

Buster – Byggarens bästa vän

Del 3 av Utmätning- & utsättningsrobotar- optimera användandet av robothunden på byggarbetsplatsen



Helena Eriksson, Mathias Haage & Jarkko Erikshammar

2023-08-01

FÖRORD

Arbetet sammanfattat i denna rapport har utförts 2022–2023 inom Center för Byggrobotik vid LTH i samarbete med parter Peab, Cognibotics och institutionen för datavetenskap vid LTH, i samarbete med Max IV och LTU.

Projektledare:

Peab – Helena Eriksson

Medverkande i arbetsgruppen:

Peab – Max Bergström

Peab – Kristoffer Sundvall

Sweco – Bernard Johansson

Zynka – Martin Tomasson

Max IV – Alina Andersson

Center för Byggrobotik vid LTH

Mathias Haage, Institutionen för Datavetenskap LTH

Volker Krueger, Institutionen för Datavetenskap LTH

Cognibotics – Ola Nilsson

LTU – Jarkko Erikshammar

Medverkande i styrgrupp:

PEAB – Andreas Furenberg Ring

Byggföretagen - Christine Olofsson

Cognibotics - Klas Nilsson

Cementa –Robert Larsson

FOJAB – Petra Jenning

LTU – Lars Stehn

LTH – Anders Robertsson¹

Medverkande i Referensgrupp

NCC - Christina Claeson-Jonsson

Entreprenörer inom FoU-Väst via Andreas Ring Furenberg

Arbetet delfinansieras av SBUF och Smart Built Environment (SBE)-projektet ”Automatiserade produktivitetmätningar”

Vid pennan,

Helena Eriksson, Mathias Haage & Jarkko Erikshammar

Augusti 2023

¹ Prof. Anders Robertsson har beklagligt avlidit efter en tids sjukdom tidig sommar 2023.

SAMMANFATTNING

Detta projekt, 14 115, fortsätter arbete från två tidigare SBUF-projekt: ”13610 Produktionsautomation i betongbyggande” och ”13967 Utmätning- & utsättningsrobotar – Ökad precision och informationsåterkoppling på byggarbetsplatsen”.

Detta projekt utvärderar den autonoma robotteknikens potential, representerat av roboten Spot från Boston Dynamics. Projektet har huvudsakligen koncentrerat sig kring två specifika applikationer: (1) regelbunden datainsamling via autonoma rundvandringar och (2) preciserad utsättning av markeringar på specificerade ställen. Dessa applikationer har utvecklats genom en fördjupning resultaten från projekt 13 967. Det bör poängteras att den metodologiska ansatsen som antagits i detta projekt är av en starkt experimentell karaktär. Genom att implementera autonom robotik på verkliga byggarbetsplatser strävar projektet efter att ackumulera erfarenheter och digitalisera byggarbetsplatsen.

I det aktuella projektet har införskaffandet och driftsättningen av en robotarm för Spot genomförts i förhållande till det tidigare projektet 13 967. De experimentella insatserna kring utsättning har huvudsakligen dragit nytta av denna tilläggskomponent. Samarbetet med Luleå Tekniska Universitet och deras ämne Byggproduktion och teknik, har ytterligare förstärkts i projektet. Detta har resulterat nya angreppssätt och koncept för att införliva autonom robotteknik på byggarbetsplatsen för inspektion. Projektet har samarbete med LTU via ett parallellt löpande projekt. Dessutom har experiment med ny kamerateknik genomförts, vilket delvis drivits av den utmaning som den monterade robotarmen medför när det gäller utrustningsplacering på roboten. Specifikt har en kamera med ett brett panoramiskt synfält (360-graders kamera) testats inom byggarbetsplatsmiljön.

Tillgängliggörande av insamlad data till byggplatspersonal har börjat få ökat fokus under projektets gång. I samarbete med Smart Built Environment (SBE) projektet ”Automatiserade produktivitetmätningar” har projektgruppen undersökt möjlighet att nyttja en digital APD-plan som dynamiskt uppdateras via autonoma rundvandringar. Byggplatspersonal och byggproduktionsexperter ser ett mervärde i att följa upp och automatiskt mäta framdrift på arbetsplatsen.

Verktyget Dalux har nyttjats till att inhysa APD-planen. Verktyget tillåter idag manuell granskning av autonomt insamlad data via, till exempel, virtuell rundvandring. Tillgång till en dynamiskt uppdaterad digital APD-plan hade även varit fördelaktigt att nyttja för att i viss mån styra informationsinhämtning under autonom rundvandring. Det behövs ett kommunikationssnitt mellan byggplatsens nuvarande digitala verktyg och data och autonom robot. Vi tror APD-plan kan utgöra ett sådant snitt.

En annan väg som undersöks för att tillgängliggöra information till byggplatspersonal är en fortsättning på arbete med punktmolnsvisualisering från 13 967. Projektet har tagit fram en beräkningspipeline som automatiskt förbereder data för automatgranskning till skillnad från 13 967 där manuella moment krävdes. Automatisk granskning av insamlad information kan, till exempel, sammanställas till en automatgenererad rapport för distribution. Arbete har genomförts inom projektet för att göra insamlad information, punktmoln och video, jämförbar mellan insamlingstillfällen (eller mellan ett insamlingstillfälle och BIM) i syfte att detektera och visualisera skillnader på byggarbetsplatsen mellan rundvandringar. Maskintolkning av video har testats i examensarbete men hittills med låg granskningsförmåga.

Erfarenhet från nyttjandet av robotarm för utsättning är att Spot hade inte mycket färdigt stöd i roboten. Projektion av utsättningsdata är ingen färdigutvecklad applikation för Spot. Inom projektet utvärderades förutsättningar att genomföra egenutveckling av mjukvara och hårdvara för roboten. Examensarbetet "Automation of High-accuracy Marking Tasks at MAX IV using the Quadrupedal Robot Spot"² tillverkade ett robotanpassat verktyg för markering, tog fram navigeringsmjukvara för interaktion med golv och externa mätinstrument som kräver en klar siktlinje, samt tog fram mjukvara för att läsa ut data från externt mätinstrument och styra robotarm med denna information. Det har visats att den erforderliga märkningsnoggrannheten på 2 mm kan uppnås upprepade gånger i arbetsmiljön på MAX IV.

Utvärderingar inom projektet har visat på följande områden med potentiellt mervärde hos aktörer; Laserskanning av golv, pelarplaceringar, besiktningar/försäkringsskydd (idag ej krav med skanning, foton används), skyddsronder, areainmätning, ROT-projekt där det ofta finns mycket information som ska skannas in. Potentiellt mervärde för inspektion har även insamling av data från andra modaliteter, som temperatur och fukt.

Utvärderingar har även identifierat faktorer som verkar begränsande för befintlig digitalisering idag: personalkostnad för insamling och hantering av data, samt kostnad för lagring av insamlad data.

Arbetet har redovisats digitalt och finns på följande länk
<https://vimeo.com/841190134/812fdd5948>

² <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9113741>

INNEHÅLL

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
BAKGRUND	5
SYFTE	6
RESULTAT	6
<i>WP3 GENOMFÖRANDE OCH UTVÄRDERING AV APPLIKATIONSTESTER</i>	10
<i>WP4 GENOMFÖRANDE OCH UTVÄRDERING AV ROBOTARM PÅ MOBIL PLATTFORM (SPOT) I</i> <i>UTSÄTTNINGSAAPPLIKATION</i>	16
<i>WP5 UTVÄRDERING AV RESULTAT FRÅN WP2-4 TILLSAMMANS MED ARBETSPLATSPERSONAL</i>	18
<i>WP6 ÖPPEN REDOVISNING</i>	18
FRAMTID	19
SLUTSATSER	20

BAKGRUND

Insamlade data från en byggarbetsplats har ett fundamentalt värde för att systematiskt följa upp och optimera ett byggprojekts framdrift och kalkyl. Löpande insamling av information från byggarbetsplats har betydande praktiska utmaningar Detta stöds av resultaten av det SBUF-projektet 13 610. I det tidigare projektet genomfördes det en workshop kring behoven inom produktion (både prefab och byggplats). På workshopen deltog 13 personer som representerade ett brett spektrum inom design, BIM, produktionsteknik, betongteknik, och robotteknik. Sammanfattningsvis identifierade gruppen att ”Uppföljning och informationsåterkoppling” är det område som är i störst behov av utveckling i relation till produktionsautomation. Högre grad av informationsåterkoppling skulle underlätta för byggets framdrift, precision och kalkyl. Det finns alltså ett tydligt behov att få fram mer data från bygget löpande under byggskedet. Den information som tillgängliggörs kan nyttjas för analys, utvärdering, kontroller, skyddsronder, optimering och utökad precision av pågående bygge, men även för jämförelser mellan olika byggen.

Inom SBUF-projekt 13 967 har den kommersiella robothunden Spot med inspektionsoption från Boston Dynamics testats och utvärderats på Peabs arbetsplats Vipan i Lund med goda resultat. Flera examensarbeten har varit kopplade till detta projekt, bland annat ”Building dense reconstructions with SLAM and Spot”³ och ”Användningen av en robothund vid inspektioner i byggbranschen”⁴. Tekniköverföring från ”Semantisk kartering & visuell navigering för smarta robotar” (SSF-projekt) har gett möjlighet att påbörja uppbyggandet av en databas med bygginformation samt nyttja den kompetens kring sensorteknik, maskininlärning, datorseende, kollaborativ teknik och robotik som finns hos deltagande parter inom Center för Byggrobotik och parter i SSF-projektet.

Center för Byggrobotik vid LTH⁵ har sedan starten 2019 växt stadigt. Flera nationella projekt har genomförts inom centret finansierade av, bland annat, SBUF, Boverket, Vinnova och Formas. SBUF-projekt 13 610 startades och genomfördes innan öppning av centret, men har bidragit starkt till centrets bildande genom att föra samman personer bakom initiativtagandet. SBUF-projekt 13 967 är genomfört i centrats regi. Projektet tar ytterligare ett steg mot att föra autonom datainsamling närmare en marknad. Projektresultat är tänkta att underlätta införande av autonom insamling av information i byggproduktion.

Centret har knutet till sig ett nätverk av personer med stark akademisk koppling till discipliner relevanta för robotautomation och konstruktion av byggnader, och även personer verkande inom eller med stark koppling till aktörer inom stora delar av kedjan från projektering till färdig byggnad. I centrets regi har dessa personer nu lärt känna varandra och bildar ett starkt och heltäckande lag för att angripa byggproblem med robotautomationslösningar anpassade mot byggverklighet och säkra kunskapsöverföring från akademi till näringsliv. Till centret är knutet ett applikationslaboratorium för utveckling och evaluering av robotapplikationer för byggprocesser. Laboratoriet är beläget i lokaler som utnyttjas för genomförande av robottester även utanför centrets regi för god samverkan och utbyte med annan pågående forskning. Med SBUF-projektet 13 967 och 14 115 har byggrobotiken flyttat ut från labbmiljö till den verkliga byggarbetsplatsen. Robothunden har fått mycket uppmärksamhet av lokal media (Sydsvenskan, Skånska Dagbladet, Lunds kommun, Vattenhallen vid LTH), nationell (SVT)

³ <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9079252>

⁴ <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9093165>

⁵ <https://robotics.lth.se/research/center-for-construction-robotics/>

och branschmedia och har varit en fantastisk introduktion till hur byggrobotar skulle kunna hjälpa till på arbetsplatsen framöver.

SYFTE

Syftet med projektet är att börja gå mot applikationer nyttjande autonom robotik för automatisk informationsinhämtning på arbetsplats och utsättning, samt börja skapa mervärde och förmedla inhämtad information till produktionspersonal. Projektet vill även jämföra inspektionsrobotens förutsättningar för insamlad och behandlad information att bilda underlag till beslutsstöd för korrekt, felaktig eller saknad konstruktion på arbetsplatsen.

Tekniken består av en kommersiell mobil robot (Boston Dynamics robot Spot) med nyttolast för inspektion. Projektet syftar att utveckla och gå mot applikation inom följande områden;

- Fortsatta autonoma rundvandringar för inhämtning av rådata från byggarbetsplats. Syfte att bygga en digital tvilling över tid för i projektet ingående och framtida applikationstest
- Undersöka potentiellt mervärde i att ha tillgång till en regelbundet uppdaterad digital tvilling hos BIM-aktörer
- Undersöka möjlighet till utmätning (utsättning) nyttjande robotarm på Spot
- Fortsatt arbete mot att ta fram en helautomatisk inspektionsmetod med Spot som autonom bärare av inspektionsutrustning, i samarbete med Smart Built Environment (SBE)-projektet ”Automatiserade produktivitetmätningar”

Genom kontinuerlig uppföljning, som hjälper till i planeringsarbetet samt upptäcker fel i tidigt skede, knyter projektet an till SBUF:s mål;

1. Effektivare byggprocess (underlätta framdrift, precision och planering)
2. Bättre arbetsmiljö (minskad stress genom färre fel, enklare uppföljning och planering, samt lättare upptäckt av arbetsmiljörisker)

RESULTAT

Arbetet har utförts i sju olika arbetspaket; WP1 projektledning, WP2 uppbyggnad av digital tvilling med fortsatt insamling av information på Peabs arbetsplats Vipan, WP3 genomförande och utvärdering av applikationstester, WP4 genomförande och utvärdering av robotarm på mobil plattform (Spot) i utsättningsapplikation, WP5 utvärdering av resultat från WP2-4 tillsammans med arbetsplatspersonal och WP6 öppen redovisning. WP7 utgör skrivande av denna slutrapport. Nedan följer resultat från WP2 till WP6.

WP2 UPPBYGGNAD AV DIGITAL TVILLING MED FORTSATT INSAMLING AV INFORMATION PÅ PEABS ARBETSPLATS VIPAN

I arbetspaket WP2 har fortsatt insamling av information på arbetsplats Vipan skett enligt plan, se tabell 1. Under våren 2023 har renovering av ett hus, kallat hus E, följts genom autonoma rundvandringar genomförda av roboten Buster. Sammantaget har roboten genomfört datainsamlingar på byggarbetsplats under att flertal byggfaser, som uppförande av innerväggar och påläggning av ytskikt. Olika sensorer för videoinhämtning har testats, senast en 360-kamera från Ricoh med Dalux-integration.

Byggarbetsplatsen Vipán har varit mycket behjálplig i att tillhandahålla access. Totalt har SBUF-projekt nu följt och samlat in data från arbetsplats Vipán under knappt 2 ár på två olika byggarbetsplatser (hus Q och hus E). Test av insamling av data på ny arbetsplats i Göteborg så som initialt föreslogs i projektbeskrivning har dock inte genomförts. Insamlingen behövde ske med 360-kamera, men leverans och igångsättning av 360-kamera tog längre tid än uppskattat i SBE-samarbetsprojekt. I stället har tekniken utvärderats på Vipán när den blivit tillgänglig. Tabell 2 innehåller en sammanfattning av testad utrustning samt utvärderat resultat.

Tabell 1. Insamlingstillfållen med olika utrustning

Location	Date	Velodyne	Spotcam	Iphone	Gripper cam	Ricoh Theta	Helm	External view
Hus Q	2021-09-17							x
Hus Q	2021-10-01							x
Hus Q	2021-10-08?		x					x
Hus Q	2021-10-22?		x					x
Hus Q	2021-10-29?		x					x
Hus Q	2021-11-05?							x
Hus Q	2021-11-12?		x					x
Hus Q	2021-12-03?		x					x
Hus Q	2021-12-10?							x
Hus Q	2022-04-13?							x
Hus Q	2022-04-29?							x
Hus E	2022-09-23							x
Hus E	2022-10-07			x				x
Hus E	2022-10-14			x				x
Hus E	2022-10-28			x	x			x
Hus E	2022-11-04			x	x			x
Hus E	2022-11-11x			x				x
Hus E	2022-11-18x			x	x			x
Hus E	2022-12-02x				x			x
Hus E	2022-12-15x			x	x			x
Hus E	2023-01-20			x				x
Hus E	2023-01-27			x				x
Hus E	2023-03-03			x				x
Hus E	2023-03-17			x				
Hus E	2023-04-04						x	
Hus E	2023-04-05x			x		x		
Hus E	2023-04-06						x	
Hus E	2023-04-11						x	
Hus E	2023-04-12						x	
Hus E	2023-04-13x			x		x		

Tabell 2. Översiktlig beskrivning av insamlad rådata inom detta projekt (SBUF 14 115)

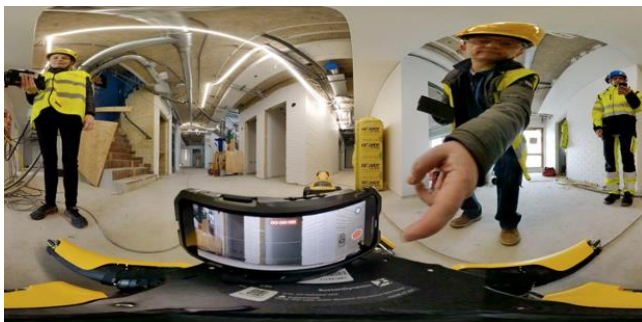
Utrustning	Beskrivning
<p data-bbox="199 338 667 371">Extern vy filmad med mobilkamera</p> 	<p data-bbox="880 338 1366 703">Flertalet rundvandringar är dokumenterade ur ett tredjepersonsperspektiv. Detta för att fånga robotens autonoma beteende under rundvandring. Robotens prestanda i olika byggfaser på byggarbetsplatsen har dokumenterats genom att felfri exekvering och problematiska situationer har dokumenterats på video.</p> <p data-bbox="880 741 1374 1070">Man kan i detta material, bland annat, se en trend att det blir svårare för roboten att utföra sina uppdrag desto längre bygget framskrider i hus E. Uppförda väggar och trånga passager tillkommer efterhand. Det är även lätt hänt att material eller utrustning tillfälligt ställs i ruten vilket hindrar roboten fullgöra sin rundvandring.</p>
<p data-bbox="199 1099 711 1133">Mobiltelefon monterad på robothunden</p> 	<p data-bbox="880 1099 1385 1503">Efter monterad robotarm är det inte längre möjligt att nyttja tidigare nyttjat kamerapaket för inspektion (Boston Dynamics kamerapaket för inspektion). Alternativa lösningar för inhämtning av video har därför testats under projektets genomförande. Ett sådant test har varit nyttjande av kamera i monterad mobiltelefon som samlat in information oberoende av robotsystemet under rundvandring.</p> <p data-bbox="880 1541 1358 1832">Några erfarenheter är att rörelse och vibrationer inducerade av roboten inverkar negativt på mobiltelefonens möjlighet till stabil bild i fokus. Synfältet blir dessutom begränsat vilket har komplicerat och begränsat inhämtning av information under rundvandring.</p>
<p data-bbox="199 1861 560 1895">Kamera i handen (inbyggd)</p>	<p data-bbox="880 1861 1337 1939">Med robotarmen följde en inbyggd kamera i robotgripdonet.</p>



Några erfarenhet från test av denna är att nuvarande robotlicens från Boston Dynamics tillåter ej nyttjande av kamera under autonom rundvandring. Rundvandringstest med denna kamera var därför tvungna att genomföras i icke-autonomt läge.

Bildupptagning var likt mobiltelefonens med svårigheter med stabil bild i fokus. En fördel var att det var möjligt att röra armen, till exempel för att panorera eller titta från en annan vinkel för att komma närmare och få bättre bilder på leveranslappar på levererade pallar.

360° bilder med Ricoh Theta X 360-kamera



För integrationstest med Dalux mjukvara införskaffades den rekommenderade kameran med 360 graders för rundvandring med hjälm. Denna förmåga gjorde kameran intressant även för insamling utanför Dalux mjukvara, speciellt med tanke på att den sedan tidigare inköpta 360 graders kameran från Boston Dynamics inte längre får plats på robothunden på grund av robotarmen som sitter fast monterad. Ricoh Theta X 360 kamera har gjorts tillgänglig för test via samarbetsprojektet ”Automatiserade produktivitetmätningar”.

Kamerans stora synfält underlättar betydligt robotens navigering då hänsyn inte längre måste tas till att täcka byggplatsen visuellt med ett begränsat synfält.

En annan erfarenhet som gjorts är att det blivit uppenbart att den autonoma tekniken som har använts har inbyggda begränsningar. Även om detta kan anses vara intuitivt, men svårt att specificera och kvantifiera exakt vilka kapaciteter ett avancerat robotsystem kan uppvisa med tillförlitlighet inom en byggmiljö, och vid vilka tillfällen det kan brista. Vid tillämpningen av robottekniken på byggarbetsplatser i tidigare och pågående aktiviteter har det vid flera tillfällen uppstått situationer där den testade apparaten inte har presterat optimalt. Dessa situationer har ofta blivit videodokumenterade och innefattar bland annat problem med tillgång till bygghiss, hinder på rutt, till exempel byggutrustning som skottkärra och saxlyft i trånga passager, tom pall i rutt, känslig mätutrustning i rutt, smutsig miljö vid specifika

arbetsmoment som borring, löst skräp på golv. Detta har lett tankarna till att ge förslag till anpassning av byggarbetsplatsen som tillåter robust autonom rundvandring utförd av robot. En tanke som fötts är att införa körbanor för autonom trafik på byggplatsen. En av de framväxande idéerna är att integrera särskilda körbanor för autonom trafik inom byggmiljön. Dessa korridorer skulle kunna införlivas i arkitektoniska planer och implementeras under projektets utsättningsfas. Denna metod speglar den som observerats inom industriella miljöer och är ofta specificerad i arbetsplatsdispositionsplaner (APD-plan) ur ett säkerhetsperspektiv. Det kommer bli en del av ett koncept kallat den dynamiska APD-modellen, myntat i närliggande samarbetsprojekt tillsammans med Luleå Tekniska Universitet.

Det i roboten tillgängliga systemet för navigering bygger på att navigeringsankare ska finnas tillgängliga längs med robotens rutt. Ett ankare är i det här fallet en maskinläsbar bildmatris, liknande en QR-kod, synlig i robotens kamerasystem. De nyttjas för att säkerställa att roboten inte driver i sin lokaliseringssuppfattning. Under test har ankare skrivits ut på A4-papper och tejpats upp på väggar. I hus E, som roboten nu följt genom flera byggfaser som uppförande av väggar och påläggning av ytskikt, har det varit svårt att säkerställa tillgänglighet av ankare. Uppförande av väggar har påverkat synlighet och framkomlighet. Påläggning av ytskikt har inneburit att ankare försvunnit i snabb takt. Försök har gjorts med placering på golv i stället för vägg men utan bra resultat. Slutsatsen är att det tillgängliga navigeringssystemet inte fungerar bra i alla byggfaser i sin nuvarande form. Tankarna går till att nyttja alternativ information att förankra robotens lokaliseringssuppfattning, till exempel blåritning eller annan form av markörer.

WP3 GENOMFÖRANDE OCH UTVÄRDERING AV APPLIKATIONSTESTER

Den insamlade digitala tvillingen från WP2 har använts för att genomföra och utveckla olika applikationstester, nedan beskrivna.

WP 3.1 Genomförda applikationstester inom detta projekt

WP 3.1.1 Dynamiska APD-planer

Rundvandringar initierades i hus E före uppförandet av dess innerväggar, precis före projektstarten. Ingen omfattande koordination skett gällande byggplanering i relation till ruttplanering för den autonoma utrustningen. Under projektets gång har hus E transformerats genom byggfaser som gjort att byggnaden gått från tomma lokaler med borttagna gamla ytskikt, avsaknad av innerväggar till uppförda innerväggar och uppförda ytskikt. Denna dynamiska miljö utgjorde en optimal testbädd för att utvärdera den autonoma apparaturens robusthet. Specifikt har snabba omvandlingar av byggnadens inre nödvändiggjort en frekvent omplanering av rutt. Även om dessa byggfaser var systematiskt planerade inom byggprojektet, förelåg det en brist på effektiv kommunikation mellan dessa fasplaner och den autonoma robotutrustningen och ruttplaneringen för denna.

Ur detta föddes idén tillsammans med LTU och samarbetsprojektet ”Automatiserade produktivitetmätningar” att nyttja digital APD-planering som kommunikationssnitt mot autonom utrustning. En dynamiskt uppdaterad APD-plan skulle även kunna innehålla information om körbanor för autonom trafik på byggplatsen för robust genomförande av rundvandring med robot. Detta skulle kunna innebära att QR-koder som nyttjas idag för att säkerställa att roboten inte driver i sin lokaliseringssuppfattning inte längre behövs och problematiken med att de under byggets gång försvinner tas bort.

Det bör dock noteras att, baserat på fältstudierna, en APD-plan används i dess nuvarande form primärt för att erhålla en ögonblicksbild av arbetsområdet samt för att uppfylla

bestämmelserna i arbetsmiljölagen. Det finns emellertid ett uppenbart behov av ett kommunikationssnitt gentemot autonoma system, varvid APD-planen framstår som en lämplig ansats (use case). I ett angränsande projekt undersöks därför nu möjligheter att potentialen att generera och uppdatera digitala APD-planer genom rundvandringar., Dessa inspektionsrundor kan antingen genomföras med individer utrustade med sensorik, exempelvis hjälmkamera, eller autonoma enheter.

WP 3.1.2 Maskininlärning på insamlad video för detektion av byggdetaljer

Det börjar nu (i det läge projektet lett fram till) bli allt viktigare att ta hand om insamlad information för att förmedla den till byggarbetsplatspersonal. Ett sätt är att tillgängliggöra den via ett befintligt verktyg, så som Dalux, för manuell granskning. Men det blir lätt mycket material att granska och ger kanske inte så mycket mervärde jämfört med att, till exempel, inspektera direkt på arbetsplatsen och dokumentera via mobilkamera.

Möjligheter till att automatgranskning har därför börjat undersökas inom projektet. För att testa automatanalys av insamlad video utfördes ett examensarbete under hösten 2022. I Amanda Zarkout och Johan Lindbergs examensarbete ”Evaluation of Spot as an instrument to provide autonomous data collection”⁶ utsattes videomaterial från mobilkamera och kamera i robotgripdon för granskning av maskininlärda neurala nätverk. Först testades vad tränade nätverk med standarddataset, så som MSCOCO och SODA för byggkontext, levererade i en state-of-art nätverksstruktur (YoLo). Det visade sig att standardset inte tolkar video i byggkontext bra. Då testades samma ansats men med egen tränat nätverk från egenannoterat dataset, också med YoLo nätverksstruktur. Utvalda byggdetaljer kunde då upptäckas, men med låg precision. Den låga precisionen berodde då troligen på att det egenskapade datasetet innehöll mycket mindre träningsmaterial än standardseten. Detta resultat har tolkats som en indikation på att en väg att gå är att samla mer träningsdata i byggkontext. Luleå tekniska universitet startade därför projektets gång ett examensarbete med syfte att utröna hur detta skulle kunna genomföras. Under det arbetets gång uppdagades problematik med att skapa ett system för datainsamling för träning i stor skala, bland annat saknar byggplatspersonal mobiltelefon i arbetet. Där befinner projektet i skrivande stund. YoLo är för övrigt ett nätverk med nära realtidsprestanda i detektion, det valdes i examensarbetet så att det skulle vara möjligt att potentiellt nyttjas lokalt på roboten, till exempel för att tolka och lösa felsituationer som kan uppstå under en rundvandring.

⁶ <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9127394>

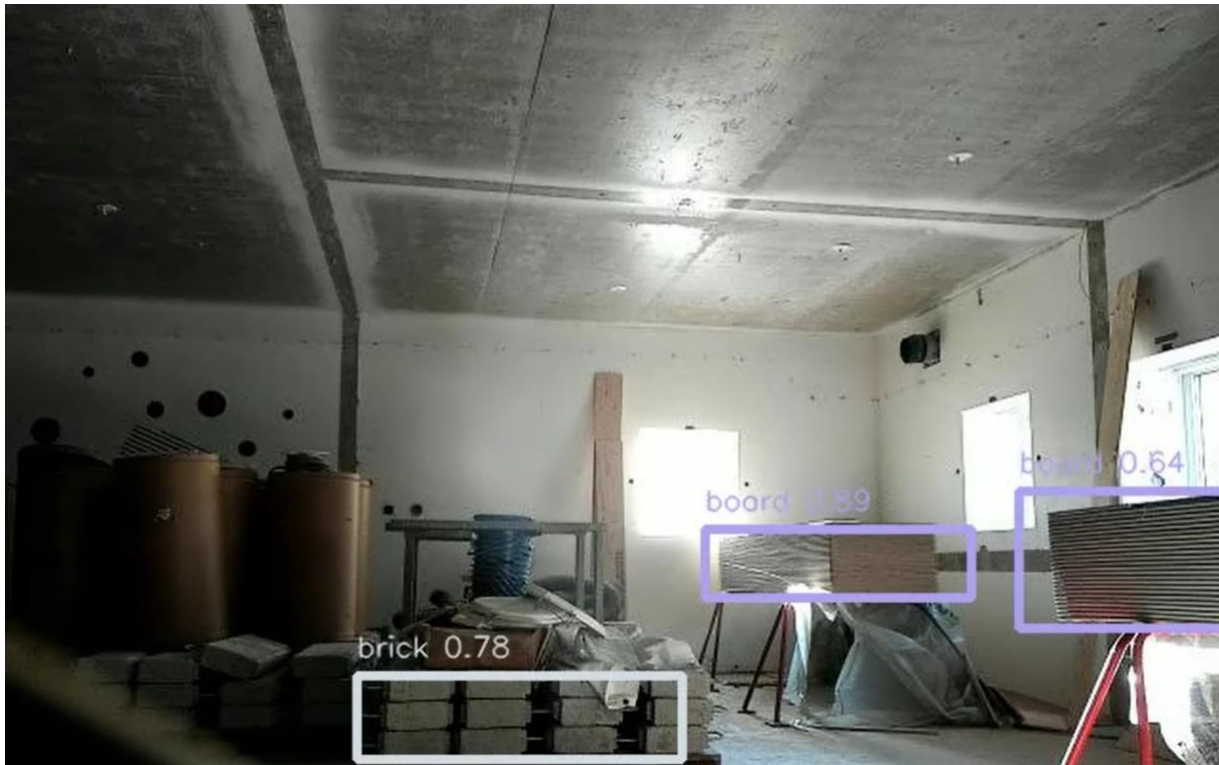


Bild 1. Analys av en bild ur fångad videoström. Boxar visar detekterade objekt. Texten ovanför varje box visar detekterad typ av objekt samt uppskattad sannolikhet för att det faktiskt är objekt av denna typ som klassificerats.

WP 3.1.3 Utvärdering av verktyget Dalux

Data som inhämtas via den autonoma utrustningen kräver behandling och tillgängliggörande. I samarbete med SBE-projektet "Automatiserade produktivitetmätningar" har projektgruppen undersökt integration med befintliga digitala byggapplikationer. Dalux erbjuder lagring och hantering av videoinformation genererat från rundvandringar med hjälmmonterad kamera. Samma kamera monterades med den autonoma roboten som bärare och därefter genomfördes test med autonom rundvandring. Byggarbetsplatsen och angränsande projekt med Luleå Tekniska Universitet bistod med nödvändig förberedelse av Dalux mjukvara så som digital APD-modell av byggarbetsplatsen.

Isak Andersson⁷ undersökte som en del av sitt examensarbete Dalux system för datainsamling med hjälm med monterad 360° kamera Ricoh Theta jämfört med placering på roboten Buster.

⁷ Andersson, I. (2023). Dynamiska APD-planer: En fallstudie från inspektionsrundor med 360-graders hjälmkamera (Dissertation).

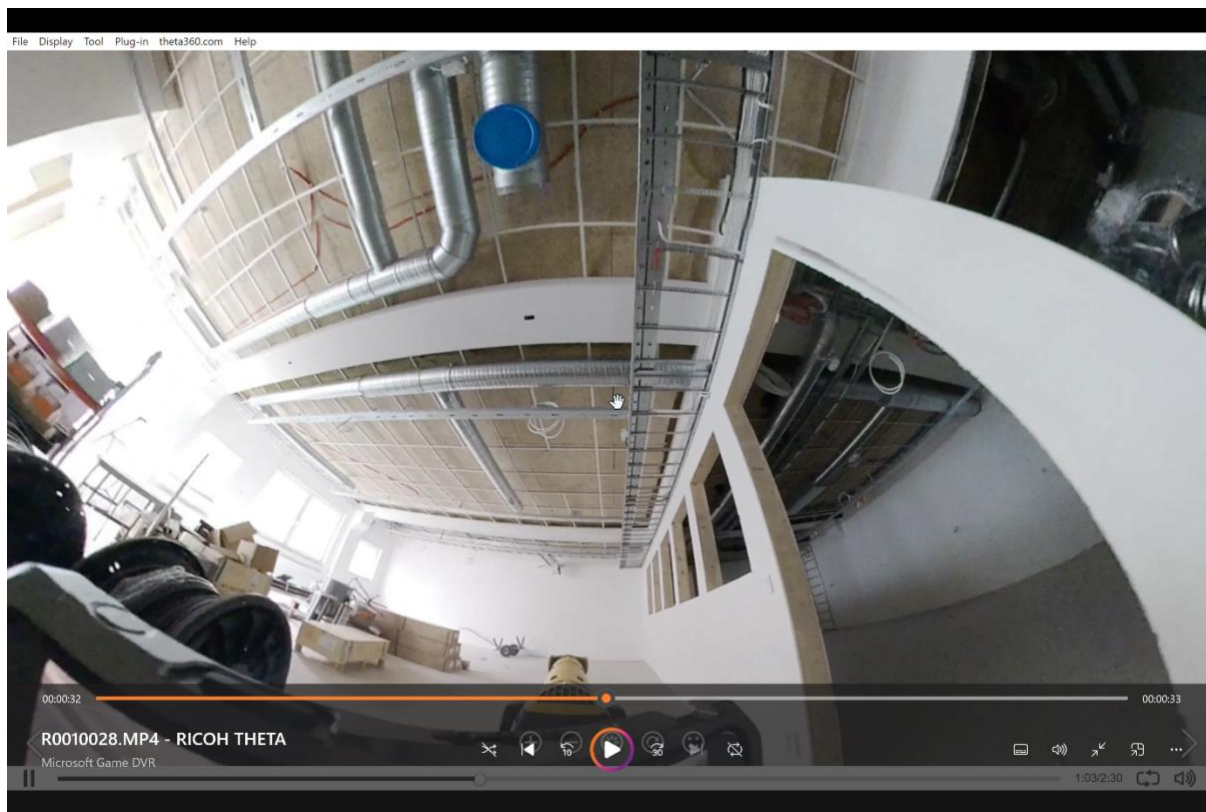


Bild 2 Skärmdump från film fångad med 360-kamera.

Vid granskning tillåter det stora synfältet att man på bildskärm (där film visas med mycket mindre synfält) kan titta i olika riktningar, se Bild 2.

I genomfört test styrdes kameran av Dalux mjukvara. Roboten genomförde en rundvandring oberoende av Dalux men med monterad kamera. Denna enkla fysiska integration fungerade ganska väl. En del erfarenheter från testet stod ut, men då ska också sägas att Dalux troligtvis befinner sig i början av sin utveckling av rundvandringstjänst, så våra kommentarer ska ses som nulägesbild som inte nödvändigtvis gäller framåt; Dalux stödjer i nuläget rundvandringar av endast några få minuters längd. Rundvandring med hjälm och robot behövde därför begränsas till en liten area av byggarbetsplatsen. Systemet är därför anpassat för kort rundvandring, till exempel inspektion av ett rum eller utrymningsväg, med efterföljande direktuppladdning av data till molnlagring. Givet tillgänglig uppkoppling på byggarbetsplatsen och insamlad datamängd innebär detta väntetid innan ny rundvandring kan påbörjas. En möjlig metod för längre rundvandringar som att stycka upp i kortare segment kan då bli svår att genomföra. Hittills genomförda rundvandringar med robot skulle kräva två eller tre rundvandringar i Dalux system med mellanliggande väntetid för uppladdning av data. Batteritid i rekommenderad kamera räcker endast till några korta rundvandringar.

WP 3.1.4 Automatisk jämförelse mellan punktmoln för att detektera skillnader

För att underlätta för automatgranskning av punktmoln har manuella moment som behövde genomföras på insamlad data i projekt 13 967 eliminerats i en i detta projekt framtagna beräkningspipeline.

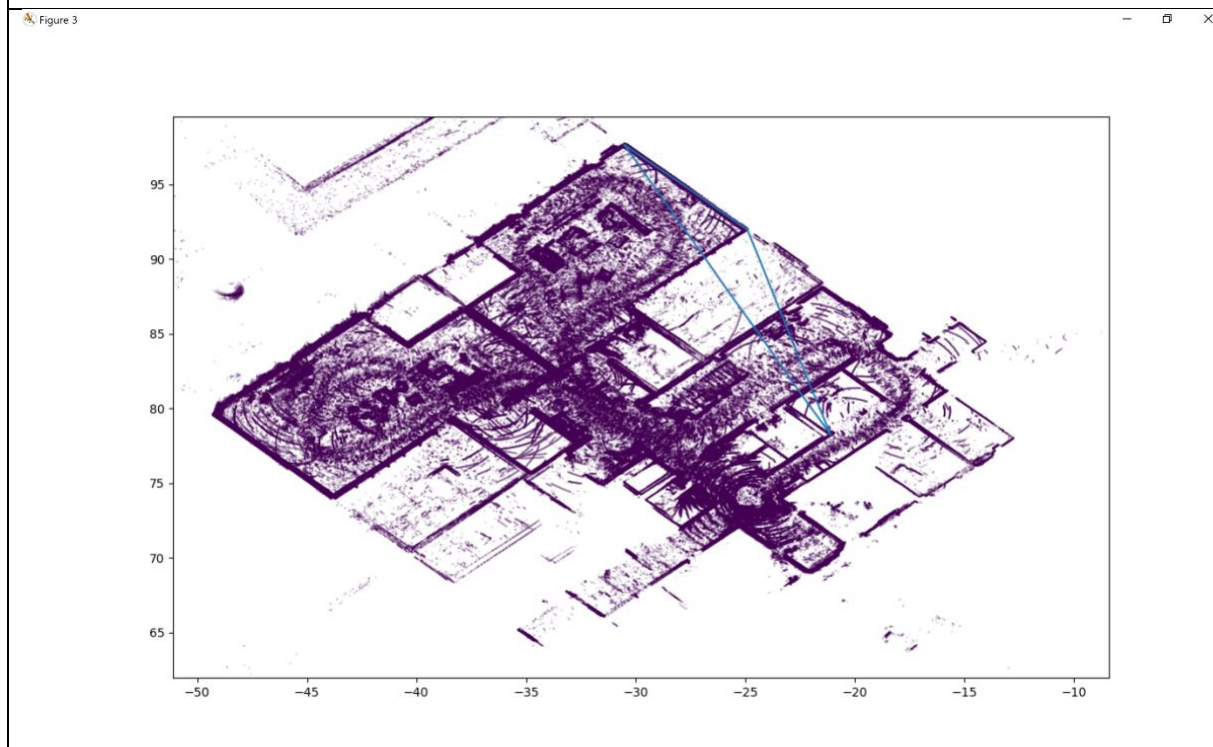
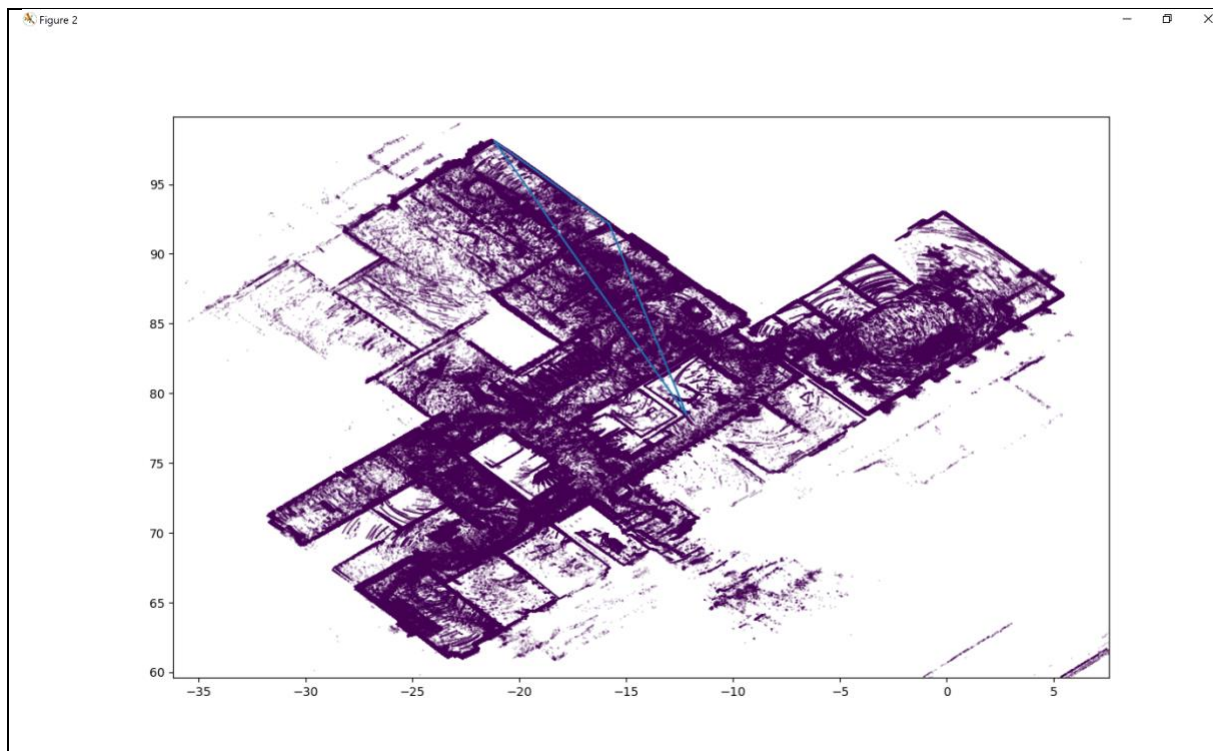


Bild 3 & 4 Gemensamma nämnare (större hörn) har lokaliserats i punktmoln fångade vid olika tidpunkter (markerade som hörnpunkter i blå trianglar). Dessa nyttjas för att justera in punktmolnen så att de överlappar. Notera att detta är ett mellanresultat som ska följas av ett jämförelsesteg som jämför de två punktmolnen ovan och därefter kanske färglägger på samma sätt som i Bild 5 i ett visualiseringssteg. Bilderna från mellanresultatet kan upplevas något kladdiga.

Den framtagna metoden bygger på att lokalisera och jämföra större hörn mellan punktmoln. De två punktmolnen i Bild 3&4 är sammansatta av något tusental individuella punktmolnsskanningar utförda när roboten genomfört en rundvandring. Tanken nu är att överlagra punktmolnen och ta fram skillnader mellan dem. Detta för att fånga lösa föremål så

som materialpallar och dylikt som står uppställda i rum. Därefter koppla funna skillnader till motsvarande videosegment i fångad video och producera en rapport med skillnader listade och illustrerade. En kommentar är att bilderna i Bild 3&4 visar ett mellanresultat innan data tvättats och rensats från brus, till skillnad från tidigare visad Bild 5 som visat ett slutresultat.

Den inom projektet framtagna pipeline för automatgranskning indikerar att det är möjligt att generera automatiserade jämförelser med BIM-modell och även mellan rundvandringar vid olika tillfällen. Ytterligare arbete krävs för att automatisera moment så att bilderna blir lika visuellt tilltalande som i Ola Nilssons examensarbete⁸ där överlappning av rekonstruktion och BIM-modell utförts manuellt. I bild 5 nedan har även en manuell brusreducering utförts för att ta bort mätdata som inte kan sägas tillhöra väggar.

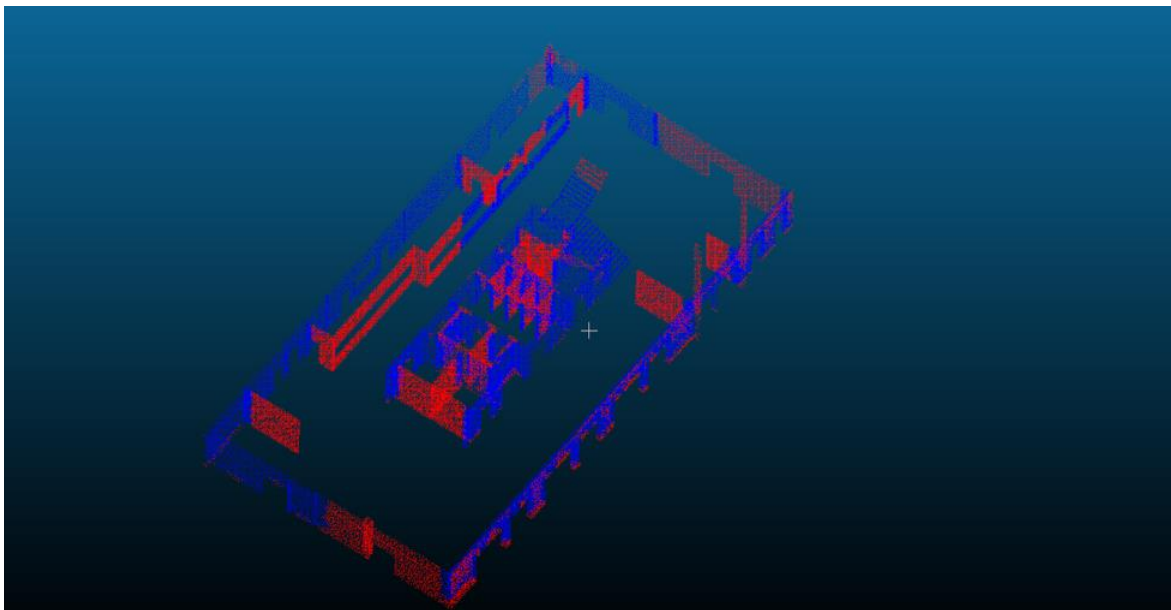


Bild 5. Här är de samplade punkterna från BIM-modellen färgade röda och punkterna från lidarsystemet (rekonstruktionen) färgade blåa. Detta ger en snabb överblick över vad som saknas i verkligheten, exempelvis väggar som är röda skulle t.ex. kunna antas vara ej byggda ännu.

WP3:2 Utvärdering av BIM-aktörer

För att få inblick i vilket mervärde BIM-aktörer skulle kunna se i regelbundet uppdaterad data från en byggarbetsplats genomfördes en workshop med två i projektet ingående aktörer, Zynka Group AB och Sweco Architects AB. Zynka Group AB arbetar dagligen med digitalisering, BIM och utsättning, mot bland annat offentlig sektor. Sweco Architects AB arbetar med digitaliserad information, BIM och utsättning, bland annat med projektet Vipan. Båda aktörerna är därför väl positionerade att värdera mervärde i ett dataset inhämtade med autonom robot. Att roboten hämtar in ett begränsat punktmoln kopplat till ett videomaterial under relativt kort tid sågs som en fördel för vissa uppdrag. Det är enklare att visuellt granska ett videomaterial. Det resulterar också i mindre omfång på data med minskad kostnad för arkivering som följd. Genomförd workshop tillsammans med Sweco (Bernand Johansson) och Zynka (Martin Tomasson) resulterade i tre övergripande punkter;

⁸ <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9079252>

Behov av grövre mixad digital modell

- En lite grövre digital modell som är mixad punktmoln och video samt inhämtad på relativt kort tid skulle kunna utgöra underlag för planering av digitaliseringsuppdrag, så som laserskanning av golv och pelarplacering.
- Även underlag för besiktningar och försäkringsskydd (idag ej krav på skanning, foto används) skulle vara betjänta av en grövre mixad modell.
- Uppdrag som ska utföras regelbundet, som skyddsronder, skulle vara betjänta av detta.
- En mixad digital modell skulle även underlätta vid annotering och semantisk kartering av digitaliseringsuppdrag. Här skulle en stor hjälp vara om man kan nyttja en grov mixad modell för att leverera digitala modellerna till BIM-konstruktören med parallella plan och räta vinklar. Även grundläggande klassificering på de olika byggdelarna är till stor hjälp. En kommentar: Holobuilder är ett bolag som håller på att bygga upp en bra databas för byggarbetsplatser med bildigenkänning via 360-bilder.

Snabbare inhämtning av data

- ROT-uppdrag som innebär mycket informationsskanning skulle tjäna på att initialt nyttja en snabbare men grövre digital modell. Att roboten kan gå omkring på natten själv är extra fördelaktigt vid ROT-projekt vid skolor, kontor etc. där GDPR innebär långa ställtider.

Behov av andra modaliteter

- Även nyttja autonom robot som bärare av sensorer som värmekamera och fuktsensor för att dokumentera problem eller frånvaro av problem

WP3.3 – Nytt egenutvecklat robotspråk - Juliet och Romeo

En del av problematiken i att nyttja autonom utrustning på byggarbetsplats är att den behöver lokalisera sig. Flertalet möjliga tjänster kräver en positionsnoggrannhet (2-5 mm) i insamlat material som överstiger vad Spot klarar av att leverera. Att ankra koordinatsystem på byggarbetsplatsen och möjliggöra för Spot att läsa av ett sådant är en möjlighet att göra roboten noggrann.

Att interagera med externa system för styrning av robotsystem kan vara besvärligt. Detta är en del av motivationen till att Cognibotics AB (partner i projektet) nu tar fram nästa generations robotspråk som är betydligt bättre på att ta in och nyttja externa system i robotprogram. Inom projektet har utförts test på att anpassa detta nya språk, kallat Juliet med exekveringsmiljö Romeo, till Spot för att kunna dra nytta av fördelarna med språket. Anpassning och test har genomförts av Ola Nilsson som skaffat sig gedigen kunskap om Spot i föregående SBUF-projekt 13 967. Juliet har portats till att köra på robotens hårdvara. Det återstår att tillgängliggöra fullt stöd för robotens API.

WP4 GENOMFÖRANDE OCH UTVÄRDERING AV ROBOTARM PÅ MOBIL PLATTFORM (SPOT) I UTSÄTTNINGSAPLIKATION

Utsättning är inte en färdig applikation i Spot. Detta arbetspaket har testat utveckling av ny applikation på Spot. Arbetet har utförts i samarbete med projekt Bluelining för Max IV och Cognibotics AB. Max IV har tillhandahållit mätsystem och ett globalt koordinatsystem för test. Cognibotics har tillhandahållit ett nytt automationsspråk för test på Spot.



Bild 6. Utsättning med robothundens arm. Ett tillverkat handhållet verktyg innehållande markerings- och mätfunktionalitet nyttjas för utsättning.

Bild 6 visar en bild ur demonstratorfilmen

https://drive.google.com/file/d/1RDKyfJieZUN_gRoq1Nd-zatwhVGvCMiy/view. I denna syns roboten verka som instrument för att sätta ut punkter på golv med hög precision. Nödvändig infrastruktur är ett befintligt uppmätt koordinatsystem och ett mätinstrument för access till detta. Max IV har ett koordinatsystem tillgängligt med mätutrustning. De har varit behjälpliga med att tillåta utsättningstest i sin miljö. Utan externt mätsystem fås en precision kring några centimeter. Med externt mätsystem inom någon millimeter. Examensarbetet [Automation of High-accuracy Marking Tasks at MAX IV using the Quadrupedal Robot Spot arbetade examensarbetarna](#)⁹ visar på en metod att nyttja Spot att placera instrument, så som markeringsverktyg (upp till lastgräns 5 kg), med hög precision i punkter. Det demonstrerades att den erforderliga märkningsnoggrannheten på 2 mm kan uppnås upprepade gånger i verklig arbetsmiljö på MAX IV.

Testet som examensarbetarna genomfört utreder hur mycket arbete som krävs för att skapa en utsättningsapplikation för Buster. I arbetet krävdes och genomfördes utveckling av markeringshårdvara som var anpassad för inmätning med externa metrologisystem. En navigeringsmjukvara utvecklades för att garantera siktbarhet mellan mätsystem och robot så att, till exempel, roboten själv inte kan skymma siktlinjen. En styrmjukvara togs fram för grov- och finjustering av markeringshårdvarans position som integrerades med robotens styrsystem. Slutligen utvecklades en arbetsmetodik för att arbeta med robot och mätinstrument tillsammans för att lösa markeringsuppgifter. Arbetet visar på att applikationen är lösbar med roboten Buster, men att arbete krävs för att tillverka en paketerad lösning för utsättning med robotarm.

Slutsatsen utifrån de resultat och data som samlats in under examensarbetet är att den föreslagna lösningen är lovande både vad gäller noggrannhet och autonomi. Synergier finns till andra områden att automatisera liknande processer, till exempel på andra forskningslaboratorier, vid byggnade av mässor och på byggarbetsplatser.

⁹ <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9113741>

WP5 UTVÄRDERING AV RESULTAT FRÅN WP2-4 TILLSAMMANS MED ARBETSPLATSPERSONAL

Projektet har fortsatt haft en kontinuerlig dialog med arbetsplatspersonalen och speciellt med arbetsledaren på Vipán, Fredrik Sandgren.

Fredrik har varit med och involverad redan i del 2 och ser framför allt hur rekonstruktionen från Spot skulle kunna användas som ett aktivt verktyg till att följa upp arbetet på arbetsplatsen. Han såg framför sig att nu när Mathias tagit fram en programmeringskod som mer autonomt kan jämföra rekonstruktionen från Spot med BIM-modell att det skulle kunna bli möjligt att mäta progression för, till exempel, påläggning av ytskikt på väggar i procent av mängd återstående arbete. Detta skulle då kunna kopplas till en tidplan för att, till exempel, få upp notiser när progression avviker från plan på arbetsplatsen.

Fredrik tyckte även att arbetet med utsättning hade varit en stor hjälp. Den här typen av kompetens är extern och behöver tas in vid varje tillfälle. Eftersom försöken vid Max IV visade på god potential och noggrannhet om systemet kunde koppla upp sig mot en existerande referenspunkt så hade detta varit en intressant vidareutveckling i kommande projekt.

Att i ett kommande projekt köpa in och testa värmekamera för att identifiera köldbryggor var en önskan som kom upp.

Under projektets gång har projektgruppen regelbundet samverkat med arbetsplatsens personal, inklusive deltagande i deras morgonmöten. Genom samverkan har det blivit tydligt att arbetsledarens ansvarsområde är omfattande och dynamiskt, med scenarion där omständigheter kan förändras abrupt. Exempel så scenarion är förseningar i leveranser eller oväntade upptäckter under demontering och rivning, observerades i projektet. Sådana oförutsedda omständigheter kan nödvändiggöra kommunikation med konstruktörer och beställare eller initiering av saneringsåtgärder. Det övergripande tidplanen (huvudtidplanen), vilket är direkt kopplat till kontrakt med underentreprenörer, fungerar som den prioriterade riktlinjen som arbetsledningen behöver anpassa sig till. Det har blivit uppenbart för projektgruppen att detta kan innebära perioder av intensiv och stressig planering, vilket alterneras med mer lugna faser. Arbetsledarens roll framstår som avgörande, även om stöd från arbetsgruppen är oundgängligt. Vidare verkar positionen som platschef vara ackompanjerad av en hög arbetsbelastning, ofta präglad av frekventa möten vilket tidigare projekt och forskning indikerat.

WP6 ÖPPEN REDOVISNING

Projektgruppen valde att digitalt redovisa projektet och den öppna redovisningen finns kvar via länken nedan;



Bild 8. Digital öppen redovisning via länk <https://vimeo.com/841190134/812fdd5948>

FRAMTID

Projektgruppen ser att utvecklingen av autonom informationsinhämtning går framåt även på byggarbetsplatsen och steget innan det blir ett stöd i vardagen för arbetsledaren och platschefen ligger inte så långt bort. Om robothunden även kan användas för andra applikationer samtidigt som utsättning eller exempelvis att identifiera köldbryggor så blir det ännu mer intressant. Applikationerna för att hantera informationsinhämtningen utvecklas parallellt med utvecklingen av själva robothunden och "Buster" (Spot från Boston Dynamics) börjar få konkurrenter i andra UGV robotar (unmanned ground vehicle) vilket medför att kostnaderna för inköp går ned.

Produktionspersonal sköter mycket genom en nära muntlig dialog för att lösa det dagliga arbetet. Administrativa uppgifter och dokumentation upplevs ofta som ett merarbete för personalen och inte så värdeskapande som man kanske hade önskat sig. Kan delar av en roll och kanske till och med enkla beslut hanteras av en AI-assistent till stressade arbetspositioner som arbetsledare och platschef skulle mer tid kunna frigöras till värdeskapande arbetsuppgifter.



Bild 9. Framtidens AI-byggassistens¹⁰?

¹⁰ Generated by chatGPT4

Mer träningsdata behövs för att applicera AI. Det blir allt viktigare att samla och lagra data. Kostnad och klimatavtryck för detta är dock inte försumbart. Kostnad för datalagring i världen 2022 var 219 miljarder USD.¹¹

SLUTSATSER

Detta projekt har undersökt vad det skulle innebära att ta fram tjänster/applikationer baserade på Spot i två exempel, utsättning och inspektion. Automatisk informationsinhämtning på arbetsplats, speciellt automatisk jämförelse för progressionsmätning, och möjlighet till att använda robotarm för mindre utsättningsuppgifter ligger nära önskade användningsfall för att skapa mervärde till produktionspersonal. Vidare utveckling för att automatiskt generera jämförelserapporter mot BIM behöver fortsatt genomföras. Det finns även utvecklingsmöjligheter nyttja information för att uppdatera befintlig tidplan och vidareutveckling för dynamisk uppdatering av en digital APD-plan. Att nyttja robotarmen för utsättning behöver fortsatt testas och utvecklas, så som att integrera ett robotläsbart externt koordinatsystem på byggarbetsplats.

Informationsanalys kräver mer utveckling för automatgranskning. Här behövs ett större projekt med faktisk digitalisering av svenska byggarbetsplatser över tid, där både insamling och tillgänglighet mot aktörer och forskare av data från svenska byggarbetsplatser hanteras, för att göra data lättillgängligt för "communities" som är duktiga på automatgranskning.

Utvärderingar inom projektet tillsammans med BIM-aktörer har visat på följande områden med potentiellt mervärde hos aktörer; Laserskanning av golv, pelarplaceringar, besiktningar/försäkringsskydd (idag ej krav med skanning, foton används), skyddsronder, areainmätning, ROT-projekt där det ofta finns mycket information som ska skannas in. Potentiellt mervärde för inspektion har även insamling av data från andra modaliteter, som temperatur och fukt.

Utvärderingar har identifierat faktorer som verkar begränsande för befintlig digitalisering idag: personalkostnad för insamling och hantering av data, samt kostnad för lagring av insamlad data.

Projektgruppen ser att vidareutveckling av projektet har stor potential att bidra till SBUFs mål "Effektivare byggprocess" och "Bättre arbetsmiljö" där datadriven framdrift med en dynamisk uppdaterad APD-modell tillsammans med AI-teknologi kan hjälpa till med att påminna/varna och eventuellt ta enklare beslut för ökad precision, enklare/effektivare planering samt upptäcka arbetsmiljörisker. Detta skulle leda till minskad stress för produktionspersonalen samtidigt som de uppnår ökad framdrift. En kombination som idag ofta låter som utopi.

¹¹ <https://www.statista.com/topics/3150/data-storage/>