

# **TSEA56 - Kandidatprojekt i elektronik**

## **LIPS Förstudie: Sensor**

Version 1.0

Grupp 4

Inge, Zimon zimin415

Wasteson, Emil emiwa068

2 juni 2016

Status

Granskad	Zimon Inge	2016-04-25
Godkänd	-	-

**PROJEKTIDENTITET**

2016/VT, Undsättningsrobot Gr. 4

Linköpings tekniska högskola, ISY

Namn	Ansvar	Telefon	E-post
Isak Strömberg (IS)	Projektledare	073-980 38 50	isast763@student.liu.se
Olle Hynén Ulfsjö (OHU)	Dokumentansvarig	070-072 91 84	ollul666@student.liu.se
Emil Wasteson (EW)	Hårdvaruansvarig	076-836 61 66	emiwa068@student.liu.se
Elena Tronje (ET)	Mjukvaruansvarig	072-276 92 93	eletr654@student.liu.se
Zimon Inge (ZI)	Testansvarig	070-171 35 18	zimin415@student.liu.se
Lovisa Gustafsson (LG)	Leveransansvarig	070-210 32 53	lovgu777@student.liu.se

E-postlista för hela gruppen: isast763@student.liu.se

Kund: ISY, Linköpings universitet  
tel: 013-28 10 00, fax: 013-13 92 82  
Kontaktperson hos kund: Mattias Krysander  
tel: 013-28 21 98, e-post: matkr@isy.liu.se

Kursansvarig: Tomas Svensson  
tel: 013-28 13 68, e-post: tomass@isy.liu.se  
Handledare: Peter Johansson  
tel: 013-28 13 45, e-post: peter.a.johansson@liu.se

## Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Problemformulering</b>	<b>1</b>
2.1 Syfte . . . . .	1
2.2 Frågeställningar . . . . .	1
<b>3 Kunskapsbas</b>	<b>2</b>
3.1 Kapacitiv sensor . . . . .	2
3.2 Ultraljudssensorer . . . . .	3
3.3 Ljussensor . . . . .	3
3.4 IR-sensor . . . . .	3
3.5 Lasersensor . . . . .	4
3.6 Gyroskop . . . . .	5
3.7 Accelerometer . . . . .	6
<b>4 Fallet undsättningsrobot</b>	<b>7</b>
4.1 Avståndssensor . . . . .	7
4.1.1 SRF04 . . . . .	7
4.1.2 GP2D120 . . . . .	7
4.1.3 LIDAR-Lite v2 . . . . .	8
4.2 Detektering av mål . . . . .	8
4.2.1 FDC1004 . . . . .	8
4.2.2 IRM-8601S . . . . .	8
4.2.3 SFH300 . . . . .	9
4.2.4 BPX43-3 . . . . .	9
4.3 Vinkelhastighetsmätning . . . . .	9
4.3.1 MPU-6050 . . . . .	9
4.3.2 MLX90609 . . . . .	9
4.4 Acceleration . . . . .	10
4.4.1 MPU-6050 . . . . .	10
<b>5 Resultat och slutsatser</b>	<b>11</b>
<b>Referenser</b>	<b>12</b>

## Dokumenthistorik

Version	Datum	Utförda förändringar	Utförda av	Granskad
1.0	2016/04/25	Tredje utkastet	Grupp 4	ZI
0.2	2016/04/08	Andra utkastet	Grupp 4	ZI
0.1	2016/03/03	Första utkastet	Grupp 4	ZI

## 1 Inledning

I dagsläget finns det en mängd olika sensorer, alla med för- respektive nackdelar. Vilken sensor som är bäst beror ofta på vilket syfte som ska uppfyllas och vilka resurser som finns att tillgå. Att en undsättningsrobot som ska hitta nödställda har sensorer som gör det enkelt att identifiera sitt mål är en fråga om liv och död. Därav finns det ett stort behov av att öka kunskapen om sensorer, samt dess möjligheter och begränsningar.

## 2 Problemformulering

I detta kapitel presenteras det syfte samt de frågeställningar som ligger till grund för denna förstudie.

### 2.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att undersöka vilka sensorer som är relevanta för undsättningsroboten i sitt uppdrag. Syftet är fortsättningsvis att redogöra för en implementation av de sensorer som finnes intressanta för undsättningsrobotens ändamål.

### 2.2 Frågeställningar

Nedan följer de huvudsakliga frågeställningar vilka har för avsikt att behandlas i denna rapport:

- Vilka sensorer finns det som stöd för att roboten ska kunna utföra sitt uppdrag? Hur fungerar dessa? Finns det olika typer?
- Vilka sensorer är lämpliga att använda till projektet?
- Hur kan dessa implementeras?

### 3 Kunskapsbas

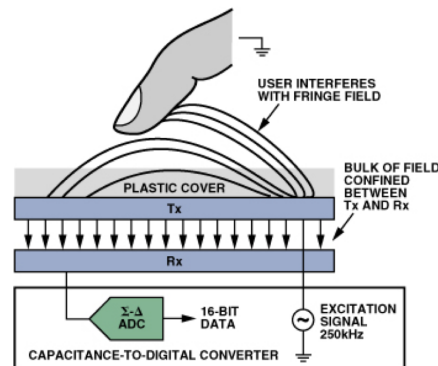
För att kunna avgöra vilka sensorer som är ändamålsenliga för en undsättningsrobot så krävs en redogörelse av vad som finns att tillgå. I följande avsnitt följer således en beskrivning av olika typer av sensorer.

#### 3.1 Kapacitiv sensor

En kapacitiv sensor är en sensor som använder sig av kapacitans (C) för att identifiera ett önskat material. Sensorn består av en platta med arean A och kan detektera alla objekt som har en relativ kapacivitet som skiljer sig från luft, bland annat plast, olika metaller, vätskor och hud. Det finns olika typer av kapacitiva sensorer, en del kräver kontakt mellan sensorn och ett objekt medan andra har högre känslighet och kan känna av kapacitansändringar på avstånd upp till 70 cm. När avståndet (d) mellan objektet och en sensor minskar så ökar kapacitansen enligt ekvation 1, där  $\epsilon_r$  är en konstant som beror av materialets relativa kapacivitet och  $\epsilon_0$  är en permitiviteten i luften.[1]

$$C = \frac{\epsilon_r \times \epsilon_0 \times A}{d} \quad (1)$$

I figur 1 illustreras hur kapacitansen ändras när objektet (fingret) närmar sig sensorn och hur kapacitansändringen med hjälp av en AD-omvandlare görs om till en digital signal.



Figur 1: Ett fingers påverkan på kapacitans.

En kapacitiv sensor har många fördelar när ett objekt ska detekteras. Det som utmärker denna typen av sensor mest jämfört med övriga detektorer är att den kan detektera de flesta typer av objekt, alltifrån metaller och plast till hud och vatten. Det gör att samma sensor kan användas i flera typer av projekt och miljöer. Sensor behöver dock komma nära objekten som ska detekteras, vilket innebär att en bra uppfattning om var objektet krävs innan avsökning påbörjas. [1]

### 3.2 Ultraljudssensorer

För att mäta avstånd till objekt kan en ultraljudssensor användas. Den skickar ut en puls av ljud, utanför det intervall människan kan uppfatta, för att sedan invänta ett eventuellt eko. Om inget eko detekteras finns det inget objekt inom sensorns avkänningsområde i den riktning som ljudpulsens skickades ut i. Uppfattas däremot ett eko registrerar sensorn hur lång tid ( $t_{tot}$ ) det tog för ljudet att studsas tillbaka och kan, eftersom ljudhastigheten ( $v_{luft}$ ) i luft är känd, utifrån det enligt ekvation 2 räkna ut avståndet ( $s$ ) till det objekt som gav upphov till ekot. [2]

$$s = \frac{v_{luft} \times t_{tot}}{2} \quad (2)$$

En ultraljudssensor passar bra i miljöer med skiftande omgivning. Den påverkas inte av vilka färger eller material som ljudvågorna studsar emot och den kan användas problemfritt i dammiga och smutsiga miljöer. Att mäta avstånd till små objekt på stora avstånd är inte heller någon begränsning då ljudvågorna breder ut sig på ett stabilt sätt. [2]

Exempel på miljöer som begränsar ultraljudssensorer är omgivningar av höga tryck, vakuum samt hög värme. Den största begränsningen med denna sensor är emellertid att den agerar förhållandevis långsamt. Ljudet utbreder sig med en hastighet på 340 m/s i luft, vilket innebär vissa fördröjningar för sensorn att förmedla avstånd. Detta i jämförelse med sensorer som arbetar med detektering av ljus, då ljus har en betydligt högre utbredningshastighet i luft och vakuum. [2]

### 3.3 Ljussensor

En ljussensor (även kallad fotocell) består av en högresistiv halvledare vilken absorberar fotoner. Baserat på mängden fotoner sensorn absorberar och frekvensen på dessa så ges det halvledande materialets bundna elektroner tillräckligt med energi för att göra en förflyttning till ledningsbandet. De fria elektronerna medför sedermera att elektricitet leds, vilket i sin tur resulterar i variationer i ljussensorns motstånd. Detta innebär att motståndet hos en ljussensor är högt i mörker, för att sedan minska i ljusare miljöer. [3]

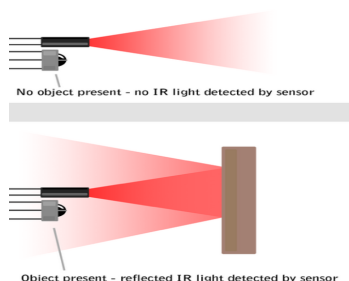
Ljussensorn omvandlar följaktligen infallande ljus till elektrisk ström där strömstyrkan varierar beroende på ljusets styrka. Av denna anledning är en ljussensor användbar vid detektering av konstraster på exempelvis en yta. [3]

En reflektorfotocell är en typ av ljussensor som, liksom ljussensorn, detekterar förändringar i ljusintensiteten. Det typiska i reflektorfotocellen är dock att den består av en ljuskälla, en mottagare, en signalkonverterare och slutligen en förstärkare. [4]

### 3.4 IR-sensor

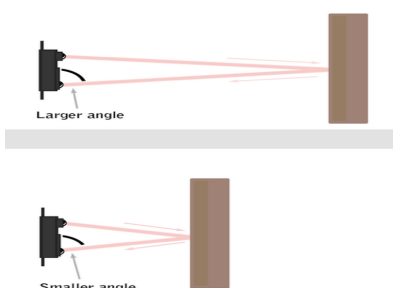
En IR-sensor är en tillämpning av en ljussensor som endast registrerar önskade våglängder i det infraröda spektrumet. I figur 2 illustreras hur en sensor, med hjälp av en LED som

sänder ut strålning med samma våglängd som den sensorn uppfattar, kan avgöra om det finns ett objekt i sensorns riktning. Detekteras reflekterad strålning betyder det att ett föremål finns i sensorns riktning. [5]



Figur 2: Illustration av lasersensor.

Vissa IR-sensorer går även att använda som vinkelmätningssensor, genom att sensorn mäter vinkeln av det reflekterade ljuset som strålningen av LED:en ger upphov till. Detta illustreras nedan i figur 3. Vinkelmätning ställer emellertid högre krav på sensorn, eftersom strålningen som sänds ut från sensorn behöver vara skarpare.



Figur 3: Vinkelmätning med lasersensor.

Ytterligare en möjlighet med en IR-sensor är att mäta ljusskillnader. Eftersom ljusa objekt reflekterar mer ljus än vad mörka gör kan sensorn reagera på reflektioner mot ett ljust objekt, men inte mot ett mörkt. [5]

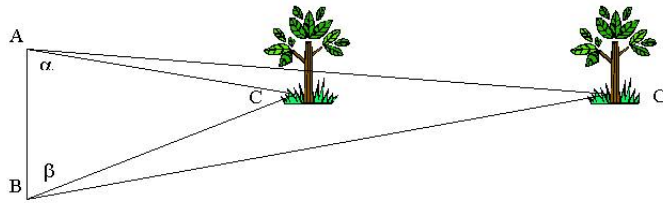
### 3.5 Lasersensor

Det finns olika typer av lasersensorer som använder olika tekniker och har olika funktioner. En typ är den elektrooptiska sensorn. Den har flera användningsområden, bland annat kan den anpassa ljuset av till exempel en lampa beroende av omgivningens ljus samt mäta avstånd till olika objekt. Avstånd mäts genom att sensorn sänder ut en laserstråle och mäter hur lång tid ( $t$ ) det tar innan den reflekteras och detekteras av sensorn. Avståndet ( $D$ ) räknas fram enligt ekvation 3, där  $c$  står för ljusets hastighet i luft. [6]

$$D = \frac{c \times t}{2} \quad (3)$$



En annan typ av lasersensor är den triangulerande sensorn. De är mer komplex och kan mäta avstånd på ett mer precist sätt än den elektrooptiska. Genom att sända ut en laserstråle från en punkt (A) och detektera den i en annan (B) erhålls två vinklar, ( $\alpha$ ) och ( $\beta$ ), enligt figur 4.



Figur 4: Illustration av triangulering.

Med hjälp av beräkningar enligt ekvation 4, där  $l$  är avståndet mellan A och B, fås det kortaste avståndet från sträckan AB till objektet C. [6], [7]

$$D = l \times \frac{\sin\alpha\sin\beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (4)$$

### 3.6 Gyroskop

För att mäta hur mycket rotation som sker gentemot omgivningen kan ett gyroskop användas. Genom att mäta vinkelhastigheten på rotationen ( $\omega$ ) kan storleken på rotationen ( $\phi$ ) uppskattas genom integrering, enligt ekvation 5, där  $t$  står för tiden som rotationen har pågått. [8]

$$\phi = \int_t \omega dt \quad (5)$$

Den gyroskopiska sensorn kan detektera vinkelhastighet genom att mäta förändringar i Corioliseffekten. Denna effekt uppstår då ett föremål gör en förflyttning på en roterande kropp under påverkan av gravitationen, där ett exempel på roterande kropp skulle kunna vara jordklotet. I enighet med Corioliseffekten så påverkas följaktligen ett föremål av en sidoacceleration då detta förflyttas längs rotationsaxeln på en roterande sfär. [9], [10]

För ett flertal mycket små elektromekaniska system används idag så kallade MEMS-gyroskop (MEMS är en förkortning för micro-electro-mechanical system). Denna typ av gyroskop är kapacitivt, vilket innebär att sensorn kapacitivt kan detektera hur ett föremål roterar. Gyroskopet är dessutom analogt där vinkelhastigheten för rotationsaxeln bestäms med hjälp av en inbyggd A/D-omvandlare, varpå en vinkelhastighet för ett föremål kan detekteras. [10]

### 3.7 Accelerometer

En accelerometer är en typ av sensor som används för att detektera ett föremåls acceleration. När ett föremål går från stillastående till någon hastighet så börjar mycket små kristaller (piezoelektriska kristaller) inuti sensorn att vibrera. Beroende på intensiteten av kristallernas vibration alstras en spänning vilken är proportionerlig mot föremålets acceleration, varpå densamma kan bestämmas. [11]

För små elektromekaniska system används vanligen en MEMS-accelerometer. I likhet med MEMS-gyroskopet är även denna typ av accelerometer kapacitiv, och liksom ett gyroskop har accelerometern en massa upphängd i en konstruktion. Förändringar sensors kapacitans kan sedermera detekteras vid ändringar av föremålets hastighet. [12]

## 4 Fallet undsättningsrobot

Då det finns ett flertal olika typer av sensorer erfordras en god uppfattning om vad som är nödvändigt, prestandamässigt, för ändamålet. En del sensorer är mer precisa men dyra och komplicerade, medan andra är billiga och enkla men har brister i kvalitet. I vissa fall är även designen viktig och ställer således speciella krav på de sensorer som ska användas. I följande kapitel beskrivs vilka sensorer som passar för en undsättningsrobot.

### 4.1 Avståndssensor

Det finns flera olika sensorer som klarar av att mäta avstånd till omgivande objekt. Här följer en beskrivning vilken typ av sensor som passar bäst till just en undsättningsrobot.

#### 4.1.1 SRF04

Ultraljudssensorn SRF04 mäter avstånd från 3 cm till 300 cm med hjälp av ultraljud. Den har en detektionskon på cirka 30°, vilket gör att den kan upptäcka objekt trots att ekot inte studsar optimalt (vinkelrätt) mot ett objekt och den implementeras enkelt med en I<sup>2</sup>C-buss. [13]

#### 4.1.2 GP2D120

IR-sensorn GP2D120 är en enkelt utformad sensor som tillverkas för att precisionsmäta avstånd på kortare avstånd, typiskt mellan 4 cm och 30 cm. Att mätintervallet är jämförelsevis litet är en begränsning, men det gör samtidigt att kvaliteten av mätningar inom intervallet kan göras mer precist. [5], [14]

För att kunna reglera på ett önskat sätt behöver roboten veta hur den förhåller sig i förhållande till sidoväggarna. Eftersom roboten ska kunna köra i mitten av korridorer med cirka 40 cm bredd och roboten själv är ungefär 20 cm bred, kommer ett avstånd mellan sidoväggarna och roboten på 10 cm vara önskvärt. För detta är IR-sensorn GP2D120 bra, eftersom den precist kan mäta avstånd till objekt som befinner sig på ungefär 10- till 20 cm avstånd.

Mätandet av avstånd sker genom att IR-ljus med en viss våglängd skickas ut från sensorn, reflekteras mot väggarna för att sedan detekteras av sensorn. Genom att mäta den vinkelreflektionen sker med kan avståndet till väggen bedömas. GP2D120 är relativt enkel och har enbart två ingångar som ska kopplas till en 5 volts strömkälla, respektive en jord. Utsignalen är analog i form av spänning och på grund av mängden högfrekvent brus i signalen måste den lågpasstras. [14]

En svaghet hos sensorn är att den enbart kan användas inom ett litet intervall, vilket gör den till ett dåligt alternativ i en osäker omgivning eller där avstånd som ska mätas inte inkluderas i intervallet. Sensorn är även känslig för högfrekvent brus, vilket ofta existerar i omgivningen. Detta kan dock förebyggas genom att använda sig av lågpasfilter. [14]

### 4.1.3 LIDAR-Lite v2

Lidar-Lite v2 är en kraftfull lasersensor av begränsad storlek med ett flertal funktioner, till exempel avstånds- och hastighetsmätning av objekt. Den har en räckvidd på drygt 40 m med en felmarginal på  $\pm 0,025$  m och klarar även av att mäta signalstyrka på detta avstånd. [15]

Denna lasersensor kan mäta avstånd till objekt med hög precision. Eftersom laser rör sig med ljusets hastighet och sensorn kan implementeras med avbrottshantering så sker mätningarna snabbt. Det är en stor fördel om flera sensorer delar på samma processor, eftersom endast en operation kan ske i taget. LIDAR-Lite v2 är mer avancerad och därmed dyrare än till exempel GP2D120, vilket gör att den inte bör användas om hög kvalitet efterfrågas. På en undsättningsrobot kan sensorn användas för att mäta avstånd framåt till nästa objekt. Den kan även fästas på ett servo och kan på så sätt scanna av  $360^\circ$  av ett rum. [15]

Med hjälp av pulsbreddsmodulering kan förhållandet mellan en hög signal (en etta) och en låg signal (en nolla) bestämmas. Utifrån denna kvot kan sensorn kalibreras och en förhållande mellan en kvot och ett avstånd kan tas fram. Alternativt går det att mäta tiden för en hög signal och använda sig av att LIDAR-Lite v2 är förprogrammerat på så sätt att en mikrosekund motsvarar en centimeter. [15]

## 4.2 Detektering av mål

Att identifiera objekt kan göras med hjälp av flera olika tekniker och sensorer, som alla har sina fördelar och nackdelar. I detta avsnitt följer en beskrivning av hur olika sensorer passar för detektering av ett mål på en undsättningsrobot.

### 4.2.1 FDC1004

Sensorn FDC1004 är en sensor av kapacitiv typ. Det kan implementeras med hjälp av en I<sup>2</sup>C-buss och kommunicerar därför mätdata digitalt till undsättningsrobotens processorenhet. Då sensorn är kapacitiv så kan den detektera olika typer av material med varierande kapacitans. [16], [17]

### 4.2.2 IRM-8601S

IR-detektorn IRM-8601-S används för att identifiera en källa som sänder ut IR-signaler. Utformandet av sensorn är relativt enkel med tre ingångar, en som kopplas till en 5 V spänningskälla och en som ansluts till jord. I och med att den är så pass enkelt utformad med begränsat användningsområde är den också relativt billig. [18]

#### 4.2.3 SFH300

IR-sensorn SFH300 är en fotodiod med hög linjäritet som kan detektera våglängder i intervallet mellan 420 nm till 1130 nm. Detta betyder att denna fotodiod, utöver för ögat synligt ljus, även kan detektera infraröda våglängder. SFH300 levererar en analog spänning som utsignal, vilket innebär att en AD-omvandling är nödvändig innan en digital signal kan procesas. [19]

Precis som IRM-8601S detekterar SFH300 våglängder inom ett visst intervall, 420 nm till 1130 nm. Detta intervall inkluderar synligt ljus och även IR-vågor. Den kan alltså användas på ett bredare plan än IRM-8601S, vilket kan vara nödvändigt då det är säkert vad det är som ska detekteras. [19]

#### 4.2.4 BPX43-3

Liksom SFH300 så är även Siemens BPX43-3 en fotodiod som kan detektera infraröda våglängder. Idealt våglängdsintervall för denna fotodiod ligger mellan 450 nm och 1100 nm. Utsignalen genereras i form av spänning, varför AD-omvandling krävs för att processa utsignalen. Utpänningen ska emellertid vara mycket linjär i förhållande till ljusstyrkan som dioden får som insignal. [20]

### 4.3 Vinkelhastighetsmätning

Ett flertal olika sensorer kan användas för att avgöra undsättningsrobotens position och orientering. Vanligast förekommande för detta ändamål är olika typer av gyroskopiska sensorer. Vinkelhastighetsmätning är av betydelse då roboten bör känna till sin position vid exempelvis kurvtagning i ett grottsystem.

#### 4.3.1 MPU-6050

MPU-6050 är en sensor som består av 3 gyroskop, 3 accelerometrar och en AD-omvandlare för varje enhet. För att kunna vara så exakt som möjligt i beräkningarna, både vid långsamma och snabba rörelser, kan användaren själv ställa in vilka intervall gyrot och accelerometern ska fokusera på. Sensorn kan kommunicera via ett I<sup>2</sup>C-buss-interface. [21]

#### 4.3.2 MLX90609

Sensorn MLX90609 är ett exempel på en sensor som består av ett gyroskop med uppgift att avgöra ett föremåls momentana vinkelhastighet, upp till 300°/s. Sensorn kommunicerar vinkelhastigheten i form av ett bitmönster via ett SPI-interface (Serial Peripheral Interface) till en masterenhet (anledningen till att den externa enheten väljs till master beror på att MLX90609 är förprogrammerad att alltid agera slav vid kommunikation till externa enheter). [22]

## 4.4 Acceleration

För detektering av undsättningsrobotens acceleration används främst sensortypen accelerometer. I nästföljande stycke så ges förslag på eventuell accelerometer till roboten.

### 4.4.1 MPU-6050

Eftersom sensorn av modell MPU-6050 även består av 3 accelerometrar så finns möjligheten att även erhålla värden på robotens acceleration. Även denna information skulle i sådana fall skickas via det I<sup>2</sup>C-buss-interface som kommer förprogrammerat med sensorenheten. [21]

## 5 Resultat och slutsatser

En förutsättning för att en undsättningsrobot ska kunna operera på ett effektivt sätt är att ett flertal olika typer av sensorer behövs. De viktigaste egenskaperna hos en undsättningsrobot är att den ska kunna navigera och reglera på ett effektivt sätt samt att den kan hitta det objekt som eftersöks. Eftersom roboten ska kunna svänga är även en sensor som mäter vinkelhastighet viktig.

För att roboten ska kunna regleras erfordras data som beskriver den omgivning som undsättningsroboten navigerar i. Ett effektivt sätt att göra detta på är att fästa fyra avståndssensorer, två på höger och två på vänster sida av roboten, för att ha koll på avstånd till sidoväggarna. Om avståndet från roboten till väggarna uteslutande ligger mellan 4- och 30 cm är GP2D120 ett bra alternativ. Givet att avståndet istället är utanför detta intervall, eller helt okänt, är en mer avancerad sensor, liksom LIDAR-Lite v2, att föredra. En ultraljudssensor är ett bra val om miljön som roboten arbetar i är smutsig och i miljöer som är skiftande. Valet av IR-sensorn GP2D120 motiveras följaktligen av att undsättningsroboten ska navigera i rena miljöer, utan chans att kunna bli smutsig. Korridorerna som den ska navigera i är därtill 40 cm breda, varför GP2D120 är bra alternativ.

För att roboten inte ska krocka, och för att den ska avläsa omgivningen så effektivt som möjligt, är det av stor vikt att en avståndssensor installeras. Avståndssensorn, i denna mening, har som angivelse att mäta avstånd till nästa vägg framåt. I detta fall räcker inte de avstånd som sensorn GP2D120 kan detektera, utan en ultraljudssensor med mer precis detektering på längre avstånd är önskvärt. För detta ändamål så är även lasersensorn LIDAR-Lite v2 ett bra alternativ. Båda sensorerna uppfyller följaktligen detta syfte, men eftersom en lasersensor är betydligt snabbare än en ultraljudssensor är LIDAR-Lite v2 en bättre sensor för detta ändamål och är således att föredra.

Valet av sensor för detektering beror på vilket typ av objekt som ska detekteras. Är det odefinierat är en kapacitiv sensor ett naturligt val, medan en IR-sensor lämpar sig bäst för att detektera IR-ljus. Då roboten i detta fall ska upptäcka en källa som sänder ut IR-ljus är IRM-8601S en passande sensor, som dessutom är billig, trivial i sitt utförande samt enkel att installera.

Om roboten kommer fram till en korsning och ska svänga, med hjälp av rotation, behöver den känna av hur snabbt rotationen sker. Två sensorer som kan mäta vinkelhastighet är MPU-6050 och MLX90609. Beträktade som gyroskopa sensorer är dessa relativt lika i sin utformning. MPU-6050 kan dock utöver vinkelhastighet även mäta acceleration, via tre stycken accelerometrar. I fallet med denna undsättningsrobot är denna funktion emellertid överflödigt, varför MLX90609 är att föredra.

## Referenser

- [1] L. K. Baxter, "Capacitive sensors," March 2016. [Online]. Available: <http://www.capsense.com/capsense-wp.pdf>
- [2] C. Canali, G. D. Cicco, B. Morten, M. Prudenziati, and A. Taroni, "A temperature compensated ultrasonic sensor operating in air for distance and proximity measurements," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. IE-29, no. 4, pp. 336–341, Nov 1982.
- [3] T. Otto, G. Ruan, U. Fritzsche, C. Radehaus, and T. Gessner, "Technology, test and application of stack photoresistor colour sensors," in *Circuits and Systems, 1997. ISCAS '97., Proceedings of 1997 IEEE International Symposium on*, vol. 4, Jun 1997, pp. 2757–2760 vol. 4.
- [4] P. M. Gary Frigyes, Ed Myers and J. Allison, "Fundamentals of photoelectric sensors," March 2016. [Online]. Available: <http://www.automation.com/library/articles-white-papers/sensors-sensing-technologies/fundamentals-of-photoelectric-sensors>
- [5] C. M. R. Academy, "What is an ir sensor?" March 2016. [Online]. Available: [http://education.rec.ri.cmu.edu/content/electronics/boe/ir\\_sensor/1.html](http://education.rec.ri.cmu.edu/content/electronics/boe/ir_sensor/1.html)
- [6] M. T. I. instruments, "Laser triangulation sensors," March 2016. [Online]. Available: <http://www.mtiinstruments.com/pdf/appnotes/lasersensor.pdf>
- [7] R. Genseberger, "Measuring distances by parallax method," July 2004. [Online]. Available: <http://eaae-astronomy.org/WG3-SS/WorkShops/Triangulation.html>
- [8] K. Sato, A. Ono, and Y. Tomikawa, "Experimental study of gyro sensor using double-ended tuning fork quartz resonator," in *Frequency Control Symposium and Exposition, 2004. Proceedings of the 2004 IEEE International*, Aug 2004, pp. 575–578.
- [9] H. Lv, "Effects of coriolis force and background current on vertical constructure of internal waves," in *Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on*, Sept 2011, pp. 3695–3698.
- [10] T. Yin, H. Wu, Q. Wu, H. Yang, and J. Jiao, "A tia-based interface for mems capacitive gyroscope," in *ASIC (ASICON), 2011 IEEE 9th International Conference on*, Oct 2011, pp. 149–152.
- [11] P. A. Wlodkowski, K. Deng, M. Kahn, and M. T. Chase, "The development of mesoscale accelerometers with single crystal piezoelectric materials," in *Applications of Ferroelectrics, 2000. ISAF 2000. Proceedings of the 2000 12th IEEE International Symposium on*, vol. 2, 2000, pp. 565–567 vol. 2.
- [12] G. D. Saxena and V. Thamarai, "Modeling and simulation of high performance sixth order sigma-delta mems accelerometer," in *Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 2011 International Conference on*, Oct 2011, pp. 527–531.
- [13] *SRF04 Ultrasonic Range Finder*, Devantech Limited, Maurice Gaymer Road, Attleborough, Norfolk NR17 2QZ, England, September 2003.



- 
- [14] *GP2D120 - Optoelectronic Device*, SHARP Corporation, 22-22 Nagaike-Cho, Abeno-Ku, Osaka 545-8522, Japan, January 2006.
  - [15] *Technology and System Hardware Overview*, PulsedLight, Bend, Oregon USA, May 2015.
  - [16] *FDC1004 4-Channel Capacitance-to-Digital Converter for Capacitive Sensing Solutions*, Texas Instruments Incorporated, Executive Offices 12500 TI Boulevard Dallas, Texas 75243, USA, April 2015.
  - [17] D. Wang, "FDC1004: Basics of Capacitive Sensing and Applications," *Texas Instruments*, [www.ti.com](http://www.ti.com), p. 12, 2014.
  - [18] *Miniature Type IRM(Lateral) IRM-8601S*, Everlight, Siemensallee 84, 76187 Karlsruhe, Germany, January 2016.
  - [19] *Silicon NPN Phototransistor*, OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Co. OHG, Wernerwerkstrasse 2, D-93049 Regensburg, Germany, Februari 2001.
  - [20] *Silicon NPN Phototransistor*, Siemens AG, Wittelsbacherplatz 2, D-80333 Munich, Germany, Februari 1999.
  - [21] *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, Revision 3.1*, InvenSense Inc., 1197 Borregas Ave, Sunnyvale, CA 94089 U.S.A., October 2011.
  - [22] *Angular Rate Sensor (Standard version)*, Melexis NV, Sint Krispijnstraat z/n, B-8900 Ieper, Belgium, February 2008.