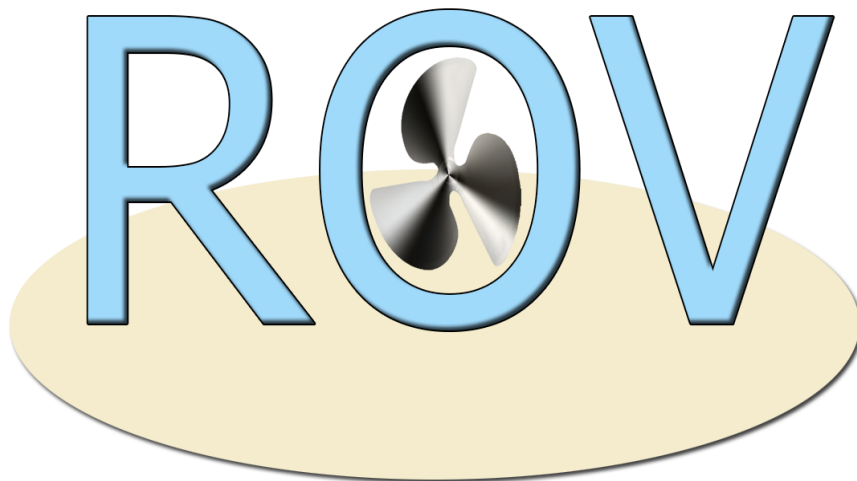


Systemskiss  
Remotely Operated Underwater Vehicle  
Version 1.0

Simon Lindblom

22 september 2014



**Status**

Granskad	SL, OW	2014-09-22
Godkänd	Isak Nielsen	2014-09-22

## Projektidentitet

**E-post:** tsrt10\_rov2014@googlegroups.com

**Hemsida:** <http://www.isy.liu.se/edu/projekt/reglerteknik/2014/rov/>

**Beställare:** Isak Nielsen, ISY, Linköpings universitet  
**Telefon:** +46(0) 13 282804  
**E-post:** isak.nielsen@liu.se

**Kund:** Micael Derelöv, Saab Dynamics, Underwater Systems  
**Telefon:** +46(0) 13 281165  
**E-post:** micael.derelov1@saabgroup.com

**Kursansvarig:** Daniel Axehill, ISY, Linköpings universitet  
**Telefon:** +46(0) 13 284042  
**E-post:** daniel@isy.liu.se

**Projektledare:** Oscar Wyckman  
**Telefon:** +46(0) 73 7338744  
**E-post:** oscwy416@student.liu.se

**Handledare:** Jonas Linder, ISY, Linköpings universitet  
**Telefon:** +46(0) 13 282804  
**E-post:** jonas.linder@liu.se

## Gruppmedlemmar

Namn	Roll	Telefon	E-post (@student.liu.se)
Oscar Wyckman (OW)	Projektledare	073 - 733 87 44	oscwy416
Simon Lindblom (SL)	Dokumentansvarig	070 - 576 26 64	simli427
Dennis Forsberg (DF)	Regleringsansvarig	076 - 029 08 35	denfo765
Oscar Gunnarsson (OG)	Designansvarig	073 - 837 41 92	oscgul32
Elias Nilsson (EN)	Testansvarig	073 - 729 62 47	elini289
Johan Andersson (JA)	Simuleringsansvarig	070 - 332 92 12	johan712
Sofia Larsson Cahlin (SLC)	Projektgruppsamordnare	076 - 881 40 06	sofla266
Marcus Johansson (MJ)	Mjukvaruansvarig	070 - 315 73 77	marma906

## Dokumenthistorik

Version	Datum	Ändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2014-09-12	Första utkastet	Samtliga	SL, DF, OG
0.2	2014-09-16	Andra utkastet	DF, EN	DF, EN, OG
0.3	2014-09-19	Tredje utkastet	MJ, EN, DF	MJ, SL
0.4	2014-09-21	Fjärde utkastet	MJ	MJ, SL
1.0	2014-09-22	Första versionen	SL	SL, OW

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte och mål . . . . .	1
1.2	Användning . . . . .	1
1.3	Notation . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Översikt av systemet</b>	<b>2</b>
2.1	Produktkomponenter . . . . .	2
2.2	Beroenden till andra system . . . . .	3
2.3	Ingående delsystem . . . . .	3
2.4	Avgränsningar . . . . .	3
2.5	Designfilosofi . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Hårdvaruintegrering</b>	<b>3</b>
3.1	Integrering av nytt mät- och styrkort . . . . .	4
3.2	Flytt av magnetometer . . . . .	4
3.3	Integrering av trycksensor . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Delsystem Sensorfusion</b>	<b>4</b>
4.1	Trycksensorer . . . . .	4
4.2	Inertial Measurement Unit . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Delsystem Reglering</b>	<b>5</b>
5.1	Decentraliserad regulator . . . . .	5
5.2	LQ-regulator . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Delsystem Simulering</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Delsystem Kommunikation</b>	<b>6</b>

# 1 Inledning

Inom både militära och civila tillämpningar växer intresset och behovet av autonoma farkoster som kan utföra diverse uppdrag i luften, på land och till sjöss utan kontakt med en operatör. Exempel på sådana uppdrag för en undervattensfarkost kan vara övervakning, kartering eller reparationsarbeten.

Detta projekts undervattensfarkost är ca 1,85 m lång, fjärrstyrd och torpedliknande. Den är utrustad med styrsystem och sensorer. Den har designats, konstruerats samt vidareutvecklats i tidigare projekt och examensarbeten på Linköpings universitet.

I detta dokument presenteras översiktligt ROV-systemet med den funktionalitet som det avses innehålla vid projektets slut.

## 1.1 Syfte och mål

Långsiktigt är projektets mål att utveckla en helt autonom farkost som kan delta i den europeiska tävlingen för autonoma undervattensfarkoster, SAUC-E. I tävlingen ska farkosterna utföra vissa givna uppdrag på kortast möjliga tid. För att uppnå detta mål behöver den befintliga ROV:en vidareutvecklas till en helt autonom farkost som kan orientera sig i sin omgivning. Därutöver måste den vara utrustad med hård- och mjukvara som klarar av de uppgifter som tilldelas de tävlande.

Målet för nuvarande projektgrupp är att utveckla ett robust styrsystem för en väl fungerande reglering och navigering. Detta ska uppnås genom utveckling av systemet inom reglering och sensorfusion, simulering, samt hårdvaruintegrering. Befintlig reglering och parameterskattningar skall förbättras och regulatorprestandan ska utvärderas. Vid leverans ska även skattning och reglering av attityd, vinkelhastighet och djup vara implementerat. Modellen för ROV:en ska vidareutvecklas och testas i en simuleringsmiljö som byggs upp. Dessutom ska denna simuleringsmiljö utökas med funktionalitet för "hardware-in-the-loop" och SONAR-simuleringar. Vidare ska styr- och mätkort, trycksensorer för djupmätning och en extern magnetometer integreras i ROV:en.

Kraven på projektet finns återgivna i kravspecifikationen [2].

## 1.2 Användning

Hittills har ROV:en varit ett utvecklingsprojekt inom projektarbetskurser och examensarbeten vid Linköpings universitet. Det kommer den fortsätta att vara några år framöver. Målet är att ROV:en på lång sikt ska kunna delta i tävlingen SAUC-E. Kunskapen som samlas genom utvecklingen kan komma att nyttjas av SAAB Dynamics, Underwater Systems.

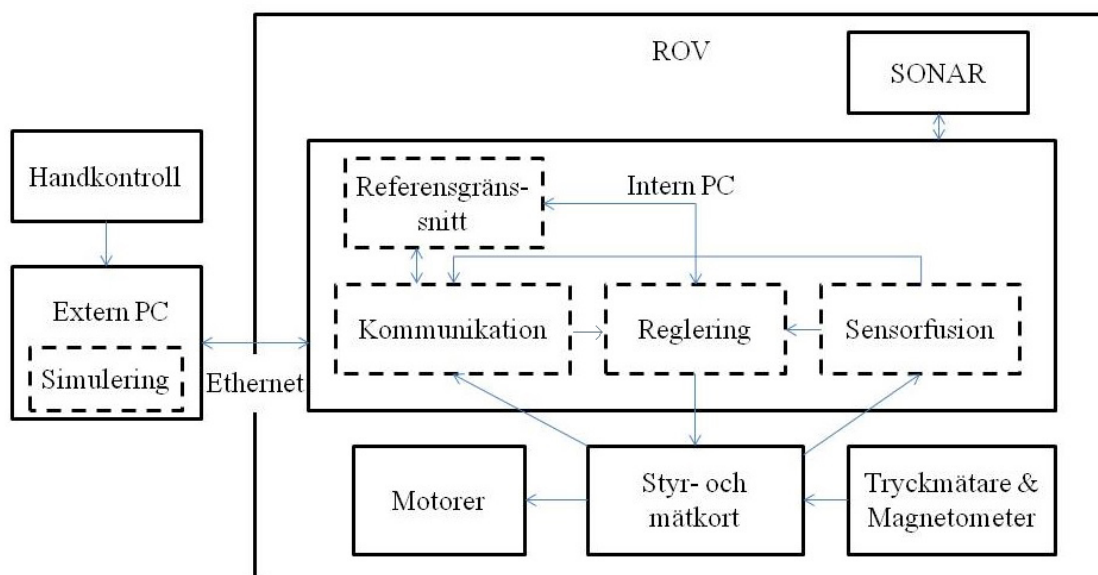
## 1.3 Notation

AUV	Autonomous Underwater Vehicle
IMU	Inertial Measurement Unit
ISY	Institutionen för systemteknik
LQ	Linear Quadratic
ROS	Robot Operating System
ROV	Remotely Operated Vehicle
SAUC-E	Student AUV Challenge Europe
SONAR	Sound Navigation and Ranging

## 2 Översikt av systemet

Den produkt som ska vidareutvecklas i detta projekt är en ROV som lämnats över från tidigare års projektkurser och examensarbeten. Den är ca 1,85 m lång och består av flera moduler. ROV:en har en intern och en extern PC för styrsystem och manuell manövrering via en handkontroll. Man kan från den externa PC:n välja att köra ROV:en i två lägen, manuellt och autonomt. I det manuella läget kan man köra varje motor separat. I det autonoma läget kan man välja att använda LQ-regulatorn eller den decentraliserade regulatorn. Förutom den interna PC:n finns olika styrkort och sensorer monterade på farkosten för orientering och reglering. För framdrivning finns motorer och propellrar.

Mjukvaran är indelad i fyra delsystem. Dessa sköter uppgifter kopplade till reglering, sensorfusion, kommunikation och simulering av ROV:en. Delsystemen Kommunikation, Reglering och Sensorfusion finns implementerade i den interna PC:n och delsystemet Simulering på den externa PC:n. Både interna och externa PC:n kör operativsystemet Linux och ovanpå det körs operativsystemet ROS för att sköta kommunikationen mellan de olika delsystemen. En översikt över ROV:ens mjuk- och hårdvara kan ses i Figur 1.



Figur 1: En översikt över systemet där pilarna indikerar informationens flödesriktning. Streckade block motsvarar mjukvara och heldragna block motsvarar hårdvara.

### 2.1 Produktkomponenter

De komponenter som finns att tillgå i projektet är ROV:en i befintligt skick med monterade komponenter, den externa PC:n och en Xbox-kontroll. Dessutom finns nya komponenter i form av ett nytt styr- och mätkort, nya trycksensorer, en magnetometer samt en ny extern dator.

Den hårdvara som finns monterad på ROV:en i dagsläget är en intern PC, en mikrokontroller, ett arduinokort, fem styrkort, en trycksensor, en IMU med inbyggd magnetometer, en läckagesensor, fem propellrar, två lampor, en kamera, en SONAR och ett antal batterier [1].

## 2.2 Beroenden till andra system

ROV:en kommer att vara beroende av den externa PC:n eftersom det är där igenom all kommunikation med ROV:en sker. Ifall ROV:en förlorar kontakten med den externa PC:n ska den stanna upp och med horisontell riktning stiga mot ytan. ROV:en kommer också att vara beroende av handkontrollen, utifrån vilken man styr ROV:en. I år kommer även en extern undervattensfarkost att utvecklas i ett annat projekt. ROV:en ska kunna kommunicera med den externa undervattensfarkosten och den externa undervattensfarkosten ska kunna docka ROV:en. Även den externa PC:n ska kunna kommunicera med den externa undervattensfarkosten.

## 2.3 Ingående delsystem

ROV:ens delsystem är Reglering, Sensorfusion, Kommunikation och Simulering. Delsystemen Reglering, Sensorfusion och Kommunikation kommer att finnas implementerade på den interna datorn på ROV:en medan delsystemet Simulering kommer att vara implementerat på den externa datorn. Delsystemet Sensorfusion har i uppgift att utifrån flera sensorer skapa en skattning om ROV:ens orientering. Mer information om sensorerna hittas i Kapitel 4. Delsystemet Reglering har i uppgift att utifrån datan från delsystemet Sensorfusion reglera ROV:en efter en referens. Referensen erhålls i dagsläget från den externa datorn och kommunikationen där emellan sker över Ethernet, vilken delsystemet Kommunikation ansvarar för. Referensen från den externa datorn skickas in i ett referensgränssnitt som skickar vidare informationen till delsystemet Reglering. För att få ROV:en autonom är det i framtiden tänkt att referenserna ska kunna skapas ombord på den interna PC:n. Delsystemet Kommunikation får data från styr- och mätkortet, delsystemet Reglering och delsystemet Sensorfusion, se Figur 1. Delsystemet Simulering har i uppgift att simulera ROV:en så att man inte behöver lika mycket tid för tester i bassäng. Denna simulering kommer alltså att kunna utföras i luft. Det ska även vara möjligt att använda ROV:ens hårdvara för att styra simuleringsmodellen av ROV:en. Mer om detta i Kapitel 6.

## 2.4 Avgränsningar

ROV:en är en gemensam resurs med det parallella projektet som har ansvar för dess mekanik och utformning. Förutom kommunikation mellan de båda projekten och frågor rörande placering av nya sensorer omfattas inte detta projekt av den fysiska utformningen av ROV:en.

## 2.5 Designfilosofi

Eftersom ROV:en är en gemensam resurs är den konstruerad i moduler för att möjliggöra parallell utformning och testning av ny funktionalitet. Det är därför viktigt att ha ett aktivt modultänk genom hela projektet. För att underlätta i överlämningen till kommande projekt och examensarbeten fyller detta modultänk en viktig funktion även i mjukvaruutvecklingen.

## 3 Hårdvaruintegrering

Man har under tidigare år insett att viss hårdvara som har använts i ROV:en inte har haft tillräckligt hög prestanda, alternativt så har placeringen av sensorer orsakat störningar. Därför ska hårdvaran under detta projekt modifieras.

### 3.1 Integrering av nytt mät- och styrkort

Tidigare år har en Arduino Mega2560 använts som styr- och mätkort men på grund av överbelastning ska kortet bytas ut [1]. I det nya kortet finns en inbyggd IMU, vilket gör att den externa IMU:n inte behövs. Trycksensorerna ska även integreras med det nya styr- och mätkortet.

### 3.2 Flytt av magnetometer

I tidigare projekt har magnetometern varit en del av IMU:n vilket gjorde att valmöjligheterna för placeringen av denna var begränsade. För detta projekt har man fått tillgång till en extern magnetometer som ska integreras med det övriga systemet. Placeringen av den externa magnetometern är viktig då den tekniska rapporten från tidigare år visar att elektronik i ROV:en starkt påverkat magnetometern [1]. Samma studie visar att den placering som ger minst störning på magnetometern är 4 cm ovan ROV:en längst fram. Den placering som gav näst minst störningar var då magnetometern placerades längst fram i ROV:en, detta är den placering som är mest trolig för årets projekt.

### 3.3 Integrering av trycksensor

I detta projekt ska en extra trycksensor integreras med systemet och den gamla kommer att bytas ut mot en ny. Även placeringen av de båda trycksensorerna ska ses över för att se om man bättre kan skatta ROV:ens orientering i pitchled i vattnet.

Trycksensorn skickar en spänning till mätkortet i ROV:en där 0 volt motsvarar 0 kPa och maxspänningen, 5 volt motsvarar 689 kPa [1]. Det mätkort som tidigare använts har en A/D-omvandlare med en upplösning på 10 bitar, dvs 1024 steg. Dessa steg motsvarar spänningar mellan 0 volt och en referensspänning som kan väljas. Upplösningen för trycket kan beräknas som i ekvation (3.1).

$$\frac{V_{ref}}{1024} \quad (3.1)$$

I tidigare projekt användes 5 volt som referensspänning och det resulterade i en upplösning för djupet på 0,1 m och maxdjup på 59 m. Eftersom att ROV:en i nuläget inte går så djupt så kommer därför sensorerna att bytas ut så att de är gjorda för ett mer lämpligt intervall. På så sätt kommer värden från sensorerna bli mer säkra.

## 4 Delsystem Sensorfusion

Delsystemet Sensorfusion har till uppgift att skatta ROV:ens djup och orientering med hjälp av ett antal olika sensorer. Utöver detta ska även tillstånden för djup samt vinkelhastighet i pitch-, roll- och yawled skattas.

### 4.1 Trycksensorer

Två trycksensorer ska placeras i ROV:ens ändrar och de mäter det absoluta trycket (inklusive atmosfärstryck). Trycksensorernas värden används för att direkt skatta ändarnas position i djupled vilket används för att bättre skatta ROV:ens orientering och ROV:ens geometriska centrum djup. Trycksensorernas mätintervall bör ligga mellan 0-10 meter för att matcha utvecklingsmiljön för ROV:en; i nuläget mäter sensorn 0-100 meter i djupled vilket ger en försämrad upplösning och mätprecision.



## 4.2 Inertial Measurement Unit

IMU:n mäter vinkelhastigheter kring varje rotationsaxel och acceleration i  $x$ ,  $y$ ,  $z$ -led. Till denna hör även en extern magnetometer. Dessa mätningar utnyttjas sedan för att skatta ROV:ens orientering och vinkelhastighet. Preliminärt är det tänkt att ett extended Kalman-filter (EKF) ska användas.

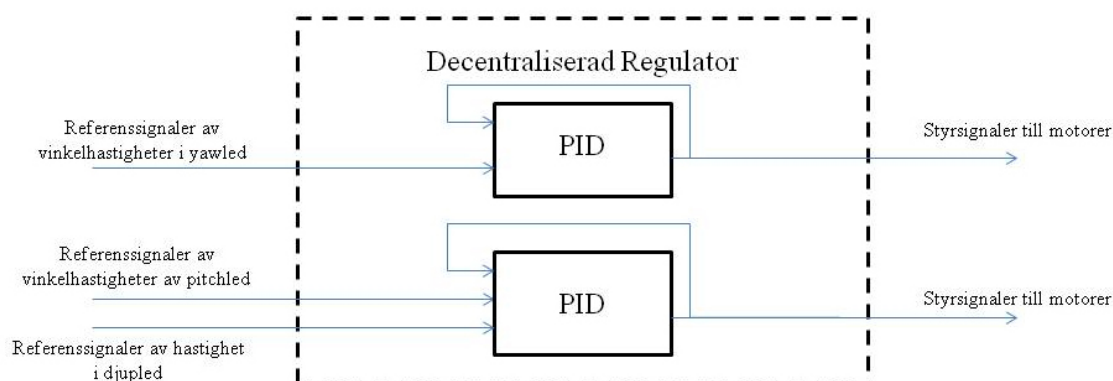
## 5 Delsystem Reglering

ROV:ens reglersystem finns implementerat som mjukvara i den interna PC:n på ROV:en. Delsystemet Reglering hämtar i realtid data från delsystemet Sensorfusion och beräknar de styrsignaler som sedan skickas ut till motorerna.

ROV:en har två autonoma lägen: ett för användning av en decentraliserad regulator och ett för en LQ-regulator. Dessa två lägen kan väljas från den externa PC:n. I båda lägena kan en Xbox-kontroll användas. Med den decentraliserade regulatorn kan man bara styra vinkelhastigheterna och huvudmotorn hos ROV:en, medan den andra styr djup, orientering och huvudmotorn. Båda dessa regulatorer finns implementerade i styrsystemet men behöver förbättras för att få en mer pålitlig och robust reglering. Regulatorprestandan för de nya regulatorerna ska utvärderas.

### 5.1 Decentraliserad regulator

Istället för att behöva styra alla motorer var för sig så kan en decentraliserad regulator användas för att styra ROV:en. Den decentraliserade regulatorn är till för att kunna styra vinkelhastigheterna i yaw- och pitchled utifrån referenssignaler. Den består av två PID-regulatorer, en som reglerar i yaw-led och en i pitch-led. Precisionen och tillförlitligheten för denna ska förbättras under projektets gång. Detta ska ske genom trimning av designparametrar för regulatorn. En översiktlig bild över den decentraliserade regulatorn kan ses i Figur 2.



Figur 2: Grafisk beskrivning av den decentraliserade regulatorns design.

## 5.2 LQ-regulator

Linjärvadratisk reglering är en reglerstrategi där man bland annat gör en avvägning mellan snabbhet och små styrsignaler. LQ-regulatorn ska i framtiden kunna användas för att ROV:en ska kunna utföra uppdrag helt autonomt. Idag kan den användas för att ROV:en ska kunna reglera vinklar och djup. Föregående projekt har konstruerat strukturen för en LQ-regulator. Tidigare års projektgrupper hade inte tiden som krävdes för att utvärdera denna regulator, därför måste detta ske i detta projekt. Dessutom ska reglerparametrarna som används utvärderas och förbättras. Det beror på att tidigare projekt inte hade tid att utföra tillräckliga tester för att få det önskade resultatet för regulatorn.

För en LQ-regulator krävs att man ska ha en linjärisering för systemet. Eftersom detta system är olinjärt så har man under tidigare år valt att använda exakt linjärisering. Detta innebär att man väljer en styrsignal så att olinjäriteterna kompenseras. Tidigare projektgruppers resultat kommer att granskas under detta projekt.

## 6 Delsystem Simulering

En simuleringsmiljö ska med hjälp av ROS tillhandahållas på den externa PC:n. Denna miljö ska baseras på en modell som beskriver ROV:ens dynamik. Syftet med simuleringsmiljön är att minska tiden som behövs för test i bassäng. Simuleringsmiljön ska även stödja hardware-in-the-loop till den grad att sensorernas indata styrs via simulatoren på den externa datorn och skickas över Ethernet, medan styrsignalerna till motorerna kan läsas av i form av motorkoder som sedan används för att simulera systemet i ROS. Dessutom ska simuleringsmiljön kunna genomföra enklare SONAR-simulering som avståndsmätning och skattning av position. Simuleringsmiljön som fristående mjukvara kan köras på en godtycklig PC och är inte bunden till den externa PC:n för ROV:en.

## 7 Delsystem Kommunikation

Kommunikationen mellan en godtycklig extern PC och de interna delsystemen Sensorfusion och Reglering kommer skötas av delsystemet Kommunikation. Till den externa PC:n kommer delsystemet Kommunikation att skicka data med styrsignaler, tillståndsskattningar och sensorvärden alternativt ta emot styrsignaler från den externa PC:n. Från den externa PC:n kommer referenssignaler skickas till delsystem Reglering via delsystem Kommunikation.

## Referenser

- [1] Martin Lindfors, *Teknisk rapport, Remotely Operated Underwater Vehicle*. Institutionen för systemteknik (ISY) LiU, 2013.
- [2] TSRT10 Projektgrupp ROV, Oscar Wyckman m.fl. (2014) *Kravspecifikation Remotely Operated Underwater Vehicle*.