

# Förstudie

Sensorer för en autonom robot

Jesper Otterholm, Filip Östman

Version 1.1

Status

|          |  |  |
|----------|--|--|
| Granskad |  |  |
| Godkänd  |  |  |

## PROJEKTIDENTITET

2015/VT, Grupp 1

Tekniska högskolan vid Linköpings universitet, ISY

### Gruppdeltagare

| Namn                  | Ansvar                 | Telefon       | LiU-id   |
|-----------------------|------------------------|---------------|----------|
| Jesper Otterholm      | Projektledare (PL)     | 073 800 03 17 | jesot351 |
| Lage Ragnarsson       | Dokumentansvarig (DOK) | 073 972 36 35 | lagra033 |
| Erik Sköld            |                        | 073 905 43 43 | erisk214 |
| Emma Söderström       |                        | 073 396 21 72 | emmso236 |
| Matilda Östlund Visén |                        | 073 817 15 90 | matos000 |
| Filip Östman          |                        | 072 203 33 07 | filos433 |

**E-postlista för hela gruppen:** jesot351@student.liu.se

**Kund:** Institutionen för systemteknik, Linköpings universitet

**Kontaktperson hos kund:** Kent Palmkvist, 3B:502, 013-28 13 47, kentp@isy.liu.se

**Kursansvarig:** Thomas Svensson, 3B:528, 013-28 13 68, thomass@isy.liu.se

**Handledare:** Olov Andersson, 3B:504, 013-28 26 58, olov@isy.liu.se

# Innehåll

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                                | <b>1</b>  |
| 1.1      | Bakgrund . . . . .                              | 1         |
| 1.2      | Syfte och frågeställning . . . . .              | 1         |
| 1.3      | Avgränsningar . . . . .                         | 2         |
| 1.4      | Metod . . . . .                                 | 2         |
| 1.5      | Definitioner . . . . .                          | 2         |
| <b>2</b> | <b>Avståndsmätning</b>                          | <b>2</b>  |
| 2.1      | IR-sensor . . . . .                             | 3         |
| 2.1.1    | Konstruktion . . . . .                          | 3         |
| 2.1.2    | Funktionalitet . . . . .                        | 3         |
| 2.2      | Ultraljudssensor . . . . .                      | 5         |
| 2.2.1    | Konstruktion . . . . .                          | 5         |
| 2.2.2    | Funktionalitet . . . . .                        | 5         |
| <b>3</b> | <b>Positionsbestämning</b>                      | <b>6</b>  |
| 3.1      | Tröghetsnavigering . . . . .                    | 6         |
| 3.1.1    | Samplingshastighet och precision . . . . .      | 6         |
| 3.1.2    | Framtagning av position och rotation . . . . .  | 6         |
| 3.1.3    | Störkänslighet och omgivande hårdvara . . . . . | 6         |
| 3.2      | Pulsgivare . . . . .                            | 7         |
| 3.2.1    | Samplingshastighet och precision . . . . .      | 8         |
| 3.2.2    | Framtagning av position och rotation . . . . .  | 8         |
| 3.2.3    | Störkänslighet . . . . .                        | 9         |
| <b>4</b> | <b>Resultat och slutsats</b>                    | <b>9</b>  |
| 4.1      | Avståndsmätning . . . . .                       | 9         |
| 4.2      | Positionsbestämning . . . . .                   | 9         |
|          | <b>Referenser</b>                               | <b>10</b> |

Dokumenthistorik

| Version | Datum      | Utförda förändringar | Utförda av | Granskad |
|---------|------------|----------------------|------------|----------|
| 0.1     | 2015-03-05 | Första utkast.       | JO, FÖ     |          |
| 1.0     | 2015-03-31 | Första version.      | JO, FÖ     |          |
| 1.1     | 2015-04-20 | Språklig justering.  | JO, FÖ     |          |

## Sammanfattning

I denna förstudie ställs olika sensortyper mot varandra med syftet att bestämma vilka sensorer som är bäst lämpade för en robot som ska navigera i en labyrint uppbyggd av 40x40 cm block. För mätning av avstånd till närliggande väggar undersöks de två alternativen IR- och ultraljudssensorer. Dessa mätvärden används för reglering samt kartering av banan. För bestämning av robotens position och orientering undersöks tröghetsnavigering och pulsgivare. Parametrar såsom implementerbarhet, precision, störningskänslighet och samplingshastighet jämförs hos de olika sensorerna.

Undersökningen resulterar i valen att använda IR-sensorer för avståndsmätning och pulsgivare för framtagning av position och rotation.

# 1 Inledning

Denna skrivuppgift är en del i kursen TSEA56 - Kandidatprojekt i elektronik. Projektet i sin helhet ska ge övning inom elektronikkonstruktion såväl som projektstyrning genom design och konstruktion av en autonom robot. Skrivuppgiften är en förstudie och ämnar ge övning inom vetenskapligt och tekniskt skrivande, gällande både innehåll och språkbruk, och på så vis förbereda oss inför kommande examensarbete och samtidigt ge nyttig information för hur roboten ska konstrueras.

## 1.1 Bakgrund

Roboten som ska konstrueras är en autonom undsättningsrobot som ska lokalisera nödställda i en labyrintliknande bana [1] och sedan frakta förnödenheter till dessa. Detta uppdrag kan delas in i två mindre deluppdrag. Först ska roboten åka in i en okänd bana, kartlägga omgivningen och hitta nödställda. Därefter ska roboten återvända till starten, lasta förnödenheter och sedan åka kortaste sträckan tillbaka till de nödställda, lämna paketet och åka tillbaka till starten. För att ta sig igenom banan behöver roboten kunna känna av omgivningen för att hålla ordning på position, fart och riktning. Detta görs genom att montera ett antal sensorer med olika funktion på roboten. Roboten ska konstrueras i ett antal moduler som var och en har ansvar för olika delar av robotens funktion. Denna studie fokuserar på sensormodulen som får in data från omgivningen, behandlar datan och skickar vidare den behandlade datan till de övriga modulerna, styr- och kommunikationsmodulerna. Dessa moduler använder sedan denna data som beslutsunderlag för kommande handlingar.

Roboten kommer konstrueras på ett runt chassi där de olika modulerna monteras på höjden, ovanför bottenplattan. Plattformens diameter är 5". Två hjul, placerade nära skivans utkant, står för framdrivningen medan två stödkulor säkerställer robotens balans. Hjulen drivs individuellt av varsin utväxlad DC-motor.

Mikrokontrollern, MCU:n, som kommer användas i sensormodulen är en ATmega1284p, med 40 anslutningspinnar. Av dessa är 32 anslutningspinnar tillgängliga för in- och utgång av signaler från exempelvis sensorer. Processorn har en beräkningskapacitet på 20 MIPS och inbyggd 8-kanals AD-omvandlare [2].

## 1.2 Syfte och frågeställning

Denna förstudie ämnar undersöka olika val av sensorer för avståndsmätning samt positionsbestämning och är tänkt att ligga till grund för de designbeslut som tas i samband med framtagandet av en sensormodul. Detta leder till följande frågeställningar:

*1. Hur förhåller sig IR- och ultraljudsensorer till varandra vid avståndsmätning?*

Respektive sensortyp utvärderas med avseende på enkelhet i att översätta mätvärden till faktiska avstånd, precision, störkänslighet, samplingshastighet, avsökningssektor samt vilka krav på omgivande hårdvara som ställs.

*2. Hur förhåller sig tröghetsnavigering och pulsgivare till varandra vid bestämning av absolut position och orientering?*

Respektive metod utvärderas med avseende på modell för omvandling av sensorvärden till önskade storheter, precision, störkänslighet, samplingshastighet, drift och möjlig felhantering samt vilka krav på omgivande hårdvara som ställs.

### 1.3 Avgränsningar

Det finns ett stort antal sensorer som fungerar för detta ändamål men i denna rapport begränsas sensorvalen av tillgänglighet och pris. En annan faktor som vägs in är den beräkningskraft som krävs för att operera aktuell sensor, då en AVR-processor har tämligen begränsade beräkningsmöjligheter. Sensorernas fysiska dimensioner får ej överstiga robotens kapacitet i vikt eller monteringsyta. Avståndssensorerna ska operera inom bestämda intervall, vilka tydliggörs i banspecifikationen [1].

### 1.4 Metod

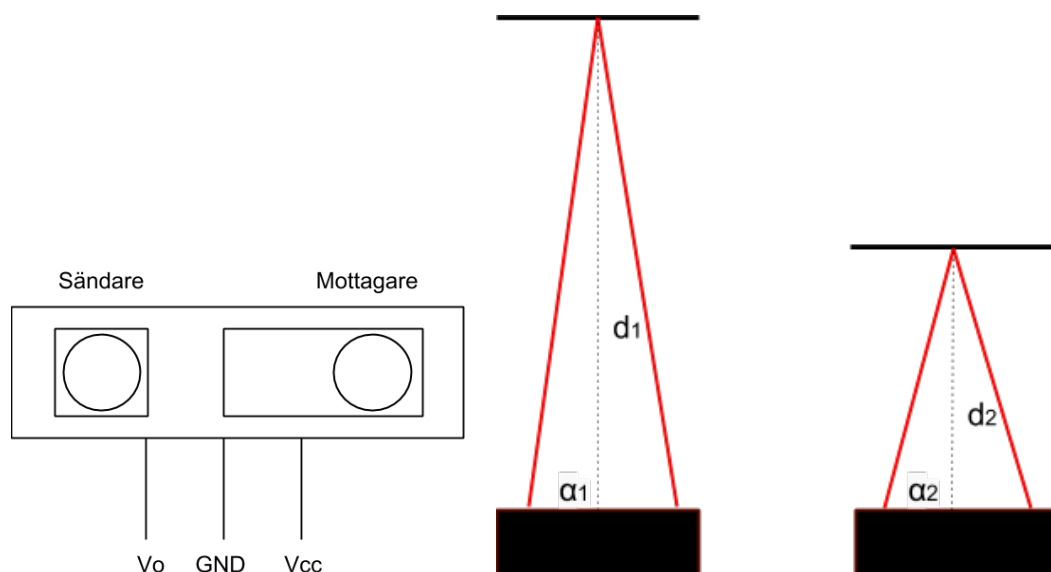
Denna förstudie utgår ifrån vetenskapliga artiklar, publikationer och datablad för att värdera de olika sensoralternativen.

### 1.5 Definitioner

- IR - infrarött
- MCU - mikrokontroller
- AVR - en typ av mikrokontroller
- MIPS - miljoner instruktioner per sekund
- AD-omvandlare - Analog-till-Digital-omvandlare
- IMU - Inertial measurement unit

## 2 Avståndsmätning

För bestämning av avstånd mellan roboten och omgivande väggar krävs sensorer. Det finns ett stort antal möjliga sensorer som skulle kunna genomföra detta. I denna förstudie begränsas urvalet till IR- samt ultraljudssensorer. Dessa sensorer finns tillgängliga för projektet, har lämpliga dimensioner för montering på roboten och lämpar sig för uppmätning av de avstånd som uppkommer under robotens uppdrag (0,1-3 m).



Figur 1: Illustration över IR-sensors utseende och funktion [3].

## 2.1 IR-sensor

IR-sensorerna som finns tillgängliga mäter avstånd i området 10-80 cm. Samplingsfrekvensen är 25 Hz och resulterar i ett analogt mätvärde i området 0-3 V. Detta mätvärde kopplas till mikrokontrollerns AD-omvandlare där den analoga spänningen omvandlas till ett digitalt mätvärde.

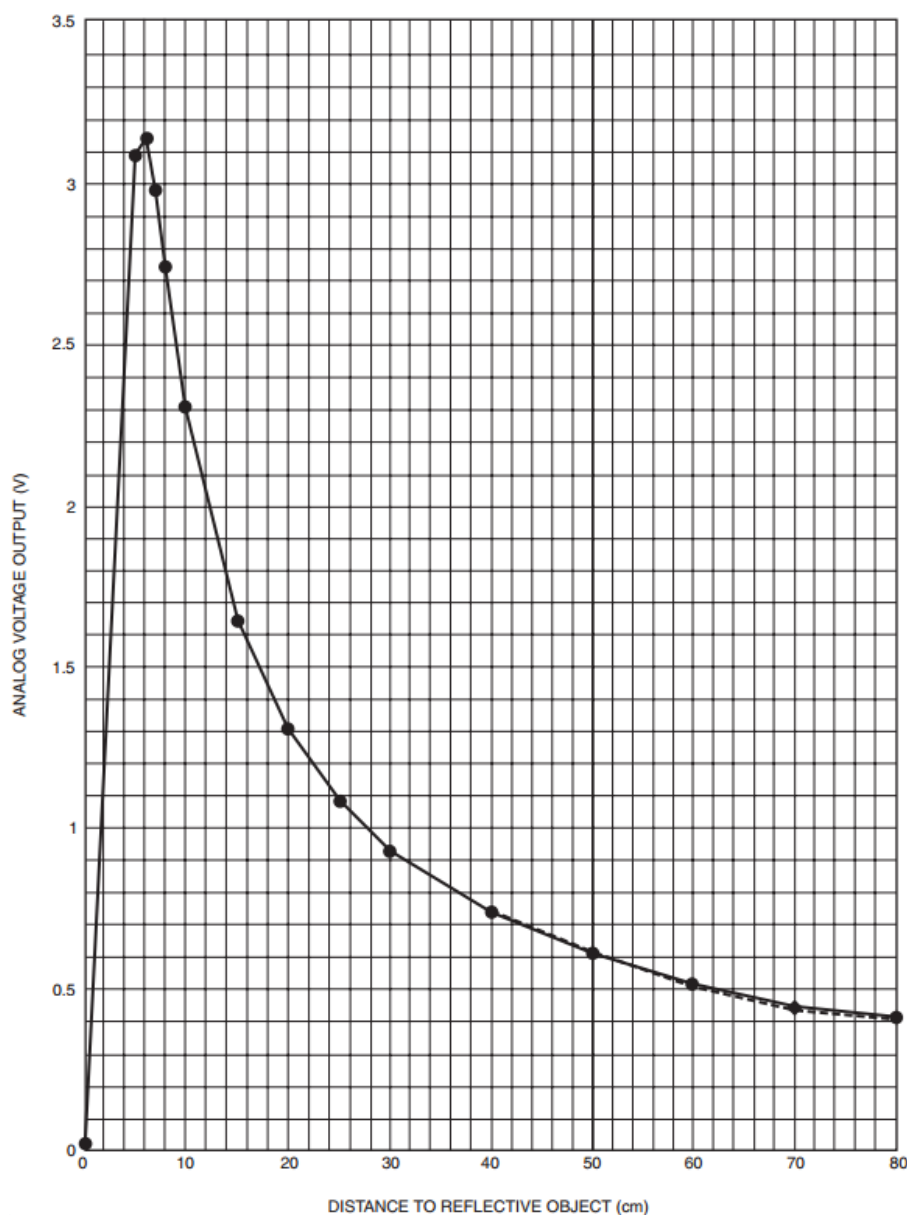
### 2.1.1 Konstruktion

IR-sensorn består av en sändare och en mottagare. Sändaren skickar iväg IR-ljus som består av våglängder kring 850 nm, alltså utanför det synliga spektrumet. När ljuset sedan reflekteras mot en yta och återvänder till sensorn detekteras dessa våglängder av mottagaren. Genom att studera vinkeln som det inkommande ljuset har vid mottagaren kan ett avstånd till det uppmätta objektet beräknas, se högra bilden i figur 1 där  $\alpha_1 > \alpha_2$  vilket ger att  $d_1 > d_2$ . Avståndet översätts till en spänning som läggs på utgången  $V_0$ . IR-sensorn kräver även matningsspänning ( $V_{cc} = 5\text{ V}$ ) samt anslutning till jord (GND), se vänstra bilden i figur 1.

### 2.1.2 Funktionalitet

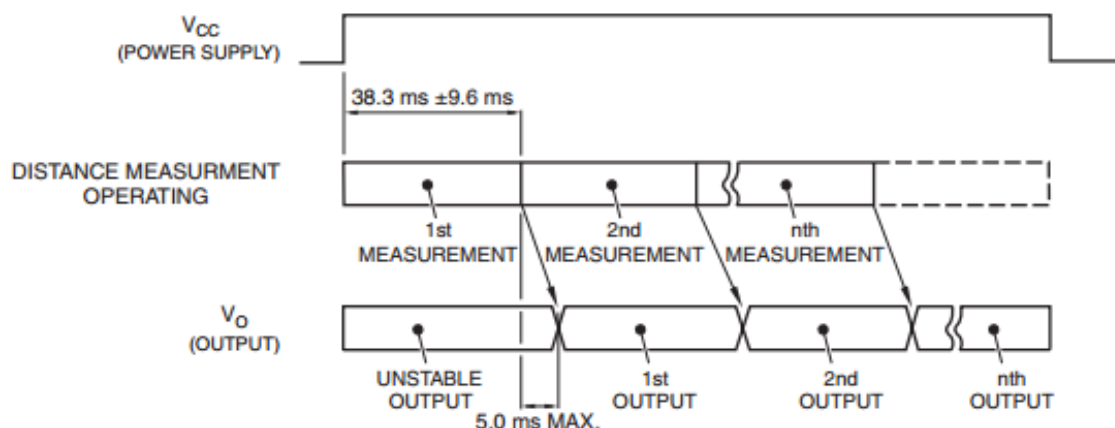
Omvandlingen från uppmätt avstånd till utspänning  $V_0$  är ej linjär utan följer utseendet i figur 2. Denna sensor är konstruerad för att operera i 10-80 cm området vilket grafen i figur 2 också antyder. Grafen visar att  $V_0$  ej är entydigt bestämt. Exempelvis ger avstånden 4 cm och 10 cm ungefär samma spänning som utsignal. Avstånd större än 80 cm blir svåra att tyda eftersom kurvan planar ut och ger mindre utslag för förändringar på större avstånd. Det beror på att små avståndsförändringar på stora avstånd ger en mindre vinkelförändring, se figur 1. När sensorn får matningsspänning genereras cirka 25 mätvärden i sekunden. Fi-





Figur 2: Utsignal som funktion av uppmätt avstånd [3].

Figur 3 beskriver händelseförloppet då sensorn är aktiv. När mikrokontrollern vill starta mätningar ges matningsspänning till sensorn som kort därefter gör första mätningen. Under första mätningen är värdet på  $V_0$  instabilt för att sedan kort därefter erhålla värdet av den första mätningen. Detta värde ligger kvar på  $V_0$  tills det andra mätvärdet detekterats av mottagaren och läggs på  $V_0$ . Händelseförloppet fortsätter på samma sätt tills sensorns matningsspänning bryts. Ett problem med IR-sensorer är att de blir opålitliga utomhus där solens strålar stör mottagaren [4]. Eftersom utsignalen från sensorn ej är linjär och beräkningskapaciteten i MCU:n är begränsad görs lämpligen en tabell med ett stort antal mätpunkter ur vilken MCU:n kan slå upp uppmätt värde för att minska beräkningarna som görs för avståndsbestämning.



Figur 3: Händelseförlopp då sensorn får matningsspänning [3].

## 2.2 Ultraljudssensor

Den andra sensortypen som undersöks i denna förstudie är ultraljudssensorer, som istället för ljus använder ljud för avståndsmätning. Ultraljud är ljud med högre frekvens än 20 kHz, vilket är högre frekvenser än vi människor kan uppfatta.

### 2.2.1 Konstruktion

Likt IR-sensorn består även ultraljudssensorn utav en sändardel och en mottagardel. Sändaren skickar iväg ljud som reflekteras mot objekt i omgivningen och återvänder till mottagaren. Eftersom ljudhastigheten är känd, cirka 340 m/s, kan avståndet beräknas med hjälp av tiden det tog för ultraljudet att färdas fram och tillbaka från objektet. Ultraljudssensorn som finns tillgänglig för projektet är SRF04 som använder fyra av fem anslutningar: matningsspänning 5 V, jord 0 V, trigger-ingång samt utgång för eko [5]. Ingång samt utgång kopplas till MCU:n.

### 2.2.2 Funktionalitet

Mätningen startas då sensorn får en 10  $\mu$ s puls på ingången och skickar då ut en skur bestående av ultraljud med 40 kHz frekvens i en kon med cirka 30° spridning. Kort därefter går utgången hög och dras sedan låg när ljudet har detekterats av mottagaren. Om inget ljud återvänder inom cirka 36 ms avbryts mätningen och utgången dras låg. Detta ger en uppdateringsfrekvens runt 20-25 Hz. SRF04 har en räckvidd mellan 3 cm och 3 m. Ett problem med dessa ultraljudssensorer är att de kan störa varandra om två eller fler sensorer är i drift samtidigt [6]. Sensorerna skickar ut skurer av ljudvågor med samma frekvens och det finns inget sätt att skilja dem åt, därför kan ljudvågorna studsas på väggar och andra objekt och därefter komma till fel sensor som då uppfattar dessa ljudvågor som sina egna, vilket gör att MCU:n uppfattar objekt som inte existerar. Det är även problematiskt att använda dessa sensorer om det finns ljudabsorberande material i omgivningen eftersom ljudet då inte återvänder som förväntat [4].

## 3 Positionsbestämning

För att roboten ska kunna genomföra sitt uppdrag är det viktigt att den känner till hur den rör sig för att kunna bilda en uppfattning om var i labyrinten den befinner sig. För att åstadkomma detta undersöker vi här två sensortyper: tröghetsnavigering och pulsgivare. De olika varianterna arbetar på fundamentalt skilda vis men delar ändå en del nackdelar och svårigheter när det kommer till framtagning av position och orientering.

### 3.1 Tröghetsnavigering

Vid tröghetsnavigering utnyttjas accelerometrar och gyroskop för att mäta förändringar i acceleration respektive rotation. Båda sensorerna mäter vanligtvis respektive storhet i tre dimensioner och en kombinerad enhet, så kallad *IMU* (*Inertial measurement unit*), sägs då ha sex frihetsgrader - tre för acceleration och tre för rotation.

#### 3.1.1 Samplingshastighet och precision

Accelerometern fungerar konceptuellt som en massa på en fjäder där massan komprimerar fjädern då systemet accelereras. Denna kompression mäts för att generera en elektrisk signal. Vanligt är att använda piezoelektriska material för att åstadkomma detta betende. Gyroskop för användning i en IMU implementeras även de ofta i piezoelektriska material då dessa kan göras små och kompakta. Detta innebär att både accelerometrar och gyroskop kan integreras på ett och samma chip.

Ofta kombineras dessa sensorer med elektronik för att AD-omvandla de analoga signalerna och kommunicera dessa värden till andra enheter via kända gränssnitt som I2C och SPI. Det är ofta denna elektronik som avgör tillgänglig precision och samplingshastighet, vilket ofta resulterar i 10-16 bitar upplösning med en känslighet på några tusendels grader per sekund alternativt tusendels  $g$  samt uppdateringsfrekvenser upp emot några kilohertz.

#### 3.1.2 Framtagning av position och rotation

En accelerometer mäter egenacceleration, dvs. acceleration relativt en inertialram. Denna inertialram är jorden, vilket innebär att sensorn i vila detekterar accelerationen  $1g \approx 9,82 \text{ m/s}^2$  uppåt. För att erhålla sensorns position subtraheras detta värde från sensorns mätning och resultatet integreras därefter två gånger i tiden. På motsvarande sätt integreras den vinkelhastighet som fås av gyroskopet en gång för att erhålla aktuell orientering.

#### 3.1.3 Störkänslighet och omgivande hårdvara

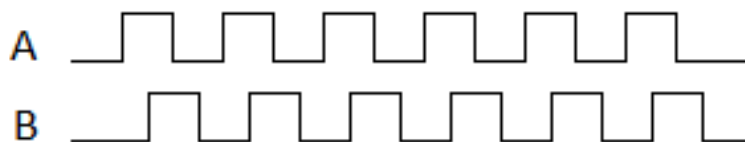
Den numeriska integration som utförs är känslig för numeriska fel, vilket är speciellt tydligt i framtagningen av avlagd sträcka då detta involverar en dubbelintegration.

Beräkningarna är även relativa vilket leder till ackumulerande fel. Enligt [7] har sensorerna en *bias* som förskjuter resultatet. Kompensering för denna förskjutning försvåras av att den både varierar från körning till körning och med tiden under en och samma körning. Sensorerna har även en given *range* som anger vilka arbetsområden de har. Om dessa gränser överstigs tappas noggrannhet i mätresultaten [7].

För att öka pålitligheten i mätvärdena och minska inverkan av diverse felkällor kan olika typer av filtrering utnyttjas. Ett vanligt alternativ är Kalmanfilter [8] vilket kombinerar äldre mätvärden från ett flertal sensorer (både accelerometrar och gyroskop i fallet med en IMU) för att bygga upp trovärdighet i mätresultaten. Denna trovärdighet utnyttjas för att avgöra inverkan av nästkommande mätvärden. Eftersom algoritmen är iterativ och endast utgår ifrån tidigare beräknade resultat och nya mätvärden lämpar den sig att implementeras i ett realtidssystem, men då ofta med en dedikerad mikrokontroller.

### 3.2 Pulsgivare

En pulsgivare detekterar rotation hos den axel den monterats på och genererar digitala pulser därefter. Två pulser, 90° ur fas, kan användas i så kallad kvadraturavkodning för att bestämma rotationsriktning. En idealiserad illustration av de två kanalerna med pulser ges i figur 4.



Figur 4: Kvadraturmodulerad signal med kanaler A och B vid konstant rotationshastighet.

Magnetiska och optiska modeller är vanliga för att detektera rotationen. Optiska konstruktioner fixerar en lysdiod och en detektor tätt intill en skiva som roterar med den axel man önskar analysera. Skivan är indelad i sektorer med kontrasterande optiska egenskaper vilket tillåter detektorn att upptäcka förändringar vid rotation. Det magnetiska alternativet använder istället halleffektsensorer för att detektera magnetiska poler i den roterande skivan. Karakteristiskt för båda dessa varianter är dock att de ger en sinusformad utsignal som då behöver passera en komparator för att generera digitala pulser. För att säkerställa att en stabil signal erhålls även i lägen då den roterande skivan stannar i en brytpunkt, dvs. vid en övergång mellan två kontrasterande sektorer eller i närheten av en magnetisk pol, kan en komparator med hysteres användas.

### 3.2.1 Samplingshastighet och precision

En pulsgivares digitala utsignal lämpar sig väl att använda som avbrottssignal till en mikrokontroller. Detta innebär att sensorn inte samplas på traditionellt vis, utan att den själv talar om när den har information att ge. Detta sker dock med en viss frekvens beroende på sensorns utformning, mer specifikt på antalet kontrasterande sektorer alternativt magnetiska poler i den roterande skivan. Det är således lämpligt att införa egenskapen *pulser per varv* (eng. *counts per revolution (cpr)*) som vi definierar som antalet positiva flanker på en av sensorns ut signaler under ett fullt varv. Denna egenskap går även att relatera till pulsgivarens precision för även om den digitala utsignalen i sig inte ger spelrum för otydligheter så lägger antalet pulser per varv, och därmed avlagd sträcka per puls, grunden för fortsatt analys och framtagning av önskade storheter som position och rotation; ju fler pulser per varv desto mer aktuell information finns att tillgå.

### 3.2.2 Framtagning av position och rotation

De finns ett flertal modeller som med varierande noggrannhet tar fram robotens orientering utgående ifrån kännedom om hjulens rotation. Ett exempel på en sådan modell härleds i [9]:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta d_{c,i} \cdot \cos(\theta_i) \quad (1)$$

$$y_i = y_{i-1} + \Delta d_{c,i} \cdot \sin(\theta_i) \quad (2)$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta \theta_i, \quad (3)$$

där  $x_i$  och  $y_i$  anger robotens position och  $\theta_i$  dess rotation vid läge  $i$ .  $\Delta d_{c,i}$  och  $\Delta \theta_i$  anger förflyttning av robotens centrum respektive förändring i dess rotation sedan föregående tidssteg och ges av

$$\Delta d_{c,i} = \frac{\Delta d_{l,i} + \Delta d_{r,i}}{2} \quad (4)$$

$$\Delta \theta_i = \frac{\Delta d_{l,i} - \Delta d_{r,i}}{b}, \quad (5)$$

där  $\Delta d_{l,i}$  och  $\Delta d_{r,i}$  anger avlagd sträcka av vänster respektive höger hjul, och  $b$  är hjulaxelns längd.

Då vi i detta projekt har god kännedom om den miljö roboten kommer röra sig i kan det vara aktuellt att använda en enklare modell som endast håller reda på avlagd sträcka och förändring i rotation, dvs.  $\Delta d_c$  och  $\Delta \theta$ , och använda avståndsmätningar till omgivningen och reglering av robotens färd för att verifiera önskade storheter.

### 3.2.3 Störkänslighet

Kontinuerlig avancering av position och rotation utifrån relativa mätvärden är subjektivt för ackumulerande fel. [10] anger osäkerhet i mätning av hjuldiameter, skillnad i hjuldiameter samt osäkerhet i mätning av hjulbas som de främsta felkällorna för en robot med två hjul. [11] bygger ut listan med fel från numeriska beräkningar och glid mot underlaget. Både [10] och [11] presenterar metoder för beräkning av felkoefficienter för att kalibrera modellen mot dessa felkällor.

## 4 Resultat och slutsats

### 4.1 Avståndsmätning

#### *1. Hur förhåller sig IR- och ultraljudssensorer till varandra vid avståndsmätning?*

Vid implementering av dessa sensorer till robotens MCU kräver ultraljudssensorn en extra sladd mellan sensorn och MCU:n jämfört med IR-sensorn. Däremot kräver IR-sensorn mer arbete vid skapande av tabellen för mätvärden som ska underlätta beräkningarna för MCU:n. Om ett flertal IR-sensorer används kan de behöva en individuell tabell med mätvärden om de ej är kalibrerade identiskt, vilket gör att de tar upp plats i MCU:ns minne. Beräkning av avstånd för ultraljudssensorn är smidigare eftersom den sensorn är linjär och avståndet kan beräknas med en division. IR-sensors avsökningssområde är betydligt smalare än ultraljudssensors avsökningssområde vilket gör att det är lättare att missa objekt med en IR-sensor. Det borde dock inte spela så stor roll i detta projekt eftersom labyrinten i projektet är uppbyggd i tydliga segment med ortogonala väggar. Precisionen borde därför vara likvärdig för de två olika sensortyperna. Ultraljudssensorn har bättre räckvidd jämfört med IR-sensorn, 0,03-3 m jämfört med 10-80 cm, och även här bedöms de vara likvärdiga i labyrinten där de ska operera. För reglering i korridorer kommer roboten ha två avståndssensorer åt vänster respektive höger sida för att förutom avstånd även beräkna vinkelutslag för robotens relativa positionering. Här har IR-sensorerna en fördel eftersom de har mindre avsökningssområde och därmed inte kommer störa övriga sensorer lika mycket som ultraljudssensorer. Det är även möjligt att ljudvågorna studsar till andra sensorer och ger upphov till falska objekt. Båda sensorerna har en uppdateringsfrekvens kring 25 Hz vilket borde vara tillräckligt för robotens reglering även i relativt höga hastigheter. Båda sensortyperna är högst tänkbara val. Den mindre störkänsliga IR-sensorn anser vi vara det lämpligaste valet, trots behovet av tabeller över mätvärden.

### 4.2 Positionsbestämning

#### *2. Hur förhåller sig tröghetsnavigering och pulsgivare till varandra vid bestämning av absolut position och orientering?*

Både pulsgivare och tröghetsnavigering är kompetenta verktyg för att bestämma position och orientering. Det framgår dock att processen för framtagning av pålitliga

mätvärden är mer kostsam i fallet med tröghetsnavigering, både i termer av beräkningsskraft och implementering av mjukvara då denna sensortyp kräver extensiv filtrering. Det kan även argumenteras att för det uppdrag och den miljö roboten sätts i är en full rekonstruktion av position och orientering inte nödvändig, utan vi är mer intresserade av att känna till hur långt i en korridor vi har färdats och att en sväng resulterar i en upprepbar rotation. Pulsgivare är den teknik som enklast skalas efter dessa behov.

Pulsgivare har även fördelen av enkel kommunikation med MCU:n via vanliga avbrottsingångar medan en IMU vanligen kommunicerar över I2C eller SPI, vilket innebär att denna kommunikation eventuellt behöver kombineras och samverka med kommunikationen till övriga moduler.

Ovanstående resonemang leder oss till beslutet att använda pulsgivare för positions- och rotationsbestämning.

## Referenser

- [1] Grupp1-6, "Banspecifikation", Version 1.0, febr. 2015.
- [2] *Atmega1284p datasheet*, ATmega1284p, Rev. 8059D, Atmel, nov. 2009.
- [3] *Gp2y0a21yk optoelectronic device datasheet*, GP2Y0A21YK, SHARP, 2005.
- [4] Eric. (jan. 2008). Infrared vs. ultrasonic - what you should know, URL: [https://www.societyofrobots.com/member\\_tutorials/node/71](https://www.societyofrobots.com/member_tutorials/node/71).
- [5] *Srf04 ultrasonic range finder*, SRF04, Acroname, sept. 2003.
- [6] K. Kairabata, N. Nishioka, P. C. Lin, H. Nakamura och H. Kobayashi, "Distance measurement method under multiple ultra sonic sensors environment", s. 812, 1996.
- [7] NovAtel. (febr. 2014). Imu errors and their effects, URL: <http://www.novatel.com/assets/Documents/Bulletins/APN064.pdf>.
- [8] S. hoon Won, W. Melek och F. Golnaraghi, "Position and orientation estimation using kalman filtering and particle filtering with one imu and one position sensor", i *Proc. 34th Annu. Conference of IEEE*, 2008, s. 3006–3010. DOI: 10.1109/IECON.2008.4758439.
- [9] J. Borenstein, H. R. Everett och L. Feng, "Where am i? sensors and methods for mobile robot positioning", University of Michigan, Ann Arbor, tekn. rapport, april 1996.
- [10] A. Bostani, A. Vakili och Tayb.A.Denidni, "A novel method to measure and correct the odometry errors in mobile robots", i *Canadian Conf. Electrical and Computer Engineering*, maj 2008, s. 897–900. DOI: 10.1109/CCECE.2008.4564665.
- [11] G. Antonelli, S. Chiaverini och G. Fusco, "A calibration method for odometry of mobile robots based on the least-squares technique: Theory and experimental validation", i *IEEE Transactions on Robotics*, okt. 2005, s. 994–1004. DOI: 10.1109/TR0.2005.851382.