

Utmätning- & utsättningsrobotar

– Ökad precision och informationsåterkoppling på byggarbetsplatsen



Helena Eriksson & Mathias Haage

2022-04-12

FÖRORD

Arbetet som sammanfattas i den här rapporten har utförts under 2021-2022 i samarbete mellan Peab, Cognibotics, Cementa, Max IV samt Center för byggrobotik vid LTH.

Medverkande i arbetsgruppen:

PEAB – Max Bergström

Center för byggrobotik vid LTH

Anders Robertsson, Institutionen för Reglerteknik LTH

Mathias Haage, Institutionen för Datavetenskap LTH

Volker Krueger, Institutionen för Datavetenskap LTH

Maike Klöckner, Institutionen för Datavetenskap LTH

Cognibotics – Klas Nilsson

Cementa - Robert Larsson

FOJAB – Henrik Malm

Max IV – Alina Andersson

Peab – Max Bergström

Medverkande i styrgrupp:

PEAB – Andreas Furenberg

Byggföretagen - Pär Åhman

Cementa – Ronny Andersson

FOJAB – Petra Jennings

LTH - Miklos Molnar

NCC - Christina Claesson-Jonsson

Arbetet delfinansieras av SBUF och ett Vinnova projekt inom UDI Steg 2 – ACon 4.0.

Robothunden Spot från Boston Dynamics är inköpt från LTH via medel från ”Infrastruktur LTH mobila robotar”, projekt SSF ”Semantic Mapping and Visual Navigation for Smart Robots (RIT15-0038)” och medel från Wallenberg autonomous system (WASP). Robotarmen monterad på Spot är inköpt med medel från ELLIIT Infrastructure Investment for “LTH Robotics Lab Infrastructure”.

Vid pennan,

Helena Eriksson & Mathias Haage

April 2022

SAMMANFATTNING

Detta projekt utgör del två av det tidigare SBUF-projektet 13610 Produktionsautomation i betongbyggande. Inom det tidigare genomförda SBUF-projektet del ett identifierades och ansågs området ”Uppföljning och informationsåterkoppling” vara i störst behov av utveckling i relation till produktionsautomation. Slutsatsen var att en förbättrad informationsåterföring skulle underlätta för byggets framdrift, precision och kalkyl samt även kunna ge ökad kvalitet och säkerhet. Därmed finns ett tydligt incitament till löpande datainsamling från ett bygge under byggskedet.

I del två har gruppen identifierat lämplig teknik och närliggande projekt för utvärdering och tekniköverföring till byggmiljö.

Tekniken består av en kommersiell mobil robot (Boston Dynamics robohund Spot med Spot Cam+, Spot Core, Spot EAP samt en Spot arm). Värdet och mögenhet hos teknik och insamlad information har utvärderats för;

- Kontinuerlig uppföljning på vad som faktiskt har byggts
- Validering att byggdelar blivit placerade på rätt plats
- Utsättning var byggdelar ska vara

Flera examensarbeten har varit kopplade till detta projekt där bland annat Ola Nilsson arbetat med ”Mapping building environments to allow for detection of construction errors with visual SLAM and Spot” och Emma Liljekvists har arbetat med ”Automatisering och digitalisering av byggbranschen –Fallstudie med robohund”. Tekniköverföring från ”Semantisk kartering & visuell navigering för smarta robotar” (RIT15-0038)¹ (SSF-projekt) har gett möjlighet att påbörja uppbyggandet av en semantisk databas för bygginformation samt nyttja den kompetens kring sensorteknik, maskininlärning, datorseende, kollaborativ teknik och robotik som finns hos deltagande parter inom Center för Byggrobotik samt övriga parter i SSF-projektet.

Med SBUF-projektet 13967 har byggrobotiken kunnat flytta ut från labbmiljö ut till den verkliga byggarbetsplatsen. Robothunden har fått mycket uppmärksamhet av lokal media (Sydsvenskan, Skånska Dagbladet, Lunds kommun, Vattenhallen vid LTH), nationell (SVT) och branschmedia (Svensk Byggtjänst) och har varit en fantastisk introduktion till hur byggrobotar skulle kunna hjälpa till på arbetsplatsen framöver.

¹ Finansiering från Stiftelsen för strategisk forskning, SSF, inom forskningsprogrammet Smarta system - projektavslut juni 2022

INNEHÅLL

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
BAKGRUND	4
SYFTE	4
METODIK	5
TEST AV SPOT MED UTRUSTNING PÅ BYGGPLATS	5
BEARBETNING AV DIGITAL UTMÄTNINGSDATA	9
PROJEKTION AV DIGITAL UTSÄTTNINGSDATA	11
UTVÄRDERING AV RESULTAT	12
SLUTSATSER.....	13
BILAGA 1 - SPOT UR ARKITEKTENS PERSPEKTIV.....	14

BAKGRUND

Löpande insamling av information från byggarbetsplats är svårt att genomföra i praktiken. Men just sådan insamlad information är väsentlig för att genom uppföljning och återkoppling öka precisionen i ett bygges framdrift och löpande kalkyl. Detta bekräftas inom det tidigare genomförda SBUF-projektet 13610 där det utfördes en workshop kring behoven inom produktion (både prefab och på 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 ett tydligt behov att få fram mer data från bygget löpande under byggskedet. Den information som tillgängliggörs kan användas för analys, utvärdering, kontroller, skyddsronder, optimering och utökad precision av pågående bygge, men även för jämförelser mellan olika byggen.

SBUF-projektet 13967 är ett av projekten inom Center för Byggrobotik vid LTH (<http://www.lth.se/digitalth/byggrobotik/>) där projektledaren Peab är partner. Centret har 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.

Två nationella projekt har genomförts inom centret, finansierade av Boverket² och Vinnova³. SBUF-projekt 13610 startades och genomfördes innan öppning av centret, men har bidragit starkt till centrets bildande genom att föra samman personer bakom initiativtagandet.

SYFTE

Syftet med projektet har varit att utvärdera en teknik för automatisk informationsinhämtning på arbetsplats, samt värdet i inhämtad information för återkoppling till produktionspersonal för snabb uppföljning. Projektet har även utvärderat förutsättningar för insamlad och behandlad information att bilda underlag till beslutsstöd för korrekt, felaktig eller saknad konstruktion på arbetsplatsen samt förutsättning för utsättning/projektering genom visuell projicering av lättförståelig information för genomförande av arbete på byggarbetsplats.

Tekniken består av en kommersiell mobil robot (Boston Dynamics robotthund Spot) kapabel att inspektera. Värdet och möjlighet hos teknik och insamlad information har utvärderats för;

1. kontinuerlig uppföljning på vad som faktiskt har byggts

² Boverket projekt ”Innovativt bostadsbyggande genom flexibla robotar i samverkan med människor”, 2018-2020

³ Vinnova UDI Steg 2 projekt – ”Innovativ Agile Construction for globally improved sustainability”, 2019-2022

2. validering att byggdelar blivit placerade på rätt plats (och eventuellt larva om så ej är fallet)
3. utsättning var byggdelar ska vara

Projektet har även haft som ambition att utvärdera roboten som del i större system för datainsamling (i projektet representerat av samverkan med quadcopters för kompletterande insamling på olika nivåer).

METODIK

Genomförandet har utförts i sju olika arbetspaket där WP1 var projektledning. WP2-4 handlade om att testa Spot enskilt och tillsammans med quadcopters för datainsamling, bearbetning av utmättningsdata samt projektering av utsättningsdata. Arbetet är en del av Center för byggrobotik vid LTH. I arbetspaket WP5 har resultaten utvärderats från WP2-4 tillsammans med arbetsplatspersonalen och i WP6 är den öppna redovisningen. WP7 består av skrivande av en slutrapport.

Fältförsök har utförts på Peabs projektplats Vipan i Lund med start augusti 2021, dock med ett uppehåll mellan januari till mars 2022 då roboten skickades tillbaka till USA för att få en arm monterad. Videoinspelningar har nyttjats för dokumentation av tester. Utvärdering och behandling av insamlad information har skett i samarbete med projektet ”Semantisk kartering & visuell navigering för smarta robotar”. Intervju och diskussion har genomförts med arbetsplatspersonal på byggarbetsplats i syfte att utvärdera förutsättningar för insamlad information som underlag till beslutsstöd.

TEST AV SPOT MED UTRUSTNING PÅ BYGGPLATS

I arbetspaket WP2 var tanken att testa Spot på Center för byggrobotik samt på byggsplats för att utvärdera möjligheter och begränsningar hos Spot för digitalisering av informations-återkopplingen på arbetsplats; framkomlighet (trappor, hinder), räckvidd, kvalitet hos insamlad data, enkelhet i användning, robusthet mot miljöeffekter (regn, damm, golvförhållanden).

Följande utrustning köptes in från Boston Dynamics och har testats och utvärderats;

Tabell 1. Testad utrustning och användningsområde

Utrustning	Användning
	<i>Spot</i> -akademisk version utan autonom laddutrustning. En lättstyrd inspektionsrobot med en ”nintendo-switch” liknande Game controller för styrning och uppdragshantering. För mer information se här; https://support.bostondynamics.com/s/article/Robot-specifications

	<i>Spot CAM+</i> för detaljerad inspektion. Ger högupplösta panoramabilder och inzoomade bilder via PTZ-kamera. För mer information se här; https://support.bostondynamics.com/s/article/Spot-CAM-Spot-CAM-Spot-CAM-IR#Specifications
	<i>Spot EAP</i> (Enhanced Autonomy Payload) samt <i>Spot Core</i>. <i>Spot EAP</i> är ett Lidarsystem som hjälper till så att roboten positionerar sig bättre. Data kan även nyttjas för att generera rekonstruktioner/kartor. <i>Spot Core</i> är en industri-PC som monteras på inspektionsroboten och möjliggör att egenutvecklad mjukvara kan användas.
	<i>Spot GXP</i> (General Expansion Payload) möjliggör att ytterligare utrustning kan kopplas till roboten.
	<i>Spot Arm</i> - i skrivande stund tillgänglig i beta-version. Kan i sitt grundutförande utföra några högnivå-operationer som att plocka upp mindre objekt och öppna dörrar. För mer information se här; https://www.bostondynamics.com/sites/default/files/inline-files/spot-arm.pdf

Spot är utrustad med monteringsskenor för att enkelt kunna skruva av och på utrustning. Strömförsörjning och nätverk finns tillgängligt för egenutvecklad utrustning.

Användarvänlighet och framkomlighet

Framkomlighet är god. Spot följer en uppgjord bana, där den navigerar autonomt med sina inbyggda kamerasystem för att undvika hinder utmed banan. Monterat lidar-systemet låter roboten navigera i öppna utrymmen och ökar uppmätt noggrannheten utefter banan (+/- 3 cm), även om avvikelser kan vara större beroende på undvikande av hinder etc. Game controllern kan användas för att styra roboten den bana som man bestämt att den ska inspektera. Man gör en snitslad bana med olika QR-koder som hjälper Spot med orienteringen. När man bestämt vilken bana man vill att Spot ska inspektera följer man med robothunden och spelar in vägen. Denna förinspelade väg kan sedan Spot gå autonomt utan någon som styr.

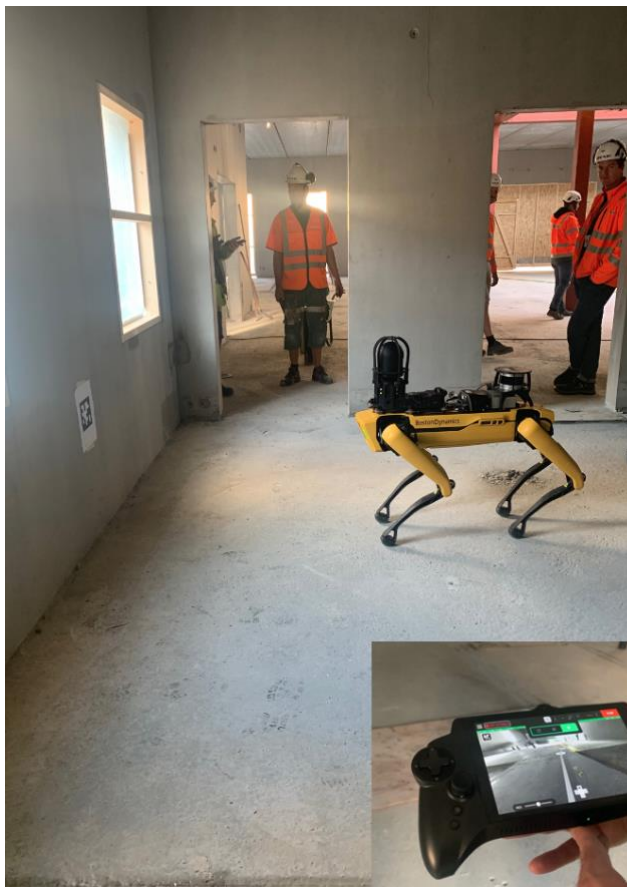


Bild 1. Spot med SpotCam+ och Lidarsystem på en autonom inspektionsrunda

Spot kan gå över mindre objekt och gå runt om det uppkommit nya hinder på vägen. Om hindren blir för komplicerade för roboten så stannar den och skickar ett felmeddelande till operatörens handkontroller om “Operational Failure”.

Arbetsgruppen har noterat att Spot med enkelhet kan gå över mindre objekt och parera för nivåskillnader i marken, se vänstra bild 2. Raka trappor klarar Spot av om det finns tydliga kanter, se mitten bild 2. Armen verkar vara en betaversion utvecklad för labbmiljö. Detta innebär att förhållandena måste vara väldigt bra för att den ska kunna identifiera och utföra uppgifterna som öppna dörrar och plocka upp mindre saker. I dagsläget är intrycket att armens applikationer främst är utvecklad för de marknadsföringsvideon som Boston Dynamics tagit fram. Dock finns

stora möjligheter att ta fram annan programvara som kan utföra uppgifterna på ett bättre och mer robust sätt.

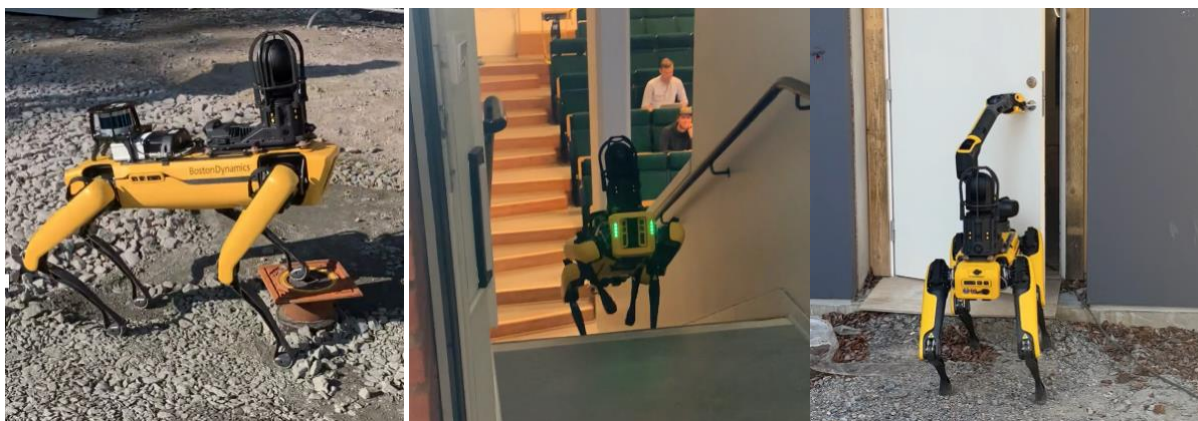


Bild 2. Exempel på Spots framkomlighet

Som förväntat så innebär navigeringen med kamerasystem vissa svårigheter för inspektionsroboten. Bland annat kan den inte se hål, skarpa kanter och blanka ytor, se exempel i bild 3 till vänster nedan där ena benet åkte ned i hålet mellan hissen och rampen. I bild 3 till höger nedan kan man se ett exempel på ett hinder som Spot hade lite svårt att komma runt. Detta hinder är placerat i vägen för den inspektionsrunda som det var tänkt att den skulle gå. Just detta typ av hinder kan klassas som ett gränsfall där den ibland hittade ut och kunde fortsätta, medan andra gånger var tvungen att avbryta sitt uppdrag och be om hjälp.

Ett annat exempel på svårighet är vid trappor som svänger och tappar Spot "fotfästet" med ett ben så börjar den "sprattla" och ramlar ned i stället för att bara dra upp det benet alternativt stanna och be om hjälp.



Bild 3. Exempel på svårigheter för Spot

Robusthet mot miljöeffekter

Spot har IP-klass IP54, vilket innebär att den är skyddad mot att skadliga mängder damm och vatten når elektriska delar. Detta innebär dock inte att den är väderskyddad och bör ej användas utomhus vid regn eller i väldigt dammiga utrymmen.

Kvalite på insamlad data

Spot med kamera och lidarsystem levererades och blev tillgänglig för projektet i maj 2021. Tester på Peabs arbetsplats Vipan i Lund påbörjades efter sommaruppehållet och pågick fram till årsskiftet 2021/2022. Totalt genomfördes ett 15-tal uppdrag under ett tiotal veckor under hösten. Under en 8-veckorsperiod var det möjligt att upprepa samma uppdrag (dvs Spot går samma bana och tar bilder på samma platser) och därmed producera direkt jämförbart material per vecka. Tidigt under hösten ändrades byggplatsen så pass mycket att omprogrammering av uppdrag ofta var nödvändigt. Exempel på situationer som krävde omprogrammering: dörrposter blockerades, väggar byggdes upp, material placerades ut. Alla uppdrag samlade in bilddata från inspektionsutrustningen från ett antal utvalda platser (platser valdes ad hoc under hösten)⁴. Ungefär hälften av dessa uppdrag samlade även in punktmolnsdata från lidar.

Test av visuell inspektion av data från inspektionsutrustning genomfördes genom att organisera bildmaterial så att en vanlig bildvisare kunde nyttjas för att bläddra igenom en tidslinje per plats. Robotens repeterbarhet i förmåga att uppnå samma position och orientering vecka efter vecka varierar något. Vinkelfel och positionsfel är vanligen ganska små (inom några grader, någon/några decimeter) men kan avvika mer om hinder någon vecka dyker upp nära bildtagningsposition. Manuell granskning av rådata fungerar väl, men för maskinell granskning och mätning i bildmaterial behövs injustering av insamlat material, kanske genom tillgång till, exempelvis en "QR"-kod i varje bild eller andra måttsatta föremål synliga i bild.

Räckvidd

Licensen för Spot bestämmer möjlig längd på uppdrag. Den akademiska licens som den införskaffade roboten kör under tillåter uppdrag om maximalt en kilometer. Andra licenstyper tillåter längre uppdrag. Genomförda uppdrag har under hösten legat på runt 100-150 meter med knappt 10 minuters genomförandetid. Dessa har då innehållit tagning av 10-15 inspektionsbilder med inspektionsutrustning och täckt ett våningsplan.

Batterikapacitet räcker till 90 minuter utan extra-utrustning som inspektion, något mindre med extra-utrustning.

BEARBETNING AV DIGITAL UTMÄTNINGSDATA

Inom WP 3 var planen att utvärdera bearbetning av insamlad digital utmätningsdata via "state-of-art" tekniker som;

- semantisk kartering - inläring för att skilja mellan byggmaskin, material och själva konstruktionen samt anpassning till CAD-data
- undersöka vad som krävs av insamlad digital utmätningsdata för att den på ett effektivt sätt ska kunna jämföras med den digitala BIM-modellen av byggnaden och användas till att automatiskt justera parametriska delar av BIM-modellen
- visuell navigering - lokalisera på arbetsplats via insamlad data för dynamisk navigering
- Data fusion - integrera data från flera system, till exempel Spot för marktäckning och quadcopter för höjdtäckning

Bearbetning av insamlat material var ej inbyggd i Spot vid den tidpunkt roboten levererades. Indikationer pekar på att sådana applikationer specifikt för Spot-data är under utveckling.

⁴ Val av plats utifrån processkrav och önskat nyttjande av data ligger till grund för inlämning av projektansökning inom framdrift (SmartBuilt - 2022-00098)

Arbetspaketet genomförde test med generiska applikationer med anpassning av Spot-data mot dessa. Specifikt testades RTABmap⁵ för uppbyggnad av kartor och CloudCompare⁶ för jämförelser av punktmoln.

Examensarbetet “Building dense reconstructions using SLAM and Spot”⁷ av Ola Nilsson tog fram en applikation för lagring av Spot-data till fil. Denna har körts på IPCn SpotCore monterad på robotens rygg under uppdrag. Insamlad data i form av punktmoln har därefter slagits samman till en modell med hjälp av RTABmap. Denna modell har därefter jämförts med BIM med hjälp av CloudCompare (BIM-geometri har samplats till ett “BIM”-punktmoln), se bilder nedan. En intressant visualisering är att färga insamlat punktmolns punkter med avseende på avstånd till BIM-punktmoln för att snabbt jämföra ”as-built” med modell, se bild 7 nedan.

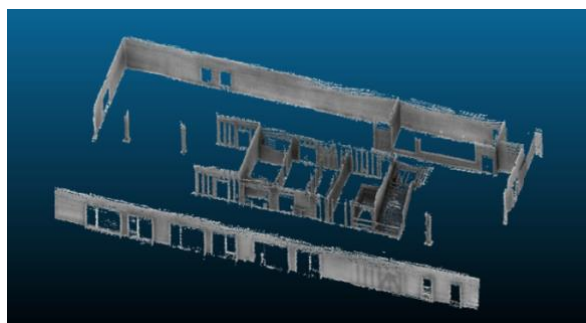


Bild 4. Resultatet av mappning med Spot och SLAM

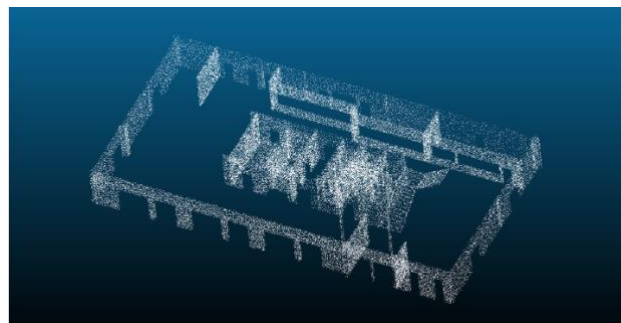


Bild 5. Punktmoln från att ha samplat punkter på ytorna i BIM-modellen.

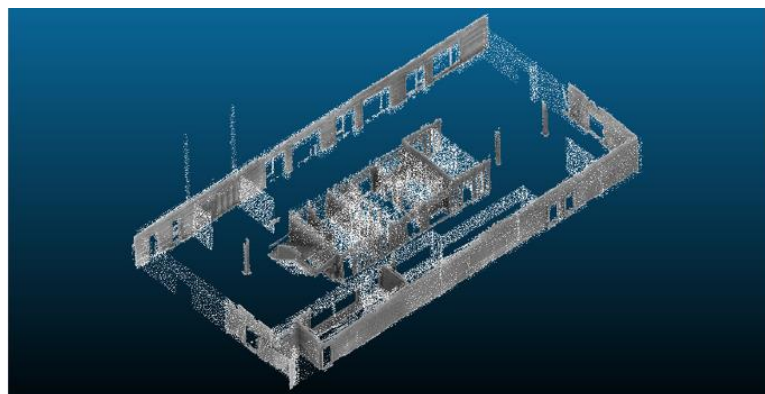


Bild 6 Resultatet från Bild 1 och 2 registrerat i samma koordinatsystem

⁵ [RTAB-Map | Real-Time Appearance-Based Mapping \(introlab.github.io\)](https://introlab.github.io/RTAB-Map/)

⁶ [CloudCompare - Open Source project](#)

⁷ [Ola Nilsson, Building dense reconstructions using SLAM and Spot](#), 2022

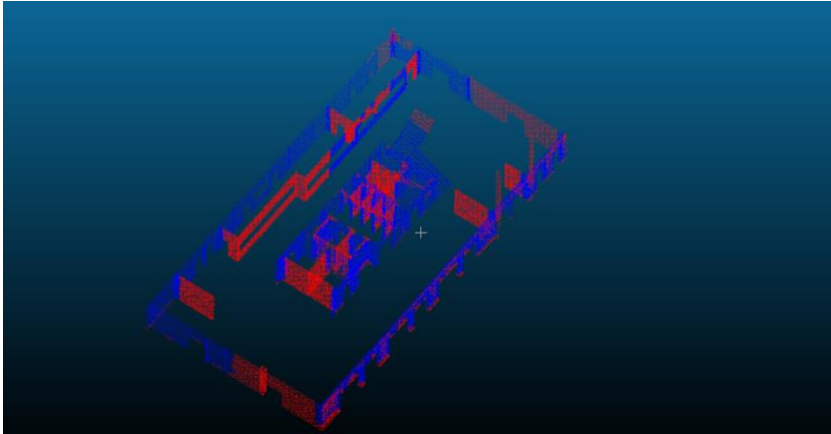


Bild 7. Här är de samplade punkterna från BIM-modellen färgade röda och punkterna från lidarsystemet (rekonstruktionen) färgade blåa. Detta ger en snabb överblick över vad som saknas i verkligheten, exempelvis väggar som är röda skulle t.ex kunna antas vara ej byggda ännu.

Ola Nilsson genomförde även en skattning av inbyggd positioneringsnoggrannhet jämfört med GPS med RTK-noggrannhet monterad på Spot, se rapport för resultat med diskussion. Arbetspaketet inkluderade även test med drönare och Spot. Ett examensarbete startade upp direkt då Spot anlönt till Lund med syfte att genomföra en tekniköverföring från tidigare projekt med landning av drönare på mobil plattform. Detta examensarbete pågår fortfarande i skrivande stund.

Tekniköverföring från ”Semantisk kartering & visuell navigering för smarta robotar” (SSF-projekt) har gett möjlighet att påbörja uppbyggandet av en semantisk databas (se bildserie 8) för bygginformation samt nyttja den kompetens kring sorteknik, maskininläring, datorseende, kollaborativ teknik och robotik som finns hos deltagande parter inom Center för Byggrobotik samt övriga parter i SSF-projektet. Slutsatser från detta arbete har nu resulterat i uppstart av examensarbete med syfte att anpassa etablerade algoritmer mot data från byggsplats.



Bildserie 8. Bilder tagna av SpotCam+ under en trevockorsperiod. Notera rören i taket

PROJEKTION AV DIGITAL UTSÄTTNINGSDATA

Projektion av utsättningsdata är ingen färdigutvecklad applikation för Spot. I detta arbetspaket utvärderades förutsättningar att genomföra egenutveckling av mjukvara och hårdvara för roboten.

Till Spot medföljer ett programutvecklingspaket ([Spot SDK — Spot 3.1.0 documentation \(bostondynamics.com\)](https://spot-sdk-3.1.0-documentation.bostondynamics.com)) som tillåter styrning av och access till data från Spot. Det är möjligt att skriva program på en vanlig laptop som kommunicerar med och styr Spot över wifi. I skrivande stund saknas en simuleringsmiljö för Spot som även stödjer Spots SDK. Det är alltså bara delvis möjligt att skriva och testa program utan tillgång till roboten. En erfarenhet från detta projekt är

att långa utvecklingssessioner med batteri och laddning inkopplat i roboten har tenderat att sänka batterikapacitet i monterat batteri. Spot tillhandahåller inget utvecklingsläge som tillåter körning utan batteri enligt vår kännedom.

Arbetspaketet har granskat utvecklingsbehov i följande scenarios (i kronologisk ordning):

Realtidsmonitorering av data från inspektionsutrustningen (Spot CAM) i en AR-applikation. Testet var tänkt att utvärdera möjlighet att projicera utsättningsdata digitalt tillsammans med bilddata i, till exempel, VR-glasögon. Testet genomfördes som del i ett examensarbete vid LTH direkt då Spot anlönt till Lund. Testet blev inte helt lyckat i mening att inlärningsströskel och tidsåtgång för montering och igångsättande av utrustningen inte gjorde det möjligt för examensarbetaren att avsluta testet. Testet var lyckat såtillvida att det framkom mycket värdefull information för igångsättande och drift av utrustning som varit nyttig för genomförande av andra delar av projektet, främst arbetspaket 2.

Under hösten 2021 genomfördes studiebesök på MaxLab IV med Spot. MaxLab genomför ett utsättningsprojekt för sin utrustning där placeringspunkter för utrustning markeras på golvyta med hög noggrannhet (ca 5mm) i ett globalt (täckande hela MaxLab) koordinatsystem. I dagsläget genomförs utsättningen manuellt med hjälp av en lasertracker och fasta inmätningpunkter. Genomfört test utvärderade Spots inbyggda noggrannhet för att gå till önskad position. Indikationen från detta experiment är en positionsnoggrannhet på ungefär en decimeter. Detta är värt att notera att inmätningarnas noggrannheten (var Spot befinner sig) är högre. Nästa test kommer att genomföras med monterad arm och involverar nyttjande av extern mätdata från lasertracker för positionering av ett föremål med arm. Test är inplanerat i kommande sökt projekt SBUF "Buster - byggarens bästa vän".

Projicering av utsättningsdata på vägg via projektor. Test har genomförts med projicering av bilddata på vägg. Tänkt applikation var projicering av äldre inspektionsdata på vägg för en "röntgen-effekt" eller projicering av CAD för utsättning. Slutsatsen är även här samma som för MaxLab IV. Den inbyggda noggrannheten i Spot tillåter projicering av information på vägg men för måttatt projicering krävs externt mätinstrument eller inmätning mot markörer (som QR-koder) som påverkar robotens position och/eller bildens placering i projektionen.

UTVÄRDERING AV RESULTAT

Resultat har utvärderats och diskuterats med arbetsgruppen, platsledningen på Vipar, i en workshop tillsammans med Fojab (se Bilaga 1 - Spot ur arkitektens perspektiv) samt under den öppna redovisningen av projektet där förutom representanter från styr- och arbetsgruppen även Rekab, Ortelius, Building Point, Danfoss, Built Robotics samt Veidekke deltog.

Anpassning till den ostrukturerade miljön på en byggarbetsplats har testats under hösten genom upprepat genomförande av inspektionsuppdrag på en PEAB-arbetsplats. Överlag har tillhandahållen programmeringsmetodik och handhavande fungerat väl. Det är viktigt att vara medveten om och tillhandahålla en miljö som tar hänsyn till begränsningar i robotens förmåga att hantera en ostrukturerad miljö, till exempel genom markering av bildtagningspositioner och rutter på golvytor:

- Skiljer ej semantiskt på föremål att undvika eller ta sig över vid utförande av uppdrag. Spot har klivit på känslig utrustning, trillat ner i mellanrum mellan hiss och hisschakt, gått genom löst hängande kablage, varit på väg in i områden med hög smutsighet (till exempel pågående borrhållsarbeten).

- Hanterar ej utförande av uppdrag med större hinder, till exempel placering av objekt som hindrar utförande av bildtagning. Autonomt utförande kräver till exempel markering av platser för bildtagning för att undvika tidigt avbrott. Om miljön förändras mycket minskar noggrannheten och vid för komplicerade hinder stannar roboten.
- Utrustningen hanterar vatten till visst djup, men det är viktigt att roboten inte stannar till i ett sådant område och efter en stund lägger sig ner (kroppen hanterar inte nedsänkning i vatten). Roboten är klassad IP54. Uppdrag inomhus är att föredra.
- Området som ska inspekteras kräver taggning med koder liknande QR-koder. Närvaro av sådana koder som kan sitta kvar beständigt under byggprocessen och med anknytning till känt koordinatsystem underlättar utförande av uppdrag och ökar noggrannhet.
- Roboten är en industrirobot och kräver att ett säkerhetsavstånd som måste upprätthållas, till exempel genom att utföra uppdrag på obekvämtid när personal ej är närvarande. Med arm monterad måste roboten dessutom CE-märkas i sin applikation (robot utan monterad arm kräver ej detta).
- Det är möjligt att byta extra-utrustning (payloads). Stora möjligheter finns att använda olika typ av sensorer till exempel värmekameror, fuktsensorer och annan typ av mätutrustning.

Skapande av uppdrag görs manuellt med levererad funktionalitet. Applikation för automatisk generering av uppdrag från till exempel BIM-data behöver i skrivande stund utvecklas.

Automatisk analys av data från uppdrag kräver i skrivande stund även utveckling av applikation alternativt inköp och anpassning av system från tredjepartsleverantör. Visualisering av rådata med hjälp av generiska applikationer ger indikation om användbarhet, till exempel översiktsbild med jämförelse mellan ”as-built” punktmoln från lidar och BIM-modell med färgläggning, se bild 7. Sådana översiktsbilder skulle kunna användas i den visuella veckoplaneringen. Manuell inspektion via periodvis insamlat råbildmaterial ser lovande ut och undersöks i skrivande stund för virtuella skyddsronder i ett pågående examensarbete.

SLUTSATSER

I stort har erfarenheter byggda i projektet varit goda. Mognadsgraden hos Spot för att genomföra inspektion på arbetsplats bedöms som överlag god. Projektet fick roboten i ett tidigt skede och vad vi ser nu i slutfasen av projektet är tydligt ökad tillgång till mjukvara och hårdvara för att utföra inspektionsuppgiften. Trend för nyttjande av Spot är uppåtgående. Den har möjlighet att öppna en nisch för kontinuerlig/autonom datainsamling inom byggsektorn, framförallt i inomhusmiljö.

Med SBUF-projektet 13967 har byggrobotiken kunnat flytta ut från labbmiljö ut till den verkliga byggarbetsplatsen. Robothunden har fått mycket uppmärksamhet av lokal (Sydsvenskan, Skånska Dagbladet, Lunds kommun, Vattenhallen vid LTH), nationell (SVT) och branschmedia (Svensk Byggtjänst) och har varit en fantastisk introduktion till hur byggrobotar skulle kunna hjälpa till på arbetsplatsen framöver.

BILAGA 1 - SPOT UR ARKITEKTENS PERSPEKTIV

SPOT UR ARKITEKTENS PERSPEKTIV

Vi ser många potentiella användningsområden för robotar liknande Spot ur arkitektens perspektiv, från de tidigaste undersökningarna av en potentiell byggplats till användning vid rivning. Arkitekterna kommer att behöva anpassa sina framtida tjänster och arbetsprocesser så att de passar till en byggnadssektor där robotar som Spot är ett välanvänt verktyg. Denna anpassning måste också relateras till att det kommer att finnas en uppsjö av olika typer av robotar på marknaden, med delvis olika arbetsuppgifter. Med största sannolikhet behöver det därför arbetas fram gränssnitt för de nya teknologierna som gör det möjligt att anpassa arbetsprocesserna till en stor mängd olika robotar. Nedan listar vi olika skeden av en byggnads tillblivelse och förvaltning, och nämner områden där vi tror att en robot som Spot skulle kunna vara användbar.

TIDIGA SKEDEN

Många användningsområden för Spot kretsar kring uppmätning av en byggnad under byggprocessen. Dock ser vi även stora värden i att använda en robot som Spot redan vid platsundersökningar, långt innan det ens har börjat ritas en byggnad för platsen. Vi skulle till exempel kunna använda Spot för kartering av olika typer av mark, ta jordmånsprover och undersöka olika biotoper på platsen. Vi skulle även kunna mäta upp t.ex. placeringen av brunnar och med rätt verktyg kanske även mäta upp dolda objekt, så som ledningar i mark. Platsens förutsättning skulle även kunna analyseras, genom t.ex. bullermätningar och provtagningar av miljögifter. Genom användningen av en robot som Spot skulle vi kunna göra uppmätningar och analyser av ett större område och även kunna ha åtkomst till otillgängliga platser. Det skulle även vara möjligt att analysera över ett längre tidsspann, t.ex. att låta Spot undersöka bullernivåerna under ett eller flera dygn.

BYGGSKEDET

Det är lätt att hitta många användningsområden för Spot under själva byggnationen. Allra först i byggskedet skulle Spot kunna användas till att göra utsättning på mark för det kommande bygget. Utsättning är ju också ytterst relevant under själva byggnationen, då Spot skulle kunna projicera på väggen var saker ska sitta, använda Augmented Reality för att visualisera ett objekt på sin plats eller t.ex. rita direkt på en betongplatta var regler ska placeras. Spot skulle även kunna användas för att gå ronder och kontrollera ett stort antal saker på bygget, som t.ex. mäta torkningsgrad av betong, hitta otätheter, mäta köldbryggor med en värmekamera, mäta fall mot golvbrunn (kanske med ett verktyg som trycks mot marken), kontrollera takhöjd, kontrollera montage av installationer, kontrollera placering av innerväggar och öppningar och allmänt kontrollera så att saker sitter på rätt plats. För att reguljärt genomföra ett stort antal av dessa mätningar skulle det vara önskvärt att roboten kan byta sensorer och verktyg själv och att den kan gå en rond på natten för inte störa själva byggarbetet. Det skulle även vara bra om styrningen av roboten enkelt kunde tas över av olika personer på bygget, så att man kan kalla till sig robothunden när man behöver dess hjälp för t.ex. en utsättning. Användningen av Spot skulle även kunna leda till en mer iterativ byggprocess. Om man t.ex. ritar och bygger en konsertsal, så skulle Spot kunna mäta akustiken kontinuerligt under bygget och meddela om det behövs mer justeringar i byggnationen för att de akustiska målen ska uppnås i hela salen.

När hela byggnaden är färdig skulle man kunna använda Spot för att göra en komplett uppmätning för relationshandlingarna och få en helt korrekt modell "as built".

OMBYGGNAD/RIVNING

Ett annat intressant användningsområde för Spot ur arkitektens perspektiv är vid ombyggnad eller rivning. Spot skulle då kunna användas för uppmätningen och utvärderingen av den befintliga byggnaden. Ofta är gamla ritningar eller 3D-modeller av byggnader inte uppdaterade, om det ens finns en ritning. I det fallet skulle Spot kunna användas för att få en helt korrekt och uppdaterad modell av

den faktiska byggnaden. Man skulle även kunna använda Spot i de fall då en man inte vill skicka in en människa för uppmätningen pga av t.ex. rasrisk. Ett mycket intressant användningsområde är även att undersöka status på byggnaden när det kommer till att hitta gömda fel, så som vattenskador, eller att använda en värmekamera för att undersöka köldbryggor i en befintlig byggnad. Man skulle även kunna använda en värmekamera för att få en 3D-bild över den termiska komforten. Det hade även varit väldigt användbart att ha ett verktyg som kan "se in i väggarna" för att t.ex. hitta eldragningarna i den befintliga byggnaden.

Ur arkitektens synvinkel hade det även varit väldigt bra att kunna placera Spot i byggnaden som ska byggas om för att sedan kunna styra Spot på distans för att kontrollera specifika detaljer på bygget. Ofta har man missat att t.ex. notera färgen på en viss vägg eller liknande när man gjorde ett platsbesök och hade då enkelt kunnat undersöka detta på distans. Här hade en spännande utveckling kunnat vara att använda glasögon (typ VR-glasögon) som är kopplade till Spots kameror. På så vis skulle man få känslan av att "bli" Spot på bygget och springa runt och kontrollera det man vill.

Om det beslutas att en byggnad ska rivas skulle en mycket intressant användning av Spot vara att hitta material som går att återbruka och även kunna mäta detta material, t.ex. räkna antalet tillgängliga tegelstenar av en viss sort eller räkna hur många radiatorer som finns i byggnaden.

FÖRVALTNINGSSKEDET

En hel del av de saker som man vill analysera och mäta i byggskedet eller vid en ombyggnation skulle även kunna vara intressant att undersöka i förvaltningsskedet, t.ex. att hitta dolda problem som vattenskador och andra fel. Antingen skulle roboten kunna användas direkt för mätningarna, eller för att placera sensorer på exakt platser för kontinuerlig mätning över tid. Mätningarna skulle kunna användas för att kontrollera akustik, värme och dagsljus och validera om de antagande/intentioner som gjordes vid projekteringen av byggnaden faktiskt stämmer. En robothund skulle även kunna användas för att gå skyddsronnen i en byggnad eller för att mäta upp placeringen av nya objekt i byggnaden.

I dagens förvaltning blir det mer och mer efterfrågat att ha en korrekt digital tvilling av byggnaden (oftast som BIM-modell). Denna digitala modell skulle kunna hållas korrekt uppdaterad genom att en robothund reguljärt fotograferar och gör uppmätningar i byggnaden och genom detta kontrollerar vad som har förändrats. Då skulle man även kunna koppla på "metadata" på 3D-modellen, så som vilken färg väggen är målad med, eller om en lampa behöver bytas. Man skulle även kunna klicka på en del av den digitala modellen och få aktuella foton från den platsen som stöd i förvaltningen.

Av Henrik Malm, Fojab
April 2022