämpningsdel där metoderna faktiskt diskuteras mot hur marknaden för laserskanning ser ut för tillfället. Dessa avgränsningar gör att fokuset blir bredare än denna rapport vilket leder till lite annorlunda resultat. Bland annat blir inte diskussionen kring ämnet riktad lika mycket mot automatisering och dess tillämpningars nackdelar och fördelar. Metoderna som presenteras är inte heller alltid lika aktuella vilket gör att resultaten blir lite spridda i användbarhet. Slutligen finns det inga reflektioner kring hur laserskanningsbranschen anammar nya metoder och hur pass mycket av arbetet som görs nu är automatiserat.

Trafikverket har uttryckt ett behov av mer automatiserade metoder för laserdatabearbetning. I och med detta har de tagit initiativ till denna litteraturstudie för att öka den interna kunskapen i ämnet. Men utöver denna studie har det också gjorts en tidigare rapport kring ämnet. Söderman & Tolt (2016) är denna tidigare rapport från Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) som skrevs i samarbete med Trafikverket. Rapporten gjordes i samband med Trafikverkets insamling av laserdata av det nationella vägnätet och kan ses som en lättare litteraturstudie. Författarna tar i rapporten upp främst extrahering av information ur punktmoln, och skriver om till exempel vägbanan och objekt intill vägbanan. Syftet med rapporten var att lägga grund för framtida studier samt ge förslag till kommande Forskning- och Utvecklingsprojekt.

1.5 Hållbarhet

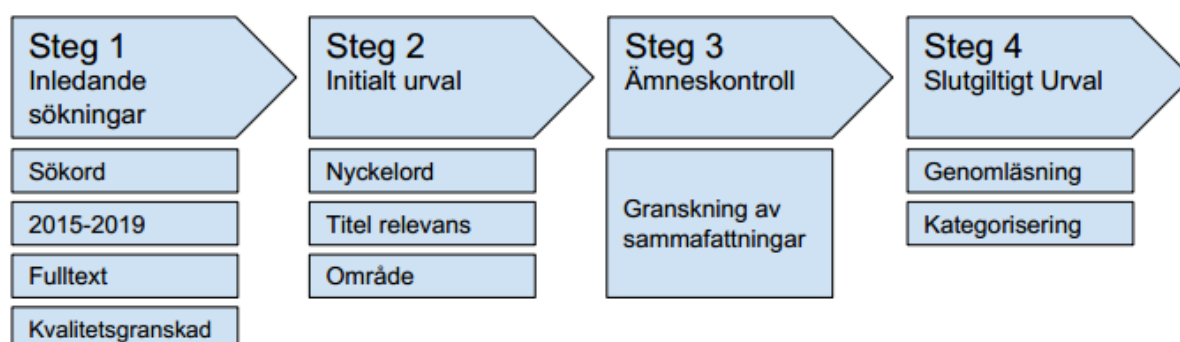
Studien är även fokuserad på kategori nio (Hållbar industri, innovationer och infrastruktur) & elva (Hållbara städer och samhällen) av de globala målen som Förenta Nationerna (2019) tagit fram i ledet till att skapa en mer hållbar framtid. För att uppnå en god hållbarhet bör förvaltningen av vägar och infrastruktur förbättras. Detta motiverar utvecklingen av automatiska metoder för att samla in och behandla laserdata då det ligger till grund för framtida teknikutveckling.

2 Metod

Den huvudsakliga sökmotorn som användes var Discovery-portalen (h.k Discovery) via Högskolan i Gävles bibliotek. De sökningar som gjordes där jämfördes också med samma sökningar på Google Scholar. Problemet med sökningarna via Google Scholar var att det inte går att endast söka artiklar och liknande som blivit kvalitetsgranskade av andra forskare. Då en av de kriterier som sattes för den här studien var att enbart kvalitetsgranskade artiklar ska ingå, så togs beslutet att i huvudsak använda sig av Discovery vid sökandet.

2.1 En 4-steps urvalsprocess

Figur 1 visar urvalsprocessen gällande artiklar som använts för studien. Den är indelad i fyra steg där det initiala steget handlar om vilka sökkriterier som använts. De tre resterande stegen är initialt urval, ämneskontroll och slutgiltigt urval. Det initiala urvalet av artiklar valdes efter hur väl deras titlar och område stämde överens med ämnet den här studien hanterar och valda nyckelord. I steget för ämneskontroll lästes artiklarnas sammanfattningar översiktligt för att avgöra om de var relevanta. I det sista steget studerades artiklarna i sin helhet och kategoriserades i det fall den skulle ingå i studien. Alla stegen står beskrivna i rubrikerna nedan.



Figur 1: *Urvalsprocessen.*

2.1.1 Steg 1, Inledande sökning

För att en artikel skulle anses som relevant då den här studien främst inriktar sig på vilken utveckling som sker i nutid i området så filtrerades sökresultaten till artiklar som publicerats mellan år 2015 till 2019. Det forskas mycket i området just nu så det ansågs viktigt att ha tidsmässigt aktuella data att utgå ifrån. Det är även viktigt att kunna granska artikeln i sin helhet så endast artiklar i fulltext format inkluderades i sökningarna. Vidare specificerades även kriteriet att alla listade artiklar skulle vara kvalitetsgranskade av andra forskare för att anses som relevanta. När samtliga sökresultat var inom rätt års-intervall samt var kvalitetsgranskade så fortsatte arbetet vidare till nästa steg i urvalsprocessen.

2.1.2 Steg 2, Initialt urval

När de olika sökkriterierna hade fastställts användes dessa för att hitta artiklar och forskningsmaterial via Discovery. Sökkriterierna kombinerades på olika sätt och resulterade i ett stort antal sökresultat. Ur dessa sökresultat valdes kandidater ut genom att leta efter vissa nyckelord (se nedan) i titlarna för att försäkra att artiklarna fanns inom rätt ämnesområde. Det gjordes för att många av resultaten endast var angränsande till ämnet och inte intressant för studien. Det fanns även många dubletter som valdes bort med denna metod. Med vissa lite bredare sökningar gjorde mängden sökresultat att alla artiklar inte kunde bedömas. Detta är på grund av tidsbegränsningen av examensarbetet.

2.1.3 Steg 3, Ämneskontroll

Efter den huvudsakliga sällningen av artiklar kvarstod många artiklar. Artiklarna bedömdes nu att med största sannolikhet vara passande för studien. Men efter genomgång av ett antal artiklar visade det sig att titeln inte alltid gav rätt uppfattning om artikelns omfattning. För att minska tidsåtgången gjordes därför en genomgång av alla sammanfattningar för att vidare sälla bort artiklar som inte fullt hanterat de ämnen som är av intresse.

2.1.4 Steg 4, Slutgiltigt urval

I det fjärde och sista steget i urvalsprocessen granskades de 40 artiklar som fanns kvar efter Steg 3 och lästes igenom i sin helhet för att kunna kategoriseras i olika ämnesgrupper. I samband med kategoriseringen gjordes grundliga genomgångar av artiklarna för att få en ordentlig förståelse av de ämnen och metoder de hanterade. Bland de 40 artiklarna fanns det vissa som vid det slutliga urvalet visade sig inte passa in i denna studie. Dessa artiklar valdes därför bort vilket resulterade att 25 artiklar fanns kvar att basera litteraturstudien på.

Nyckelord för sökningarna:

- *Automatic*
- *Detection*
- *Road side*
- *Objects*
- *Road*
- *MLS*
- *Extraction*
- *Point Cloud*

2.2 Ämnesgrupper

Valda metoder för automatisk behandling av punktmolnen inom de artiklar som ingår i den här studien skiljde sig. Det som skiljer sig är dels vilken teknik som används för behandlingen samt vilken del av arbetet som forskningen fokuserar på. För att uppnå helt automatisk behandling måste en mjukvara klara av att identifiera, segmentera, klassificera och extrahera objekt automatiskt. En del av de studerade artiklarna fokuserar på en av dessa delar medan andra fokuserar på fler, dock väldigt sällan alla delar. När det kommer till tekniker som används kan dessa variera i grad av komplexitet. Vanliga tekniker som ofta förekommer är olika former av maskininlärning och djupinlärning, vilket anses i den studien som de mest avancerade teknikerna. Vi valde därför att kategorisera litteraturen i grupper beroende på vilken teknik som används samt vilken del artiklarna handlade om (igenkänning, segmentering, klassificering eller extrahering).

2.3 Intervju

Utöver den litteraturstudien som utfördes söktes även information på andra platser för att skapa anknytningar till laserskanningsbranschen i Sverige. För att skapa dessa anknytningar kontaktades ett antal olika svenska entreprenörer och konsulter för att utföra en intervju gällande frågor kring studiens huvudämne. Dessa företagen hittades med hjälp av handledarna till denna uppsats och kontakter via Högskolan i Gävle. Efter en kontakt etablerats och kontaktpersonen på respektive företag gått med på en intervju skapades ett frågedokument (Bilaga A) som användes som utgångspunkt för intervjun. Det fanns även vissa kontaktpersoner som inte hade tid eller möjlighet att närvara på en intervju, vid sådana tillfällen skickades en enkät till personen. Kontaktpersonen ombads då också att svara så utförligt som möjligt.

2.3.1 Halvstrukturerad Intervju

Gillham (2008) hävdar att den halvstrukturerade intervjun är den viktigaste forskningsintervjun på grund av hur den har möjlighet att ge större omfång på svaren och ett mer tydligt sammanhang. Dock finns det även större svårigheter med halvstrukturerade intervjuer. Svaren kräver större tid och ansträngning för att tolka och kategorisera, och det är större krav på att skapa en bra intervjumiljö för att få så utförliga svar som möjligt på de lite mer öppna frågorna.

Gillham (2008) hävdar vidare att en halvstrukturerad intervju är en intervju som påminner mycket om en konversation som tar hjälp av frågor för att leda den i rätt riktning. Något som kan skilja en halvstrukturerad intervju från en helstrukturerad är de öppna frågorna. Det är inte frågor där det går att ha ja eller nej som svar, utan de är mer utvärderande. Frågorna är de som startar konversationen men det är intervjuaren som leder vidare konversationen med sonderande frågor för att utveckla svaren vidare.

Under våra intervjuer användes ett frågeformulär för att hjälpa styra intervjun. Efter respondenten gett sitt svar ställdes det oftast frågor för att få ett mer djupgående svar eller för att förklara någon del vidare. Alla svaren antecknades under intervjuens gång och delades in utefter vilken fråga som ställdes. För att minska chansen att något gått miste under transkriberingen renskrevs och utvärderades anteckningarna direkt efter intervjun.

2.3.2 Enkätintervju

Som nämnt i kapitel 2.3 fanns det vissa kontaktpersoner som inte kunde delta i en intervju. Dessa fick då en lista med frågor skickade till sig via E-post. Fördelen med detta var att det inte krävdes någon transkribering, men det ledde också till något kortfattade svar. I fallet när det var kortfattat kunde dock kontaktpersonen frågas igen för att utveckla svaret vidare.

3 Resultat

I det här kapitlet kommer den studerade forskningen som anses vara relevant för ämnet att sammanställas. Tekniker som används i de olika studierna kommer att till viss del nämnas i texten men en fullständig sammanställning av dessa finns i Bilaga B.

3.1 Insamling och reducering av data

Vid laserskanning bildas stora mängder data. Hur stora mängder beror såklart på hur stort område som ska laserskannas och med vilken kvalitet. När det kommer till just vägar och infrastruktur finns behovet av att kunna skanna stora ytor med stor grad av automation. Insamlingen av data bör i dessa fall ske med ett mobilt laserskanningssystem (MLS) då det är ohållbart att använda terrestra metoder på grund av de säkerhetsföreskrifter som idag råder vid vägarbeten beskriver T. Norlin (personlig kommunikation, 10 apr 2019) som är IT-arkitekt på Trafikverket och handledare för den här studien. Att sedan bearbeta dessa stora punktmoln som bildas ställer höga krav på det system som används och därav är vikten av att reducera överflödiga data stor. För att göra detta används olika metoder där de vanligaste är att onödiga laserdata som mark filtreras bort innan behandlingen av data påbörjas. Detta för att reducera mängden data att behandla och för att minska laddningstiderna för mjukvaran (Talebi Nahr, Saadatesresht, & Talebi, 2017).

Det är dock ej bara marken som filtreras bort och kan anses som onödig data. I Guan, Yan, Yu, Zhong & Li (2018)s metod för automatisk igenkänning av trafikskyltar filtreras onödig data bort genom att tidigare kunskap om skyltarnas utformning och höjd tas med i beräkningen. Allt som är bortom ett visst avstånd från vägbanan och under eller över det satta höjdvärdet för skyltarna filtreras bort automatiskt.

Ett annat tillvägagångssätt för att reducera data, och som är det vanligaste som kunnat utläsas ur de studerade artiklarna för den här studien är att voxelisering används (se kap 3.2). Intensiva ansträngningar har gjorts senaste åren i det här forskningsområdet då det blivit erkänt att laserskanning för den här typen av digitalisering är mycket effektivt. Det krävs dock effektiva metoder för att automatiskt hantera all data som bildas menar Riveiro, Díaz-Vilarino, Conde-Carnero, Soílán & Arias (2016) som även hävdar att Identifieringen av objekten är det viktigaste steget att fokusera på.

3.2 Voxelisering

För att få mer diskreta värden och områden i ett punktmoln kan punktmolnet voxeliseras. Voxelisering innebär att punktdata görs om till celler som har tre dimensioner. Det är som rasterformatet fast med en extra dimension. Dessa celler som skapas kallas voxlar som betyder volume element vilket kommer från samma grund som ordet pixels picture element.

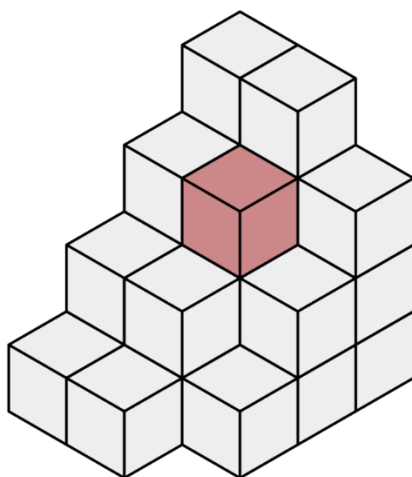
Den vanligaste celltypen bland voxlar är den kubiska, se Figur 2. Objekt byggs då upp av kuber i ett grid där det antingen finns en kub vid en viss plats eller inte. Detta ger det voxeliserade datat sin diskreta natur. På grund av sin diskreta natur kan inte celler ha "partiella" värden. Antingen så finns cellen eller inte, och cellens värde kan till exempel bestå av dess reflektans utöver sin position. Storleken av cellerna har ingen storleksstandard utan storleken bestäms utifrån den mätosäkerhet som behövs (Foley, van Dam, Feiner, Hughes, 1997).

Laserskanning medför ofta stora mängder data. Stora mängder data ställer i sin tur höga krav på den hårdvara som ska användas för efterbearbetning. Arbetet för att reducera data är något som ständigt adresseras av forskare i ämnet och det finns många olika sätt att göra detta. Voxeliseringen används i många studier som hanterar automatiska metoder för att behandla data i punktmoln och är ett bra sätt att reducera mängden data samt den tid det tar att processa den. Ordóñez, Cabo & Sanz Ablanedo (2017) hävdar att anledningen att tekniken är så effektiv är att bara koordinatinformation om kubens centeroid samt hur många punkter kuben innehåller behövs.

Voxlar kan användas för att skapa mer lättolkade och sammanhängande strukturer av punktmolnet. I en artikel av Kang, Yang, Zhong, Wu, Shi & Lindenbergh (2018) används voxeliserade punktmoln för att hitta vertikala linjer med voxlar. Dessa linjer indikerar att det finns ett så kallat stolp-liknande objekt. Hur många voxlar som finns kring det stolp-liknande objektet i horisontell riktning kan tala om vilken typ av objekt det är. Lyktstolpar har till exempel nästan aldrig några voxlar i horisontell riktning kring den vertikala linjen av voxlar medan träd har många som kan detekteras i trädkronans höjd (Kang, 2018).

Shi, Kang, Lin, Liu och Chen (2018) fortsätter detta arbete med voxelisering i sin artikel men på ett lite annorlunda sätt. De utför först förberedande arbete på punktmolnet och gör om det till voxlar för att minska datamängden. Men efter den första voxeliseringen ser författarna centrumet av varje voxel som en punkt igen och använder dessa centrumpunkter som en nedsampling av det ursprungliga molnet.

Efter detta segmenterar de bort markpunkterna eftersom att de inte är användbara för klassificeringen. När endast punkterna som tillhör objekt ovan mark finns kvar sker det en andra voxelisering med syftet att extrahera stolp-liknande objekt, något som har visat sig vara objekten av störst intresse bland de artiklar denna litteraturstudie har hanterat. Efter den sista voxeliseringen återstår endast klassifikationen av de stolp-liknande objekten där de kan placeras i tre olika kategorier; Gatlyktor, andra typer av stolpar samt trafiksignaler (Shi, 2018).



Figur 2: Typisk voxelstruktur.

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Voxels.svg/894px-Voxels.svg.png>

3.3 Convolutional Neural Network

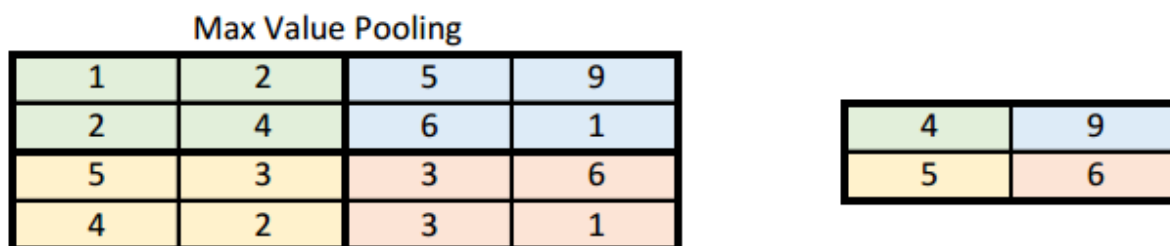
Djup maskininlärning är något som ofta används när det kommer till automatisk igenkänning av objekt i data. Många forskare använder djup maskininlärning i sina metoder för automatisk hantering av punktmoln då just denna automatik kräver smarta och självtänkande system. Convolutional Neural Network (CNN) är en form av maskininlärning som specialiserar sig på att behandla data som är ordnat i ett gridliknande mönster, till exempel bilddata. Idag används CNN i många olika forskningsfält och har blivit väldigt populärt på grund av hur väl det hanterar bildklassificering och objektigenkänning (Indolia, Goswami, Mishra & Asopa, 2018).

Även om de främst används för analys av bilder och liknande data idag så används de även inom många andra områden också, till exempel språkigenkänning, fordonsigenkänning.

Indolia et al. (2018) argumenterar även för anledningen till varför just CNN blivit populärt. För det första tillämpas idén om viktindelning vilket reducerar antalet parametrar som behöver tränas/läras in avsevärt och i sig bidrar till bättre generalisering. Den här generaliseringen och det minskade antalet parametrar resulterar i en smidigare inlärningsprocess. För det andra används inlärningsprocessen i både klassificerings och extraheringssteget vilket gör att dem blir inkorporerade. Till sist beskriver även författarna att det är mycket svårare att implementera stora och komplexa nätverk i traditionella artificiella neurala nätverk (ANN) än vad det är när det kommer till CNN (Indolia et al., 2018).

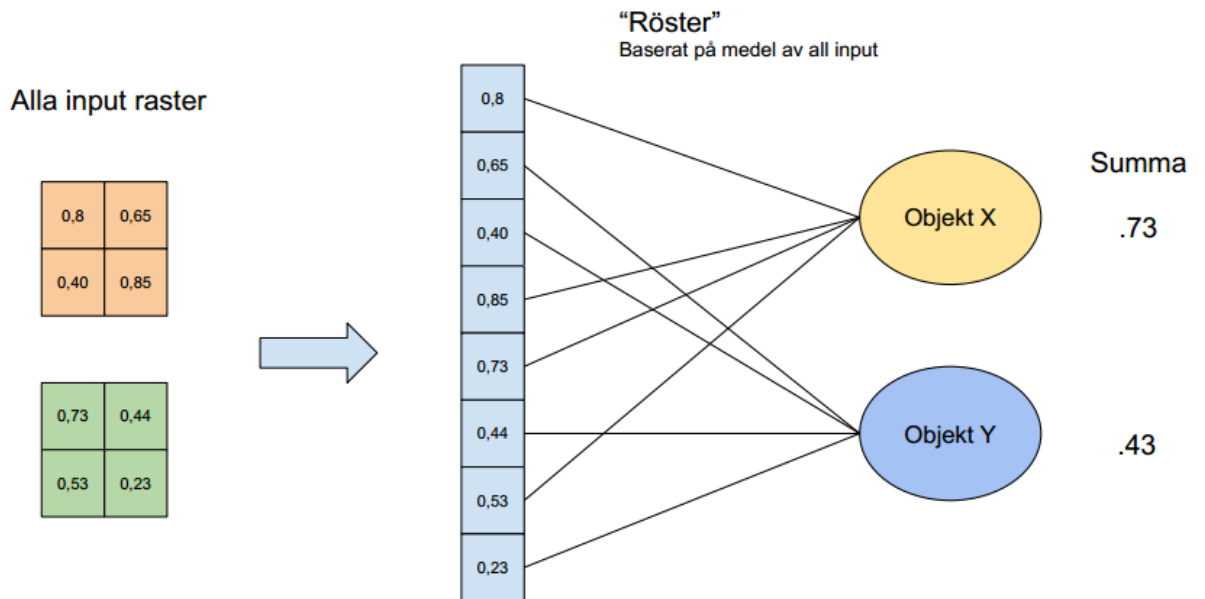
Bilder är uppdelade i ett rutmönster och varje ruta i nätverket innehåller information om vilken intensitet och kulör den rutan ska vara (Mishra, 2019)

Mishra (2019) beskriver även att CNN är uppbyggt i lager och varje lager utför en viss åtgärd och skickar sedan data vidare djupare in i nätverket där mer och mer avancerade åtgärder görs ju längre in data kommer. En tidig åtgärd kan vara att enkla mönster känns igen. Det kan röra sig om mönster som kurvor och linjer som känns igen med hjälp av filter för igenkänning av kanter (kantigenkänning) i rastret. Efter de enklare operationerna följer mer avancerade operationer där ansikten och liknande kan kännas igen. Rohrer (2016) som är en doktorand i ämnet beskriver i sin introduktionsvideo att de lager som utför ovan nämnda operationer kallas konvolutionslager. Ytterligare lager som används i CNN är poolningslager och normaliseringslager "Rectified Linear Units"-lager (ReLU). I poolningslagren utförs ytterligare operationer på rastret där det vanligaste tillvägagångssättet är att maxvärdet av data inom ramen för operationen tas och läggs till i ett nytt raster med mindre storlek (se Figur 3). Det som händer är då att bilden blir mindre vilket gör att den blir enklare att arbeta med samt att objektet som ska kännas igen inte behöver vara centrerat i bilden som ligger till grund för arbetet. ReLU lagren går igenom rastret på samma sätt fast denna operationen sätter istället alla värden där $x < 0$ till 0.



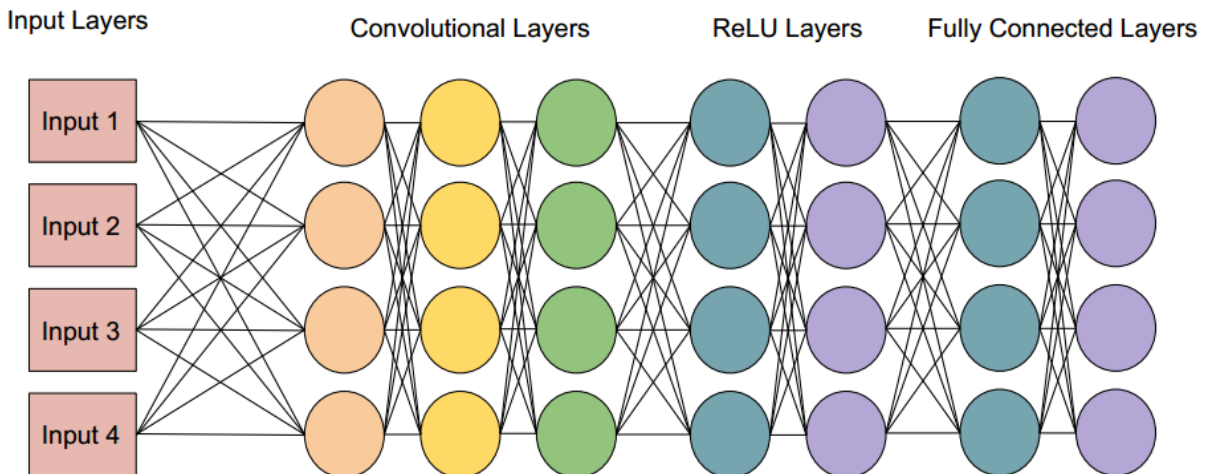
Figur 3: Pooling operationen.

Den slutgiltiga lagertypen är "fully connected"-lager. I detta lager görs rastret om till en talföljd (2x2 blir 1x4) där varje ruta innehåller ett värde som motsvarar den vikt och "rösträtt" rutan har inför den slutgiltiga bestämningen av vilket objekt som ska kännas igen (se Figur 4).



Figur 4: Fully connected lager.

Själva principen för CNN illustreras i Figur 5 och går i stort ut på att de data som matas ut från ett lager används som input till nästa lager. De olika lagren kan ibland ske i följd som figuren visar men även i en omkastad iterativ ordning (Rohrer, 2016).



Figur 5: CNN uppbyggnad.

Kumar, Pandey, Lohani & Misra (2019) använder sig av CNN i sin studie för automatisk klassificering. Förutom att de utvecklar en metod för klassificering, utvecklar de även en algoritm för att fylla i data som saknas. Det kan vara att skanningen blivit skymd och bitar av objektet saknas. Redan segmenterade testobjekt används som indata (träd, hus, högt gräs, bilar och stolpar) och punktmolnet görs i ett tidigt skede om till voxlar. Voxlarna roteras 90° i varje axel (x, y, z) och varje sida som fås används som input i deras CNN arkitektur. Kumar et al. (2019) beskriver att faktumet att varje objekt kan beskådas från fyra olika perspektiv förenklar igenkänningsprocessen. I sin studie utvecklar de tre arkitekturer för djupinlärning som de valt att döpa till; Singel CNN (SCN), Multi-Faceterad CNN (MFC) & Multi-Faceterad CNN med Reproduktion (MFCR). SCN använder bara ett perspektiv av objektet för igenkänningen, den är dock utvecklad för att hantera 3D data till skillnad från tidigare väl använda arkitekturer som är inriktade på 2D data. MFC & MFCR använder fyra stycken sidor men skillnaden mellan dem är att MFCR även har funktionaliteten att fylla ut saknad information. MFCR skapar nya "samples" av objekt från existerande och förfinar på så vis sin klassificeringsförmåga ytterligare hela tiden. Den sistnämnda arkitekturen har även uppnått det bästa resultatet.

Den här metoden har även framgångsrikt lyckats reducera brus i punktmolnen och kan användas utan några initiala parameterinställningar oavsett vilken typ av mobila laserskanningsdata som använts (Kumar et al., 2019).

3.4 "3D till 2D tekniker"

Många metoder för automatisk extrahering och igenkänning av objekt i punktmoln kräver en hel del förarbete i form av segmentering och i många fall även inlärningsarbete för 3D-deskriptorer ämnade för matchningen. Författarna Pang & Neumann (2015) föreslår i sin artikel en lösning som utgår från att bryta ner en 3D vy till en serie 2D vyer tagna från olika vinklar. Från dessa 2D vyer blir det enklare för program att känna igen ett objekts utformning och genom att information tas från alla de tvådimensionella vyerna och sedan kombineras, förenklas och påskyndas processen för automatisk extrahering av objekt. Denna metod slår många av de mest framstående metoderna som finns idag påstås författarna. För att försäkra sig om att 3D information inte går förlorad i processen att förvandla till 2D väljs vinklarna för dessa vyer noggrant och jämnt ut. Informationen om djup bibehålls och underlättar transformationen tillbaka till 3D. Fördelarna med denna multi-vy projektion anses av författarna att vara trefaldig. Varje vy kompenserar för de andras brist av information, objekten är även projicerade från olika vyer vilket gör att igenkänningsprocessen inte riskerar att stöta på svårigheter från roteringsförändringar. En ytterligare viktig faktor är att multipla igenkänningsprocesser i 2D fixerar objektens position i 3D vilket är en vanlig felkälla vid 2D igenkänning från bara en synvinkel.

Tekniken att bryta ner ett 3D problem till en serie 2D problem har använts av tidigare studier där det finns metoder som föreslår användningen av 2D bilderna för att extrahera silhuetterna av objekt för att sedan skapa 3D nätmodeller.

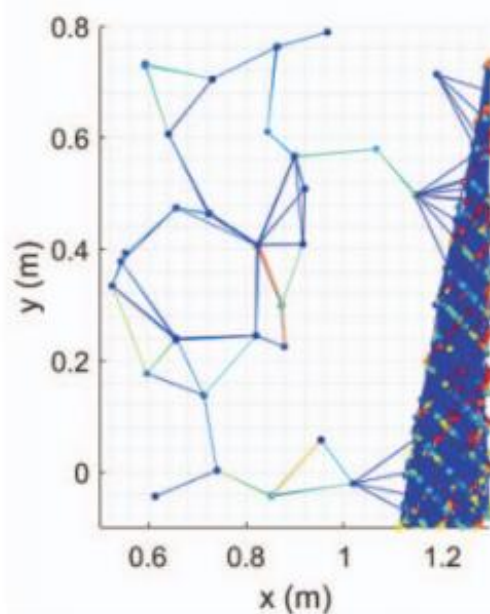
Ordóñez et al. (2017) utvecklade en metod för igenkänning av stolpliknande objekt som även klassificerade dem i sex olika kategorier: Träd, Lyktstolpar, "advertising signals", små trafiksignaler, stora trafiksignaler samt trafikskyltar. Metoden inleddes med att punktmolnet voxeliserades för att sedan analyseras i 2D. Det voxeliserade punktmolnet analyserades utifrån dess horisontella sektioner för att sedan i nästa steg återskapas i 3D.

Teo & Chiu (2015) diskuterar förenklingen av 3D-punkter till 2D där de likt Pang och Neumann (2015) talar för den förenklade bearbetningen av 2D-vyer. Men utöver det nämner de även ett problem som kan uppstå när punktmolnet konverteras. När 3D-punkterna projiceras på ett plan finns det en risk att tappa information om objektet vilket kan leda till felaktig klassificering. Deras artikel föreslår istället en "coarse-to-fine" metod, vilket innebär flera steg av segmentering. Först görs en grov segmentering på voxelskala, sedan en till segmentering på punktnivå, och sist en segmentering av överlappade objekt. Det sista steget görs för att segmenteringen på punktnivå inte kan särskilja överlappade objekt och kräver efterbearbetning. Det är också det sista steget som är det svåraste som Teo & Chiu (2015) beskriver det.

Med hjälp av denna uppdelning av segmenteringen minskas datamängden och bearbetningstiden vilket leder till att 3D till 2D i det här fallet inte blir nödvändigt.

3.5 Klustring

Klustring är en metod att sortera objekt eller i det här fallet punkter efter sina värden. Ett vanligt sätt att visualisera klustring är att göra det grafbaserat som Billah, Maskooki, Rahman & Farrell (2017) gjorde i sin artikel. De undersöker möjligheten att kartlägga vägmarkeringar från laserdata med hjälp av grafbaserad klustring. I artikeln använder de sig av intensiteten och avståndet från punkterna för att särskilja vägmarkeringar från vägen och dessa värden redovisas då grafiskt (Billah et al., (2017), Figur 6).



Figur 6: Grafbaserad klustring där x och y värden motsvarar avstånd, och färg motsvarar intensitet där blå är lägst och röd är högst (Billah et al., 2017, s.477).

Intensitetsvärdet av en punkt är inte alltid användbart för att hitta objekt i ett punktmoln, till exempel när reflektansen av objektet som söks är snarlikt bakgrunden. I det fallet kan andra värden behöva användas att utföra klustring med, vilket är något som Li, Li, Li, Yang & Liu (2017) skriver om i sin artikel.

I artikeln redovisar de en metod för att segmentera punktmoln i urbana miljöer för att skilja objekt av intresse från bakgrundspunkter som till exempel kan vara markpunkter. Efter förarbetet och voxelisationen av punktmolnet har markpunkterna detekterats och onödiga punkter filtrerats bort. Filtringen sker med hjälp av vad författarna kallar densitets-baserad klustring där en voxels ursprungliga punktinhåll bestämmer dess densitet och voxlar med liknande densitet hamnar i samma kluster. Det är utifrån denna "täthet" av punkter som voxlar kan slås ihop för att skapa fullständiga objekt i det ursprungliga punktmolnet (Li et al., 2017).

3.6 Stolpliknande objekt

Yadav, Lohani, Singh och Husain (2016) beskriver en metod i sin artikel som handlar om identifieringen av "stolp-liknande objekt" vid vägsida. I deras studie filtreras markpunkterna bort i ett tidigt skede för datareducering, även voxelisation används. Även om deras artikel inriktar sig på just cylinderformade objekt i lodrät riktning så går den även att applicera på andra typer av objekt men författarna argumenterar för att just dessa objekt är av stor vikt. Motiveringen är att det ofta handlar om lyktstolpar, träd och liknande objekt som med tiden löper risk för att välta av naturliga orsaker eller av yttre påverkan. Metoden som Yadav et al. (2016) föreslår är även testad på objekt som lutar, ligger nära andra objekt, är delvis skymda samt horisontella objekt som är fästa vid lodräta objekt. Det sistnämnda kan vara skyltar eller strukturer som sträcker sig över vägen ofta beklädda med skyltar för körfält, stopp-signaler eller annan viktig information till förare. Det finns inget tidigare antagande vart de stolp-liknande objekten befinner sig, heller inget intranät data via olika datorseendesystem, utan metoden i sig använder sig enbart av X Y Z-koordinaterna varje punkt har. Detta gör att denna metodiken är oberoende av skanningsgeometri (Yadav et al., 2016).

Det finns fler metoder som också är inriktade mot just stolp-liknande objekt. Spanska forskare argumenterar även för vikten av en effektiv identifiering av dessa objekt som ett led i utvecklingen av självkörande bilar. Rodriguez-Cuenca, Garcia-Cortés, Ordóñez och Alonso (2015) föreslår en metod som i ett första steg använder sig av automatisk segmentering av de delar av punktmolnen som ej är av intresse för det som skall utföras. Själva igenkänningsfasen utförs med hjälp av en algoritm som benämns "the Reed and Xiaoli (RX) anomaly detection algorithm" (Reed & Yu, 1990). Tillsammans med RX algoritmen används även en algoritm för att skapa kluster av sammanhörande punkter och sedan klassa dessa beroende på om det är träd eller objekt tillverkade av människan.

Det som är nytt med denna studie är utvecklingen av ett geometriskt index som kan extrahera vertikala och horisontella ytor likväl som det kan rekonstruera banan som fordonet färdades i då själva laserskanningen utfördes. Vidare nämner författarna ytterligare två saker som är nya med deras metod; att den har möjligheten att upptäcka pål-liknande objekt och klassa dessa utan tidigare a priori information eller intränad data samt argumenteras för att denna metod är robust och enkelt kan automatiseras med goda resultat med minimal handpåläggning (Rodriguez-Cuenca et al., 2015). Det som talar för att metoden kan klassas som att vara robust är att den använt sig av data från två olika sensorer i två olika scenarion. Denna metod är dock känsligare för låg punktdensitet än vad den tidigare nämnda metoden är.

Den stora utmaningen enligt vissa forskare i ämnet för automatisk hantering av laserdata är att storleksvariationen på objekten kring vägar som är av intresse varierar avsevärt. Det är dock ej bara storleken som varierar utan dess utformning såväl som dess komplexitet (Yang & Dong, 2013). Vissa objekt eller byggnader är ej färdigställda och ett sådant scenario ställer stora krav på de algoritmer som ska klassa dessa objekt. Yang och Dong (2013) utvecklade en metod för att parera ovan nämnda svårigheter, en metod som utgår från en formbaserad segmentering. Denna metod använder sig av maskininlärning, närmare bestämt support-vektormaskiner (SVM). Dessa "maskiner" analyserar data som används för klassificering och utifrån inmatade inlärningsexempel på former i två olika kategorier kan dessa SVM känna igen en form och placera den i en av de två kategorier som är aktuella.

SVM kan även känna igen former som skiljer sig lite från de inlärda men dock beskriver samma objekt och i de fall formerna skiljer sig lite men ändå klassas till samma objekt så läggs dessa till av modellen i inlärningsexemplen och används för vidare analys. Utöver användningen av SVM används kriterier för hur lika formerna måste vara för att de ska kunna klassas till samma objekt, detta för att undvika översegmentering. Formerna känns igen genom att punkternas grannskap och intensitet analyseras. Dessa former eller segment kan vara en liten del av ett objekt så dessa läggs vid ett senare tillfälle ihop beroende på vilket objekt de tillhör. Denna metod uppnådde bra resultat vid segmentering av storskaliga punktmoln från mobila laserskanningssystem. Även i den här studien nämns det att just stolp-liknande objekt kändes igen särskilt väl. Detta är i sig inte en metod för automatisk extrahering av objekt utan snarare ett steg för att det ska vara möjligt då segmenteringen är ett viktigt steg i processen (Yang & Dong, 2013).

Yang & Dong forskade 2015 vidare i ämnet tillsammans med två andra författare där det fokuserades på nästa steg i processen för automatisk extrahering av objekt i punktmoln.

Metoden som Yang, Dong, Zhao & Dai (2015) utvecklade definierar regler för hur segment skall grupperas till meningsfulla enheter som sedan ligger till grund för själva extraheringen och klassningen som utförs som ett sista steg. I sin studie beskriver författarna att metoden genererar supervoxlar i olika skalor istället för att använda sig av individuella punkter vid segmenteringen. Segmenteringen går ut på att voxlarna segmenteras istället för punkterna. Denna segmentering är graf-baserad och tar voxlarnas huvudsakliga riktning och färg med i beräkningen. Detta medför en avsevärd minskning av beräkningstider och ledtider för annan behandling då datamängderna minskas. Metoden extraherar de urbana objekten i en hierarkisk ordning beroende på hur framstående de är. Metoden visade sig kunna identifiera stolpar, byggnader, träd, trafikskyltar samt vägräcken (Yang et al., 2015).

För att tackla problemen med överlappande data, där flera objekt kan finnas i samma kluster och därav inte känns igen som ett stolpliknande objekt kan iterativa "min-cut" baserade segmenteringstekniker användas (Yan, Li, Liu, Tan, Zhao & Chen, 2017). Yan et al. (2017) använde just den ovannämnda tekniken i sin studie följt av en klassificering med hjälp av Random Forest som är en inlärningsalgoritm som har som fördel att den kan användas för både klassificering och regressionsproblem (Donges, 2018). Random Forest används även i ett sista steg för att bestämma vilken typ av stolpliknande objekt det är som identifierats. Bestämningen skedde med objektens utformningar och geometriska egenskaper som grund och metoden kunde särskilja 8st olika typer av stolpliknande objekt med imponerande resultat (Yan et al., 2017).

Yeung Yan, Morsym Shaker & Tulloch (2016) nämner i sin studie att många tidigare metoder för automatisk identifiering och extrahering av lyktstolpar använder sig av dataset över områden som är relativt flacka. Därav kan de direkt hoppa till klustringen och segmenteringen. De hävdar att det är lite missvisande eftersom kommunala vägar ofta kan variera i höjd vilket gör att en normalisering av stolparnas höjdvärden måste göras först innan klustring och segmentering kan göras. För att göra detta används algoritmer för att i första skedet separera mark från resten av punktmolnet. Därefter görs markdata om till en DEM som sedan används som referens vid normaliseringen av höjdvärden hos de objekt som ligger ovan mark. För att skapa kluster i datasetet användes en algoritm som heter "Density-based clustering of applications with noise" (DBSCAN) som skapar kluster utifrån en utvärdering av punktdensitet. DBSCAN förklaras även vara ett bättre val än andra klustringsalgoritmer som k-medel och ISODATA då DBSCAN kan gruppera punkter som är distribuerade i arbiträra mönster medan de andra två bara tar hänsyn till det euklidiska avståndet till klustrens centeroider (Yeung Yan et al., 2016). Metoden författarna utvecklade extraherar även objekten till ArcGIS filer för vidare manipulation och visualisering.

Metoderna som tagits fram genom forskning i ämnet varierar stort i komplexitet. Komplexiteten handlar om vilken typ av teknik som används i framställandet av metoderna. En del metoder använder djup maskininlärning som CNN kombinerat med andra avancerade maskininlärningsmodeller som SVM, andra använder enklare tekniker. Shao, Wang, Meng, Rui, Wang & Tang (2018) beskriver i sin studie en metod för realtidsigenkänning av trafikskyltar som uppnår mycket lovande resultat men som också är mycket avancerad. Kort beskrivet används både kamera och MLS vid datainsamlingen. Bilderna görs om till gråskala och filtreras med Simplified Gabor Wavelets (SGW) som är specialiserad på objektigenkänning och kantigenkänning. Trafikskyltarnas kanter förstärks och de områden som är av intresse (områden innehållande skyltar) extraheras och skyltarna klassificeras in i en superklass med hjälp av SVM. CNN används för att vidare klassificera dessa superklasser till underklasser.

Traditionellt används data som färg, form eller båda vid igenkänning av trafikskyltar i andra tidigare metoder (Shao et al., 2018). Författarna beskriver att färgbilder tagna med kameror på ett MLS ofta är svåra att tolka när det kommer till information om ett objekts utformning samt kulör, vilket medför att information går förlorad. De väljer att frånga den principen och använder istället bilder i gråskala just för att det är enklare att förstärka ett objekts kanter på det viset, eftersom det är just objektets kanter som avgör dess utformning (Shao et al., 2018).

Riveiro et al. (2016) beskriver en något mindre avancerad metod för att känna igen och klassa trafikskyltar utifrån deras geometriska och radiometriska egenskaper. De flesta skyltarna längs våra vägar har ju en reflekterande beläggning för att lysa upp och bli tydliga i en bilds strålkastarsken. Denna reflektans är alltså en av de variabler som denna metoden använder i igenkänningsprocessen. För att få konturigenkänning används linjär regression på en rasteriserad version av punktmolnet. Ett brytvärde för reflektans behövde sättas, dock visade det sig vara svårt eftersom att även registreringsskyltar på bilar och vägmarkeringar också reflekterar. Metoden uppnådde förhållandevis bra resultat men forskarna argumenterar för att en initial filtrering kan behöva göras för att ta bort dessa felkällor innan metoden används (Riveiro et al., 2016).

Att ha en plan för återkommande inspektioner av viss infrastruktur är något som Soilán, Riveiro, Martínez-Sánchez & Arias (2016) argumenterar för. De menar att just inspektionerna spelar en nyckelroll för att säkerhetsanalyser och planering av underhåll ska kunna ske på ett så bra sätt som möjligt. Deras metod är också ämnad för att upptäcka och klassificera trafikskyltar i data som består av en blandning av laserdata och bilddata.

Även i den här forskningen används geometriska och radiometriska egenskaper hos skyltarna för igenkänningen. Skillnaden från föregående studie är att i denna så används RGB data samt i de fall då upplösningen i punktmolnet är för dålig projiceras punkterna på de bilder som tagits av varje scen för att kompensera den dåliga upplösningen. En andra skillnad är att den inte är inriktad på igenkänning i realtid. Guan et al. (2018) gör en liknande studie med skillnaden att deras metod även tar med förkunskap om skyltars utformning i identifieringsprocessen.

Wen, Li, Luo, Yu, Cai, Wang & Wang (2016) betonar vikten inför framtiden av att kunna utföra inventering av vägs skyltar med automatiserade metoder. Idag görs detta manuellt eller semi-automatiskt och är mycket tidskrävande. En effektiv process för den här inventeringen behövs enligt författarna för att ta reda på antal, typ av skylt, skick, dess placering samt spatiala relationer till andra skyltar. Wen et al. (2016) beskriver en metod som likt ovan nämnd forskning fokuserar på just automatisk igenkänning av vägs skyltar. Det som skiljer deras forskning från resten är att dem även utvecklat matematiska modeller för att ta reda på ifall skylten är deformerad och lutar eller inte och hävdar att det är av stor vikt att veta inför en inventering (Wen et al., 2016).

Många av dagens studier fokuserar på igenkänningen och klassningen av endast ett sorts objekt. Det kan handla om att bara fokusera på stolpar eller bara på trafikskyltar. Problemet med att fokusera på objekt ur det perspektiv att det bara har en funktion är att objekt som har en kombinerad funktion blir svåra att klassificera (Li, Oude Elberink & Vosselman, 2018). Med objekt som har en kombinerad funktion menas som exempel trafikljus som även är beklädda med skyltar. Li et al. (2018) utvecklade därför en metod för att dela upp ett objekt i komponenter beroende på deras spatiala relationer. Processen är uppdelad i tre delmoment där det inledande momentet innefattar borttagning av markpunkter då det anses vara irrelevant data följt av en initial klassning av stolpliknande objekt. Därefter delas de klassade objekten upp i stolpe och tillbehör. Resultaten från steg två används i utredningen av objekt som falskt klassats till stolpliknande objekt. Författarna lyckas genom att använda "adoption of occlusion analysis" utveckla en funktion för att stolpliknande objekt som är i byggnader (som kan ses genom ett fönster) inte ska klassificeras. Metoden klassificerar stolpar och tillbehör men inte deras funktion, det vill säga om det är ett trafikljus eller typ av skylt.

Det som motiverade den här studien är att EU kommer att ha 90,000 km väg att gå igenom för kontinuerliga säkerhetsanalyser år 2020 och inventeringen av vägobjekt har en stor roll i de analyser som ska utföras. Metoder för den här typen av identifiering är även viktigt när det kommer till självkörande bilar och de livsförbättringar det medför, allra helst för personer med handikapp som i dagsläget ej kan framföra en bil (Li et al., 2018).

3.7 Objekttyper som behandlas

Den här studien hade som delmål att ta reda på vilka typer av objekt som kan identifieras i punktmoln. Nedan sammanfattas de objekt som vanligtvis förekom i de studerade artiklarna:

Objekttyp 1: Stolpliknande objekt

- *Lyktstolpar*
- *El-stolpar*
- *Trafiksignaler*
- *Träd*
- *Räcken*
- *Övrigt (Cylinderformat)*

Objekttyp 2: Plana Ytor

- *Fasader*
- *Trafikskyltar*
- *Vägbana*
- *Vägmarkeringar*
- *Trottoarer*
- *Övrigt (Planformat)*

3.8 Sammanställning av studier

En sammanställning gjordes av artiklarna med info om författare, årtal, fokus samt använda tekniker (se Bilaga B).

Varje använd artikelns hemvist kartlades även (Figur 7) och utifrån det noterades att mycket forskning i ämnet sker i Asien.



Figur 7: Använda studiers hemvist.

http://pngimg.com/uploads/world_map/world_map_PNG32.png (redigerad)

Förutom att kartlägga artiklarnas hemvist redovisas även de använda artiklarnas årtal i Figur 8. Den här studien hanterade bara en liten del av forskningen i ämnet på grund av tidsbegränsningen som är satt på studien, men utifrån den data vi har noterades en stegring i mängden forskning som utförts i området mellan 2015–2018.



Figur 8: Sammanställning av använda artiklars årtal.

3.9 Intervjuresultat och enkätsvar

I ledet för att besvara de presenterade forskningsfrågorna har information samlats in från intervjuer frågeenkäter utöver den huvudsakliga litteraturstudien. Tyvärr kunde majoriteten av de tillfrågade parterna ej delta i en intervju och svaren som enkäterna resulterade i var ej så utförliga som svaren som erhöles vid intervjuerna. Detta ledde till att ett beslut togs om att fokusera på svaren från intervjuerna framför enkätsvaren. Informationen är nästan endast av den kvalitativa typen på grund av intervjuernas utförande. Det fanns dock ett antal paralleller som går att dras mellan dem.

Intresset för automatisering inom laserskanning och punktmolnsbearbetning är stort. Detta intresse kommer från både leverantörssidan och från beställare, dock är förväntningarna oftast för höga på beställarsidan. Enligt Jakob Sandström som är projektledare på Strukton Rail AB efterfrågar beställare automation i hopp om kortare arbetstider och lägre kostnader, men tyvärr är begränsningarna oftast för stora för att arbetet ska utföras med den kvalitet som krävs, speciellt när det kommer till järnväg.

Helt automatiska metoder är inte ännu helt beprövade på den svenska marknaden, utan det finns endast pilotprojekt med varierande resultat. Det som för tillfället bromsar prövningen och utvecklingen av automatiska metoder är beställarnas motvillighet att använda sig av metoder som inte kan garantera ett resultat med hög kvalitet.

Eftersom leverantörerna behöver tjäna pengar kan de inte utföra kostsam och inte så lukrativ forskning, utan de måste helt enkelt utföra de arbeten som beställs (J. Sandström, personlig kommunikation, 26 april 2019). Enligt Ronny Andersson som är teknikchef på Sweco så krävs det också mycket mer träningsdata till inlärningsalgoritmer, något som Sverige ligger långt efter med. De leverantörer som intervjuades uttryckte en önskan för vidareutveckling av automation, de ansåg att när den väl har etablerats skulle laserskanning och punktmoln bli väldigt attraktivt och effektivt (R. Andersson, personlig kommunikation, 24 april 2019).

För tillfället sker det stora mängder laserskanning i Sverige, det beställs nästan alltid i anslutning med bygg- och anläggningsprojekt. Dock är inte alltid efterbehandlingen efterfrågad, många gånger är det endast punktmolnet med kvalitetsparametrar som levereras. Det kan då vara för egen arkivering eller analys. Denna efterfrågan har lett till att leverantörer har egna fordon endast ägnade åt mobil laserskanning. Vid bearbetningen av laserdatat är det semi-automatiska metoder som används. Ett exempel på detta kan t.ex. vara att områden av stor vikt och hög detaljnivå görs manuellt medan kringliggande områden görs automatiskt (R. Andersson, personlig kommunikation, 24 april 2019). Ett annat exempel är att registreringen av punktmoln kan ske automatiskt medan modellering fortfarande utförs till stor del manuellt. Andreas Blomberg som är mättingsingenjör på Mitta AB beskriver att Mjukvaran Trimble business center har funktionalitet för att automatiskt klassificera stolpar och träd men även fast detta görs automatiskt krävs ändå efterkontroll av användaren för att ta bort objekt som klassificerats fel (A. Blomberg, personlig kommunikation, 10 maj 2019).

4 Diskussion

Automatisk behandling av punktmoln delas upp i olika delmoment och de flesta studerade artiklarna fokuserar på enstaka delmoment. De metoderna som fokuserar på delmomenten är ofta mindre avancerade. Det finns dock de metoder som fokuserar på helheten. Den tekniska nivån på de studier som gör det ökar avsevärt, de metoder och algoritmer som används är många och en del av dem hör hemma i kategorin djupinlärning. Det kräver smarta metoder som med hjälp av träningsexempel av de objekt som söks kan identifiera nya liknande objekt och lära sig själva. Det är mycket som tyder på att användningen av AI och djupinlärning är något som fordras för att uppnå en helt automatisk behandling av punktmoln. Anledningen till varför självlärande metoder är så framgångsrika har nog grunden i att objekten kring vägarna kan ha många olika utseenden. De kan ha olika utformning men även olika skick, det vill säga en skylt kan stå rakt upp eller luta men fortfarande vara samma objekt. Det här kan dessa metoderna snappa upp medan konventionella metoder som inte grundar sig i AI och djupinlärning skulle ha svårt att känna igen de lutande objekten och klassificera dem rätt.

Under intervjuerna kom det upp ett viktigt ämne angående tillämpningen av automatiska metoder. Det finns nämligen ett praktiskt problem kring kvaliteten på utförda automatiska metoder. Vanligtvis när ett mätjobb utförs kan osäkerheten och kvaliteten definieras från start till slut i form av tekniska specifikationer, analyser, och kontroller. Men när helt automatiska metoder används försvinner en del av den kontrollerbarheten. Ett exempel är de enorma vägmätningarna som Trafikverket utförde 2016, hur kontrolleras positionskvaliteten på milslånga punktmoln? Vanligtvis behöver stompunkter etableras för att användas som kontrollpunkter eller totalstationer etableras för att positionsbestämma fordonet som utför mätningen. Det finns också möjligheter med GNSS men mätosäkerheten är ännu inte bra nog för precisionsmätningar och utöver det är inte tillgängligheten alltid den bästa i vissa delar av landet. Detta leder till att det alltid behövs utföras manuellt kontrollarbete när en högre noggrannhet behöver uppnås, vilket gör att det för tillfället endast går att utföra semi-automatiska metoder när kraven på datat är högre. Sedan när punktmolnet kanske endast behövs som referens och kvaliteten inte är lika viktig så finns det bättre möjligheter för helt automatiska metoder. Efterkontrollen av de objekt som klassificerats automatiskt verkar dock ytterst nödvändig tills forskningen kommit längre i utvecklingen av metoder baserade på maskininlärning och djupinlärning.

Utifrån de artiklar som lästs och analyserats kan slutsatsen dras att de flesta av de automatiska igenkänningsmetoderna riktar sig mot så kallade stolpliknande objekt. Detta beror till viss del på att många objekt av vikt intill vägområdet har en cylinderliknande form, till exempel rör och stolpar. Men något som förmodligen är av större betydelse är hur lätt det är för en algoritm att känna igen ett visst objekt. Regelbundenhet är något som maskininlärning förlitar sig på men mycket i världen är väldigt oregelbundet. Något som bryter denna trend av oregelbundenhet är då ofta cylinderformade objekt. Eftersom maskininlärning fortfarande är relativt nytt för den här typen av igenkänning är inte tekniken bra nog för att ta sig an de svårare uppgifterna, då det krävs väldigt stora mängder träningsdata. Det kan vara orsaken till att de mer regelbundna cylinderformade objekten är att föredra när nya metoder utvecklas och förfinas.

Utifrån intervjuerna kunde ytterligare en parallell dras mellan de intervjuade parterna. Många leverantörer har väldigt lite eller ingen egen utveckling alls av mjukvara, de flesta köper programmen "från hyllan" som de är. Anledningen till detta kan med stor möjlighet leda till att företagen till stor del ägnar sig åt konsultarbete, vilket i sig innebär att det måste finnas en betalande part för allt som sker inom ramen av ett projekt. Ofta är kunder inte intresserade av att betala för utvecklingen av nya metoder för att utföra ett arbete, de vill snarare bara betala för själva arbetet. Utvecklingen faller således på mjukvarutillverkarna.

Det finns idag väldigt bra sätt att samla in data på i form av mobila insamlingssystem som använder laserskanningsteknik och fotogrammetriteknik kombinerat. Det som dock märks är att utvecklingen av effektiva automatiska metoder för att behandla insamlade data ligger något efter.

Det är tydligt att många av de studerade metoderna använder voxelisering för att minska datamängden. Lagringsutrymme och bearbetningstider är något som ständigt förbättras med tiden då ny teknisk hårdvara släpps. Detta gör att de problem med dataset som tar för stor plats idag kan vara löst imorgon, men i och med att de insamlade instrumenten som används även blir mer och mer avancerade och samlar in mer och mer data kvarstår problemet. Voxeliseringen är något som därför mest troligt kommer vara fortsatt viktigt inför framtida studier. Förutom det faktum att tekniken är effektiv när det kommer till att minimera mängderna med data möjliggör den även effektiva igenkänningsmetoder som bara kan användas på rasterformaterade data.

Utifrån den sammanställning som gjorts av de studerade artiklarna har trender identifierats. De största och mest synliga trenderna är att antalet artiklar ökar med tiden (se Figur 3). En annan trend är att majoriteten av forskningen görs idag i Asien samt att användningen av voxelisering även är väldigt vanligt i de framgångsrika metoderna.

Urvalsprocessen för artiklarna i det initiala skedet i den här studien innefattade inte någon sorts rangordning där de senare artiklarna i spannet mellan år 2015–2019 har förtur framför de tidigare. Som tidigare nämnts lämnades många artiklar som annars skulle kunnat passa in i studien på grund av tidsbrist och en begränsning på 40 artiklar. Därför anses de artiklar som ingår i studien vara ett stickprov av relevanta artiklar. Faktumet att antalet artiklar ökar med tiden talar för att det här ämnet ligger i tiden och behovet av automatiska metoder för att behandla punktmoln ökar.

Sammanställningen som gjordes av vilka länder de använda artiklarna härstammar ifrån visar att en stor del av forskningen utförs i Asien, närmare bestämt Kina. Anledningen till varför ämnet är så populärt där kan ha att göra med att städer i Kina ofta är väldigt tätbefolkade samt tätbebyggda. Det ställer stora krav på effektiva digitaliseringsmetoder som i sin tur kan ligga till grund för saker som underhåll och nybyggnation av vägar och annan bebyggelse. Det är även viktigt ur fler synpunkter som planeringen av infrastruktur och samhällstjänster som ska finnas till hands för befolkningen.

5 Slutsats

Den här studien ämnade till att studera området för automatiska metoder för att behandla objekt i punktmoln insamlade med MLS. Genom studien kom vi fram till följande:

- Det utförs idag stora mängder forskning i ämnet, vilket tyder på att behovet av automatiska metoder för behandling av punktmoln är stort.
- Många metoder inriktar sig på enstaka moment i behandlingen. Dock finns det metoder som inriktar sig på helheten. Dessa metoderna ligger i framkant i utvecklingen och är avancerade då de använder sig av maskininlärning och djupinlärning.
- Objekt som kan kännas igen är stolpliknande, räcken, fasader, trafikskyltar, vägbana, vägmarkeringar, trottoarer och liknande planformade objekt.
- De objekt som forskningen kommit längst med att identifiera, segmentera, klassificera och extrahera är stolpliknande objekt. Det finns många artiklar som beskriver metoder för hur det går till samt även mjukvara som gör detta automatiskt.
- Fullständig automation av segmentering, klassificering samt extrahering har uppnåtts i den studerade forskningen. Dock inriktar sig metoderna som ovan beskrivits på olika steg av behandlingen.
- Idag används till stora delar manuell behandling av punktmoln i Sverige. Vissa automatiska metoder används för att klassificera stolpar och träd men eftersom dessa ändå måste kontrolleras i efterhand så benämner vi dem som semi-automatiska.
- Det finns idag väldigt effektiva metoder för insamlandet av data, dock släpar utvecklingen av effektiva metoder för att hantera insamlade data.

I dagsläget är utbudet av mjukvaror som innehåller automatiska metoder för att behandla MLS punktmoln väldigt litet samt kräver efterkontroll. Detta gör att arbetet idag inte kan förväntas utföras helt automatiskt. Men eftersom det hela tiden forskas i ämnet så är möjligheten stor för att en mer komplett automatisk behandling utvecklas i framtiden, även om viss grad av efterkontroll förmodligen alltid kommer behövas.

6 Referenser

Billah, M., Maskooki, A., Farzana R., & Farrell, J. (2017). Roadway Feature Mapping from Point Cloud Data: A Graph-Based Clustering Approach. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, (IV)*, 475-480.

Doi: 10.1109/IVS.2017.7995763

Che, E., Jung, J., & Olsen, M. J. (2019). Object Recognition, Segmentation, and Classification of Mobile Laser Scanning Point Clouds: A State of the Art Review. *Sensors, 19(4)* 810-852.

doi:10.3390/s19040810

Donges, N. (2018) The Random Forest Algorithm. Hämtad 2019-05-03 från <https://towardsdatascience.com/the-random-forest-algorithm-d457d499ffcd>

Förenta Nationerna. (2019). Globala Målen för Hållbar Utveckling. Hämtad: 2019-05-02 från <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>

Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., Hughes, J. F. (1997). *Computer Graphics: Principles and Practice in C (2nd. ed.)* Addison-Wesley Publishing Company

Gascó-Hernandez, M. (2018). Building a Smart City: Lessons from Barcelona. *Communications of the ACM, 61(4)*, 50-57.

Doi: 10.1145/3117800

Gillham, B. (2008). *Forskningsintervjun - Tekniker och genomförande* (1. uppl.) Malmö: Holmbergs i Malmö AB.

Guan, H., Yan, W., Yu, Y., Zhong, L., & Li, D. (2018). Robust Traffic-Sign Detection and Classification Using Mobile LIDAR Data With Digital Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 11(5)*, 1715-1724.

Doi: 10.1109/JSTARS.2018.2810143

Idolia, S., Kumar Goswami, A., Mishra, S.P., & Asopa, Pooja. (2018). Conceptual Understanding of Convolutional Neural Network - A Deep Learning Approach. *International Conference on Computational Intelligence and Data Science, Procedia Computer Science, 132(2018)*, 679-688.

Doi: 10.1016/j.procs.2018.05.069

Kang, Z., Yang, J., Zhong, R., Wu, Y., Shi, Z., & Lindenbergh, R. (2018). Voxel-Based Extraction and Classification of 3-D Pole-Like Objects From Mobile LiDAR Point Cloud Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(11), 4287-4298.

Doi:10.1109/JSTARS.2018.2869801

Kumar, B., Pandey, G., Lohani, B., & Misra, S.C. (2019). A Multi-Faceted CNN Architecture for Automatic Classification of Mobile LIDAR Data and an Algorithm to Reproduce Point Cloud Samples for Enhanced Training. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 147(2019), 80-89.

Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.11.006

Lantmäteriet. (2016). *Nationell Geodatastrategi* (LM-rapport 2016/3). Hämtad från: https://www.geodata.se/globalassets/dokumentarkiv/styrning-och-uppfoljning/geodatastrategin/nationell_geodatastrategi_2016-2020.pdf

Li, Y., Li, L., Li, D., Yang, F., Liu, Y. (2017). A Density-Based Clustering Method for Urban Scene Mobile Laser Scanning Data Segmentation. *Remote sensing*. 9(4), 331-350.

Doi: 10.3390/rs9040331

Li, F., Oude Elberink, S., & Vosselman, G. (2018). Pole-Like Road Furniture Detection and Decomposition in Mobile Laser Scanning Data Based on Spatial Relations. *Remote sensing*, 10(4), 1-28.

Doi: 10.3390/rs10040531

Mishra, M. (2019). Convolutional Neural Networks, Explained. Hämtad 2019-05-02 från: <https://www.datascience.com/blog/convolutional-neural-network>

Ordóñez, C., Cabo, C., & Sanz-Ablanedo, E. (2017). Automatic Detection and Classification of Pole-Like Objects for Urban Cartography Using Mobile Laser Scanning Data. *Sensors* 17(7), 1-42.

Doi: 10.3390/s19040810

Pang, G., & Neuman, U. (2015). Fast and Robust Multi-view 3D Object Recognition in Point Clouds. *Proceedings - 2015 International Conference on 3D Vision, 3DV 2015, 20 November 2015*, 171-176.

Doi: 10.1109/3DV.2015.27

Reed, I., & Yu, X. (1990). Adaptive multiple-band CFAR Detection of an Optical Pattern with Unknown Spectral Distribution. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.* 1990(38). 1760-1770.

Riveiro, B., Díaz-Vilarino, L., Conde-Carnero, B., Soilán, M., & Arias, P. (2016). Automatic Segmentation and Shape-Based Classification of Retro-Reflective Traffic Signs from Mobile LIDAR Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(1), 295-303.
Doi: 10.1109/JSTARS.2015.2461680

Rodriguez-Cuenca, B., Garcia-Cortés, S., Ordóñez, C., & Alonso, M. (2015). Automatic Detection and Classification of Pole-Like Objects in Urban Point Cloud Data Using an Anomaly Detection Algorithm. *Remote Sensing*, 7(10), 12680-12703.
Doi: 10.3390/rs71012680

Rohrer, B [Brandon Rohrer]. (2016, 18 aug). *How Convolutional Neural Networks work* [Videofil]. Hämtad från: <https://www.youtube.com/watch?v=FmpDIaiMieA>

Shao, F., Wang, X., Meng, F., Rui, T., Wang, D., & Tang, J. (2018) Real-Time Traffic Sign Detection and Recognition Method Based on Simplified Gabor Wavelets and CNNs. *Sensors*, 18(10), 1-24.
Doi: 10.3390/s18103192

Shi, Z., Kang, Z., Lin, Y., Liu, Y., & Chen, W. (2018). Automatic Recognition of Pole-Like Objects from Mobile Laser Scanning Point Clouds. *Remote Sensing*, 10(12), 1891-1914.
Doi:10.3390/rs10121891

Soilán, M., Riveiro, B., Martínez-Sánchez, J., & Arias, P. (2018). Automatic Road Sign Inventory Using Mobile Mapping Systems. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B3, 717-723.
Doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B3-717-2016

Statistiska Centralbyrån. (2015). Urbanisering - Från Land till Stad. Hämtad: 2018-05-02 från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2015/Urbanisering--fran-land-till-stad/>

Söderman, U., & Tolt, G. (2016). *Informationsextrahering från punktmoln - möjligheter framåt*. (FOI-rapport 2016:069). Totalförsvarets forskningsinstitut.

Talebi Nahr, S., Saadatesresht, M., & Talebi, J. (2017). Detection of Street Light Poles in Road Scenes from Mobile LIDAR Mapping Data for its Applications. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-4-W4*, 265-270.
Doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-265-2017

Teo, T., & Chiu, C. (2015). Pole-Like Road Object Detection From Mobile Lidar System Using a Coarse-to-Fine Approach. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8(10), 4805-4818
Doi:10.1109/JSTARS.2015.2467160

Trafikverket. (2018). *Sveriges Vägnet*. Hämtad 2019-05-03 från:
<https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/vag/Sveriges-vagnat/>

Wallberg, P., Wallman, P., Thorén, S., Nilsson, S., & Christiansson, F. (2016). *Behov av Avancerad Rening Vid Avloppsreningsverk - Finns det Recipienter Som Är Känsligare Än Andra?* Hämtad från Naturvårdsverkets hemsida:
<https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2017/ru-rapport-behov-av-avancerad-rening-sweco.pdf>

Wang, J., Lindenbergh, R., & Menenti, M. (2017). SigVox - A 3D feature matching algorithm for automatic street object recognition in mobile laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128(2017), 111-129.
Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.03.012

Wen, C., Li, J., Luo, H., Yu, Yongtao., Cai, Z., Wang, H., & Wang, C. (2016). Spatial-Related Traffic Sign Inspection for Inventory Purposes Using Mobile Laser Scanning Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(1), 27-37.
Doi: 10.1109/TITS.2015.2418214

Yeung Yan, W., Morsy, S., Shaker, A., & Tulloch, M. (2016). Automatic Extraction of Highway Light Poles and Towers from Mobile LIDAR data. *Optics & Laser Technology*, 77, 162-168.
Doi: 10.1016/j.optlastec.2015.09.017

Yadav, M., Lohani, B., Singh, A.K., & Husain, A. (2016). Identification of Pole-Like Structures from Mobile Lidar Data of Complex Road Environment. *International Journal of Remote Sensing*, 37(20), 4748-4777.
Doi: 10.1080/01431161.2016.1219462

Yan, L., Li, Z., Liu, H., Tan, J., Zhao, S., & Chen, C. (2017). Detection and Classification of Pole-like Objects from Mobile LIDAR Data in Motorway Environment. *Optics and Laser Technology*, 97, 272-283.
Doi: 10.1016/j.optlastec.2017.06.015

Yang, B., & Dong, Z. (2013). A shape-based segmentation method for mobile laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Juli 2013(81), 19-30.
Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.002

Yang, B., Dong, Z., Zhao, G., & Dai, W. (2015). Hierarchical Extraction of Urban Objects from Mobile Laser Scanning Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Jan 2015(99), 45-57.
Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.10.005

Appendix A: Frågeformulär

Vilken tjänst har du inom företaget?

Vilka instrument använder ni för att laserskanna idag? (Märke, modell)

Hur ser affärsmöjligheterna gällande laserskanning ut idag? Är det något ni frekvent får förfrågningar att utföra?

Skulle du kunna förklara lite hur arbetsflödet ser ut för er från det att ni får en beställning tills att ni levererar en färdig produkt?

Vilka mjukvaror använder ni idag för att behandla punktmoln?

- Vad har du för åsikter kring mjukvaran? Utför den jobbet bra nog? Fördelar, nackdelar, klagomål.
- Har ni tidigare använt någon annan mjukvara? Varför bytte ni?

Vad är det för produkt ni vanligtvis levererar? Är det färdiga 3D modeller eller har ni kunder som bara är intresserade av punktmolnen i sig?

- Om kunderna bara är intresserade av punktmolnen, kan du nämna nått exempel på vad kunden kan tänkas använda dem till?

Vid själva behandlingen av insamlat laserdata, objekten som är av intresse kan ju då tex segmenteras, extraheras och klassificeras. Görs detta hos er idag? Används manuella metoder för detta eller görs det med någon sorts automatik? Beskriv!

- Vilken del i arbetet anser du är mest tidskrävande?

Finns det intresse för utvecklingen av mer automatiska metoder? På vilket sätt visar sig det här intresset?

Är ditt företag aktivt deltagande i utvecklingen av nya metoder inom området? Hur?

Säg att en ny metod eller algoritm utvecklas som påstått underlättar ert arbete.

Väntar ni då tills det att den beprövats och mjukvaror kommit ut på marknaden som använder den eller tar ni aktivt steg för att prova den själva?

Har ni någon form av applikationsutveckling internt idag?

- Om ni inte har det, införskaffar ni då era applikationer "of the shelf" i originalutförande eller modifieras dessa på något sätt?

Appendix B: Sammanställning av artiklar och förkortningslista

Författare	År	Teknik	Fokus
Shao et al.	2018	SVM, CNN, SGW, MSERs	Igenkänning, Klassificering
Li et al.	2018	RANSAC	Igenkänning, Klassificering
Talebi Nahr et al.	2017	SMRF, DBSCAN, Bhattacharya distance metric	Extrahering
Soilán et al.	2016	GMM, DBSCAN, HOG, SVM	Igenkänning, Klassificering
Wang et al.	2017	Voxlar, Shape Descriptors	Igenkänning av gatuobjekt
Billah et al.	2017	Clustering,	Clusteringsmetod för vägmarkeringar
Kumar et al.	2019	CNN, Voxlar	Igenkänning och extrahering av MLS-data
Guan et al.	2018	gb-DBMs, RIEGL VMX-450	Igenkänning, klassificering
Kang et al.	2018	Voxel	Extrahering och klassificering av stolp-liknande objekt
Riveiro et al.	2016	GMM, PCA, DBSCAN	Igenkänning, klassificering
Wen et al.	2016	RIEGL VMX-450, SVM, HOG	Igenkänning, Extrahering
Yan et al.	2017	Random forest Classifier, Voxlar, RIEGL VUX-1	Igenkänning, klassificering
Yeung Yan et al.	2015	RIEGL VMX-250, DBSCAN	Igenkänning, klassificering
Ordóñez et al.	2017	Voxlar, SVM, LDA, PCA	Igenkänning, klassificering
Teo & Chiu	2015	Voxlar, RANSAC, RIEGL VMX-250	Igenkänning
Cascó-Hernandez	2018		
Yadav et al.	2016	Voxlar, MBR, kNN, c++, RX anomaly detection.	Igenkänning, extrahering
Yang et al.	2015	Voxlar, RIEGL VMX-450	Segmentering, Klassificering, Extrahering
Pang & Neumann	2015		Igenkänning
Li et al.	2017	Voxlar, Klustering, PCA	Segmentering
Indolia et al.	2018	CNN Förklaras	-
Rodríguez-Cuenca et al.	2015	Voxlar, Bhattacharyya, RX anomaly detection	Igenkänning, Klassificering
Yang & Dong	2013	SVM, LYNX mobile mapper, RIEGL VMX-450	Segmentering, *Extrahering, *Klassificering
Shi et al.	2018	Voxlar, RANSAC, kNN, PCA, ICP	Igenkänning